

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – CAMPUS MACAÉ
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL MONTEIRO BENAC

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PORTO EM MACAÉ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACAÉ - RJ

2018

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PORTO EM MACAÉ

Gabriel Monteiro Benac

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé como parte dos requisitos necessários à conclusão do curso de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dsc. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Macaé – RJ

2018

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PORTO EM MACAÉ

Gabriel Monteiro Benac

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – CAMPUS MACAÉ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, D.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Campus Macaé

Prof. Conrado Vidotte Plaza, M.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Campus Macaé

Ocean. Izabel Christina Martins Nogueira, M.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACAÉ, RJ – BRASIL
NOVEMBRO de 2018

Benac, Gabriel Monteiro

Projeto e Dimensionamento de um Novo Porto em Macaé-RJ /
Gabriel Monteiro Benac– Macaé: UFRJ / Engenharia Civil, 2018.

xi, 80 . il.; 29,7 cm.

Orientador: Prof. Dsc. Rafael Malheiro da Silva do Amaral
Ferreira.

Projeto de Graduação – UFRJ / Macaé / Curso de Engenharia
Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 77-79

1.Introdução. 2. Caracterização Física do Litoral Macaense. 3.
Layout do Porto. 4. Obras Portuárias. 5. Conclusão. 6. Referências
Bibliográficas.

I. Ferreira, R. M. S. A. II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Campus Macaé, Curso de Engenharia Civil. III. Projeto e
Dimensionamento de um novo Porto em Macaé-RJ.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, aos meus pais Vitor e Vania, ao meu avô Augusto, a minha namorada Sheila, aos meus irmãos Clarissa, Pedro e Davi, a minha família e amigos, por sempre acreditarem em mim

Ao meu professor orientador Rafael, pela ajuda e paciência, para que eu finalizasse o trabalho de conclusão de curso, a todos os professores, colegas e funcionários da universidade que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil / UFRJ – Campus Macaé, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PORTO EM MACAÉ

Gabriel Monteiro Benac

Novembro/ 2018

Orientador: Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Através deste trabalho acadêmico pretende-se abordar sobre a implantação de um novo porto na cidade de Macaé, assim como de se aplicar os conhecimentos de engenharia civil relativos ao *layout* compatível com a região de interesse e, principalmente, ao dimensionamento das obras de hidráulica marítima. No processo de concepção e projeto do porto foram utilizados dados de batimetria, dados de onda do local, informações sobre outros portos brasileiros, assim como informações sobre o navio de projeto. Adicionalmente, foram utilizados métodos consagrados para se dimensionar as obras externas assim como a determinação do *layout* do porto, os quais consideram equações semi-empíricas obtidas na revisão bibliográfica. O layout escolhido é de um porto *offshore*, com quebra-mar de berma destacado de 2.360 m de comprimento no total, divididos em 1.360 m para o braço paralelo à costa e 1000 metros para o braço perpendicular à costa, com uma ponte de acesso de 1.940 m de extensão. As outras obras, que tiveram as dimensões definidas, foram o canal de acesso com 14,5 m de profundidade e 216 m de largura, e a bacia de evolução com um raio de 580 m e mesma profundidade, para atender o navio de projeto tipo PANAMAX. A última etapa do processo foi a obra de dragagem com o volume de 56.971 m³ para o canal de acesso e de 2.325.030 m³ para a bacia de evolução. O projeto e dimensionamento das obras externas, aplicadas ao caso real da implantação de um novo porto em Macaé, ressaltou os conceitos teóricos da engenharia hidráulica assim como de ciências oceânicas e costeiras, aliando teoria à prática da engenharia civil, A implantação de um novo porto deve também levar em consideração outros aspectos de ordem logística, política e econômica, pois tende a

impactar a cidade em vários aspectos, os quais podem ser abordados em trabalhos futuros.

Palavras chave: Engenharia portuária e costeira, Obras portuárias, Quebra-mar, Porto *Offshore*.

Abstract of Undergraduate Project presented to Curso de Engenharia Civil / UFRJ – Campus Macaé, as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Civil Engineer.

PROJECT AND DESIGN OF A NEW PORT IN MACAÉ

Gabriel Monteiro Benac

January / 2018

Advisor: Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

This academic work has the objective to discuss about a implementation of a new port in the city of Macaé, as well as to apply the knowledge of civil engineering related to the layout compatible with the region of interest and, mainly, to the project and design of the works of hydraulics engineering works. The port project used bathymetry data, local wave data, information on other Brazilian ports and of their respective design ship. The chosen layout is an offshore port, with a detached breakwater of 2360 m in total, divided in 1360 m for the arm parallel to the coast and 1000 meters for the arm perpendicular to the coast, with a bridge of access 1737 m of extension. The other maritime works, that were designed, were the access channel with 14.5 m of depth and 223 m of width, and the basin of evolution with a radius of 580 m and a depth of 14.5 m, to meet the design vessel PANAMAX. The last stage of the process was the dredging work with the volume of 56.971 m³ for the access channel and 2.325.030 m³ for the evolution basin. The project of the external works, applied to the real case of the implantation of a new port in Macaé, emphasized the theoretical concepts of hydraulic engineering just as those of oceanic and coastal sciences, combining theory with the practice of civil engineering. port that must also take into account other logistical, political and economic aspects, since it tends to impact the city in several aspects, which can be approached in future works.

Keywords: Port and Coastal Engineering, Harbour civil works, Detached breakwater, Offshore Port.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Porto de Imbetiba.....	15
Figura 2 : Localização do Empreendimento (Próximo à praia do Barreto).....	16
Figura 3 : Mapa de Batimetria.....	22
Figura 4 : Mapa da Bacia de Campos.....	26
Figura 5 : Rosa das Ondas.....	28
Figura 6 : Fenômeno de Refração das Ondas no Mar.....	29
Figura 7 : Mapa de batimetria e da rosa dos ventos combinados.....	31
Figura 8 : Dimensões do calado, boca e comprimento do navio tipo.....	43
Figura 9 : Alocação do quebra-mar e ponte de acesso.....	49
Figura 10 : Distribuição do peso dos blocos por camada do quebra-mar.....	55
Figura 11 : Cálculo da Altura do Quebra-mar.....	56
Figura 12 : Seção transversal no corpo da estrutura.....	57
Figura 13 : Seção transversal no cabeço da estrutura.....	57
Figura 14 : Método Johnson e Blue-Johnson.....	60
Figura 15 : Representação do processo gráfico do método de Iribarren.....	61
Figura 16 : Dimensões da extensão da ponte de acesso e do quebra-mar.....	64
Figura 17 : Fenômeno de Squat em uma embarcação.....	66
Figura 18 : Fatores que interferem na profundidade do canal de acesso.....	67
Figura 19 : a) Manobra com forte vento cruzado; b) Distância canal de mão dupla.....	68
Figura 20 : Dimensões da seção transversal do canal de acesso.....	73
Figura 21 : Dimensões da Bacia de evolução área superficial e profundidade.....	74

Figura 22: Cálculo do volume de dragagem do canal de acesso e bacia de evolução77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela referente a uma onda chega 90°.....	29
Tabela 2: Resultado da estatística pelo de Gumble.....	32
Tabela 3: Classificação do porto quanto ao tipo de carga.....	36
Tabela 4: Pesquisa dos navios médios que frequentam os portos brasileiros.....	42
Tabela 5: Valores sugeridos para K para uso na determinação do peso das unidades da armadura segundo U.S.ARMY (1984).....	53
Tabela 6: Cálculos do método de Iribarren.....	60
Tabela 7: Extensão dos quebra-mares através de pesquisas feitas na internet e dos métodos semi-empíricos.....	61
Tabela 8: Dimensões utilizadas.....	67
Tabela 9: Faixa de manobra básica incluindo a boca.....	67
Tabela 10: Classificação da velocidade quanto a intensidade (nós).....	67
Tabela 11: Densidade de encontro de tráfego.....	68
Tabela 12: Largura adicional devido à folga com a margem.....	68
Tabela 13: Largura de passagem para canais de mão-dupla.....	68
Tabela 14: Escolha dos fatores que interferem na largura do canal de acesso e o resultado da largura total do canal de acesso.....	69
Tabela 15: Cálculo do volume do canal de acesso.....	73
Tabela 16: Cálculo do volume da bacia de evolução.....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. MOTIVAÇÃO.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. Objetivo Geral.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO LITORAL MACAENSE.....	21
2.1. BATIMETRIA.....	21
2.2. ESTUDO DE ONDAS.....	23
2.2.1. Descrição do Clima de Ondas do Litoral de Macaé (Bacia de Campos).....	25
3. LAYOUT DO PORTO.....	35
3.1. DETERMINAÇÃO DO TIPO DE CARGA PREDOMINANTE DO PORTO.....	35
3.2. DETERMINAÇÃO DO NAVIO DE PROJETO.....	38
3.3. DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO QUEBRA-MAR E COMPRIMENTO DA PONTE DE ACESSO.....	44
4. OBRAS PORTUÁRIAS.....	50
4.1. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO QUEBRA-MAR.....	51
4.1.1. Determinação da Altura do Quebra-mar.....	55
Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009.....	56
4.1.2. Determinação da Largura e da Extensão do Quebra-mar.....	56
4.2. CANAL DE ACESSO E BACIA DE EVOLUÇÃO.....	64
4.2.1. Dimensionamento da Profundidade do Canal de Acesso.....	65
4.2.3 Dimensionamento da Bacia de Evolução.....	73
4.3. OBRA DE DRAGAGEM.....	74
5. CONCLUSÃO.....	78

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....80

ANEXOS.....83

1. INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

A vocação portuária de Macaé/RJ tem acompanhado a própria história da cidade. Esta tem se destacado como uma das principais economias entre os municípios fluminenses, sendo um pólo importante para região norte fluminense e região dos lagos. Responsável pela exportação de cana de açúcar e café produzido na região durante o séc. XIX, Macaé contava com um porto estabelecido na ponta da Imbetiba (ESCOCARD, 2017) e, este fato, foi decisivo para a posterior instalação da Petrobrás já na década de 1970. Antes da chegada da Petrobras na cidade a economia da cidade cresceu auxiliando a exportação de cana de açúcar e café produzidos na região. Em meados de 1872, o governo imperial decretou a construção do canal Campos-Macaé, para auxiliar o escoamento dos engenhos de cana de açúcar de Campos dos Goytacazes, pelo fato do porto de São João da Barra ter excedido a sua capacidade de operação. O canal possuía 109 km de comprimento e tinha como destino o porto marítimo da enseada de Imbetiba.

Após um pouco mais de um século, no final da década de 1970, devido ao posicionamento estratégico da cidade de Macaé em relação a Bacia de Campos, e pelo fato de já existir uma movimentação portuária no local, a PETROBRAS elegeu a cidade de Macaé como base de operação e deu início à construção do porto de Imbetiba (CHAVES,SIQUEIRA, 2012). A partir desse momento Macaé passou a ser a principal base da estatal brasileira na bacia de Campos. Com isso o ramo econômico da cidade mudou e passou a ser a exploração de petróleo *offshore*, atraindo outras empresas de exploração multinacionais, que teriam a função de explorar o petróleo e de auxiliar a Petrobras na sua exploração.

A partir desse momento houve um grande crescimento econômico e populacional na cidade, Macaé teve a sua população aumentada de 60.000 habitantes em 1977 para mais de 200.000 habitantes no ano de em 2016. Esse crescimento do município se deu devido a quantidade de royalties arrecadados consequente da atividade de exploração de petróleo dentro da sua jurisdição.

A exploração na bacia de Campos é a maior em todo território brasileiro detendo 80% produção nacional de petróleo. Essa demanda de exploração exige um suporte que é suprido pelas empresas instaladas no município, parte desse suporte é feito no porto de Imbetiba.

Esse porto situado em uma região central da cidade ainda é de suma importância para auxiliar a exploração de petróleo *offshore*, a principal atividade do porto era de suprir as plataformas, com maquinário, produtos químicos, suprimentos em geral, até o ano de 2012, período esse no qual o porto chegou a operar cerca de 90% da sua capacidade total. Atualmente as atividades estão mais voltadas às cargas especiais, frotas de atividades de ancoragem, mergulho raso, controle de emergências e operações de terminais oceânicas.

Figura 1 : Porto de Imbetiba



Fonte: Prefeitura de Macaé (2018)

O terminal de Imbetiba, com uma área portuária de 55.000 m², delimitada pelo molhe na ponta de Imbetiba, atua com seis berços de atracação e três piers, recebendo cerca de 440 atracções mensais. O navio de projeto do terminal possui 90 m de comprimento e 15 de largura com um calado máximo de 8 m com um *deadweight* (porte bruto) de no máximo 5.000 toneladas (MARINHA DO BRASIL, 2018).

Em 2007, as reservas do o pré-sal foram descobertas, que é uma grande jazida de petróleo e está cerca de 2 km de profundidade distante de 100 a 300 Km da costa, com um comprimento de 800 km entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo (VIDAL, 2012). Estima-se que abaixo dessa camada podem ser extraídos aproximadamente 50 bilhões de barris de petróleo. Apesar de ser uma extração em águas profundas (associada as dificuldades de perfuração da camada salina), a PETROBRAS já detém a tecnologia para extrair o petróleo na camada de pré-sal. (VIDAL, 2012)

Devido às demandas do pré-sal e pelo fato do porto de Imbetiba estar sobrecarregado é necessário que se amplie o referido porto ou se construa outro em uma área favorável na cidade. Para suprir essa demanda, existem duas possíveis soluções, fazer vários pequenos portos distribuídos ao longo da costa do pré-sal ou construir um porto de maior porte, que seria um porto concentrador (*Hub port*), sendo que o mesmo poderia ser construído em Macaé. O entorno do porto de Imbetiba já está ocupado pois se trata de uma região central da cidade, o que prejudica uma possível ampliação do porto nessa área. Sendo assim para se ter um real desenvolvimento na questão logística *offshore*, é preciso que se construa um porto em outra área da cidade.

A partir dessa demanda foi proposto, a princípio pela Petrobrás e posteriormente por empresas multinacionais do ramo *offshore*, a implantação de um porto na praia do Barreto, denominado de TEPOR. O foco desse projeto é auxiliar a indústria do petróleo presente na cidade de Macaé. O projeto contempla dois terminais, o terminal A para movimentação de cargas líquidas e terminal B para movimentar a carga de petróleo.

Figura 2: Localização do Empreendimento (Próximo à praia do Barreto)



Fonte : Google Earth (2018)

É possível perceber pela morfologia da costa da praia do Barreto que o porto precisa ter um layout diferente do porto de Imbetiba. Percebe-se pela Figura 1 que a obra de contenção (abrigo) do porto de Imbetiba é um molhe por conta da morfologia da costa, que possui uma ponta, o que torna o mar da praia de Imbetiba mais calmo,

minimizando a questão do assoreamento (no entorno da estrutura). Em oposição, a morfologia da praia do Barreto (Figura 2), indica ser necessário que se faça uma obra de abrigo destacada da costa e conectada a esta por uma ponte de acesso, a esse tipo de porto é dado o nome de porto *offshore*. As obras, para esse tipo de porto são mais onerosas, entretanto é o layout aplicado em trechos retos de praias, em que se deseja minimizar de forma considerável os impactos futuros no transporte de sedimentos.(TSINKER, 2004)

Para se adequar as questões morfológicas da praia do Barreto (situada ao norte da cidade de Macaé), o projeto TEPOR foi concebido como um porto *offshore* com ponte de acesso de 4 km e considerou o navio de projeto com calado de 16,5 m para movimentar as cargas do terminal A e o navio de projeto do terminal B com um calado de 28 m. O terminal B seria composto por dois berços de atracação, sendo que esses berços serão totalmente abrigados, e a distribuição de óleo será feita por oleodutos para o terminal de armazenamento em terra, sem a necessidade de ponte de acesso. (TEPOR, 2018)

O projeto conceitual do novo porto a ser instalado em Macaé tem sido alterado profundamente, em termos de layout, cargas movimentadas, calado e navio de projeto entre outras características. Por outro lado, também tem se modificado o interesse por parte das empresas e instituições que suportariam a construção do referido porto. Considerando o fato de que inevitavelmente Macaé deve receber um novo porto, e estando à parte das discussões em torno deste tema, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo apresentar o projeto de um porto hipotético a ser instalado no seu litoral e explorar as etapas de dimensionamento de diversas obras de interesse da engenharia portuária.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é a maneira como um Engenheiro Civil concebe as questões do dimensionamento de um porto, as várias etapas desse dimensionamento, os conceitos e as escolhas que interferem no layout do porto, a localização e dimensionamento das obras portuárias, entre outros. Esse estudo teve como objetivo de idealizar o pré-projeto de um porto, acompanhando a tendência de construção de um novo porto no município, e diferentes etapas da concepção e dimensionamento foram conduzidas ao longo

deste trabalho. O maior enfoque foi dado em relação às obras marítimas, isto é, canal de acesso, obras de abrigo, ponte de acesso, assim como, aos estudos oceanográficos e hidrográficos: ondas, marés, batimetria entre outros. Foram associados os conhecimentos obtidos nas aulas de engenharia portuária e costeira, com publicações consagradas na área de portos e costas (ALFREDINI E ARAZAKI, 2009; FILHO, 2008; PEREIRA, 2008; TSINKER, 2004; DURASAN, 1950), refletindo as habilidades do engenheiro civil em projetar determinadas obras fundamentais para o estabelecimento de um porto.

Por outro lado, o presente trabalho não se atém a questões logísticas, políticas, socioeconômicas e ambientais inerentes na fase de concepção e projeto de um porto. Ademais, o trabalho não analisa se a construção do porto é viável ou não, nem versa sobre a disponibilidade do entorno da área retro portuária. Todos esses fatores podem inviabilizar o projeto de um porto, porém o trabalho considera esses problemas resolvidos e que o desenvolvimento do projeto vai se dar a partir de um local proposto e uma demanda capaz de manter o projeto do porto viável. Sendo assim, o trabalho tem por objetivo principal considerar apenas os critérios técnicos referentes a Engenharia Portuária e Costeira, que um Engenheiro Civil precisa dominar para dimensionar uma obra desse porte considerando que a mesma será alocada no mar, o que é um fator complicador nessa obra, tendo-se que se considerar os efeitos que as ondas, as marés, o clima de ventos, as questões costeiras, entre outros, podem interferir na construção desse empreendimento.

A partir desse entendimento, esse trabalho visa simular a implantação de um porto em uma determinada região do litoral de Macaé, com auxílio de dados reais, como por exemplo, dados de ondas do litoral de Macaé, cartas náuticas da região para elaboração do mapa de batimetria, dados de outros portos, como o calado dos navios, tipos de carga que esses portos recebem, e a partir dessas cargas, definir como a área abrigada vai ser projetada. Não se pretende com essa simulação resolver o problema da implantação do porto de Macaé e sim de tornar o trabalho mais interessante, associando a teoria da disciplina de Engenharia Portuária e Costeira a um caso de estudo mais real, porém tendo-se alguma liberdade de escolha como, por exemplo, o tipo de carga que o porto vai receber, o layout do porto, o calado do navio de projeto, o comprimento da ponte de acesso, o local de implantação do porto, entre outros aspectos.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são as etapas que devem ser analisadas para se conseguir chegar ao objetivo geral. Dentre essas etapas estão:

- 1) Caracterização do litoral de Macaé, o clima de ondas e a batimetria;
- 2) Definir o tipo de porto, o navio de projeto, o tipo de carga que será comercializada;
- 3) O projeto de pré-dimensionamento do quebra-mar e ponte de acesso, do canal de acesso, da bacia de evolução, assim como o cálculo do volume de dragagem.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto pelos seguintes capítulos:

1) Introdução, que visa introduzir o contexto do trabalho, o objetivo principal e objetivos específicos inerentes ao dimensionamento do porto;

2) Caracterização das condições físicas do litoral macaense. Essa parte do trabalho se propõe: delimitar a região mais favorável do litoral macaense que o porto pode ser futuramente implantado; e descrever como foram processados os dados hidrográficos, o mapa batimétrico e o estudo de ondas, que será útil para se dimensionar o quebra-mar. Ambos os estudos orientam a escolha de um local para se implantar um porto tecnicamente.

3) *Layout* do Porto, que representa o arranjo geral das obras portuárias, suas localizações e suas interfaces. Para determinar o *layout*, primeiramente é necessário determinar os tipos de carga que o porto se propõe a comercializar, a partir da escolha dos tipos de carga que serão comercializadas e determinar o navio de projeto. Neste capítulo, será abordado o conflito de se escolher o comprimento da ponte de acesso e a posição do quebra-mar, devido a característica do porto de ser destacado da costa (*offshore*).

4) Dimensionamento das obras externas, o quebra-mar, canal de acesso e bacia de evolução. O dimensionamento do canal de acesso e da bacia de evolução estão relacionados ao navio de projeto que por sua vez determina o projeto de dragagem a ser realizado.

5) Conclusão, que tem por objetivo apresentar os principais pontos alcançados através do trabalho e a importância da participação do Engenheiro Civil no desenvolvimento do projeto de um porto e da responsabilidade na proteção de regiões costeiras.

2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO LITORAL MACAENSE

O planejamento físico de um porto depende da coleta e análise de dados ambientais, pois esses parâmetros que interferem na escolha do local de implantação de um porto, assim como o seu *layout*, a orientação do canal de acesso, bacia de evolução, a posição das obras de dissipação das ondas e de acostagem, entre outras.

No entanto, não são apenas as questões físicas que influenciam na escolha do local para se implantar um porto. As questões econômicas, ambientais e políticas são aquelas que realmente têm um papel decisivo na escolha deste local. Para conciliar as questões econômicas, ambientais e políticas com as questões técnicas é necessário um profundo conhecimento das características físicas do local, isto é, dados de direção e intensidade de ventos, altura, período e direção das ondas, amplitude das marés, direção e velocidade das correntes e transporte de sedimentos. Neste trabalho serão apresentados de forma simples e objetiva a batimetria do local de interesse e o estudo de ondas que vão auxiliar escolha de qual parte do litoral de Macaé o projeto do porto será alocado.

2.1. BATIMETRIA

No processo de decisão do local exato onde instalar um porto *offshore*, é necessário conhecer a profundidade do mar ao longo da costa, evitando áreas com subleito marinho elevado. Outro importante fator é encontrar uma opção, em que a relação profundidade e distância percorrida pela ponte de acesso seja mais curta, ou seja, que tenha maior inclinação, com a finalidade de tornar a obra da ponte de acesso menos custosa possível.

O levantamento batimétrico consiste em medir a profundidade de um corpo hídrico, no caso deste trabalho, deseja-se conhecer as profundidades relacionadas ao litoral de Macaé. O processo de batimetria é um dos principais entre os levantamentos hidrográficos, que também incluem os estudos geológicos, maregráficos, fluviométricos, topo-geodésicos, estudo de ondas e correntes (MUNDOGEO, 2005).

As medições podem ser feitas de duas maneiras de forma direta ou indireta. A forma direta é feita com o auxílio das estadias, o prumo de mão e máquina de

sondar. O segundo método emprega-se geralmente sensores acústicos (ecobatímetro monofeixe ou multi-feixe). O funcionamento de um ecobatímetro se dá seguinte forma: um feixe de ondas sonoras é transmitido verticalmente por um emissor instalado em uma embarcação, que atravessa o meio líquido até chegar ao fundo do corpo d'água, ao chegar ao fundo as ondas são refletidas e detectadas por um receptor. O tempo decorrido entre a emissão e recepção das ondas sonoras é medido, e convertido em profundidade, tendo em vista que a velocidade do som é conhecida, com um valor aproximado de 1500 m/s (MUNDOGEO, 2005).

A Marinha do Brasil é responsável pela elaboração das cartas náuticas, que são mapas relativos às profundidades em regiões fluviais, estuarinas e costeiras com interesse de navegação. A carta náutica é elaborada após campanhas de sondagem batimétrica, utilizando os métodos mencionados anteriormente, e para determinar o nível de referência é realizada a redução das sondagens, em que as profundidades são representadas no nível de redução da maré (nível que corresponde a média das baixa-mares de sizígia). Por esse motivo, os valores de profundidade constantes na carta náutica consideram os mínimos de variação do nível do mar, então qualquer variação de maré acima desses valores estará a favor da segurança para a navegação. Neste trabalho a carta de número 150701, Enseada de Macaé, na escala de 1:25.000, foi utilizada como base para a elaboração do mapa batimétrico.

Devido ao fato de que as cartas náuticas são disponibilizadas em formato raster, a carta náutica referente ao litoral de Macaé, foi processada, associando cada valor de profundidade constante na carta a sua latitude e longitude, que já estavam em formato digital. Para esta etapa, foi utilizado o software Seaclear (SEACLEAR, 2018), os dados foram salvos e posteriormente exportados para o Progrid (IBGE, 2018) para converter os dados coletados no SeaClear, de coordenadas geográficas (latitude e longitude), com as unidades dadas em graus e décimos de grau, para as coordenadas em UTM (Projeção Universal de Mercator), com as unidades dadas em metros. A conversão de unidades foi feita com a finalidade de utilizar um mapa de batimetria com as unidades dadas em metros, facilitando a parte do trabalho em que foram feitos o pré-dimensionamento do quebra-mar, ponte de acesso, obras de dragagem, etc.

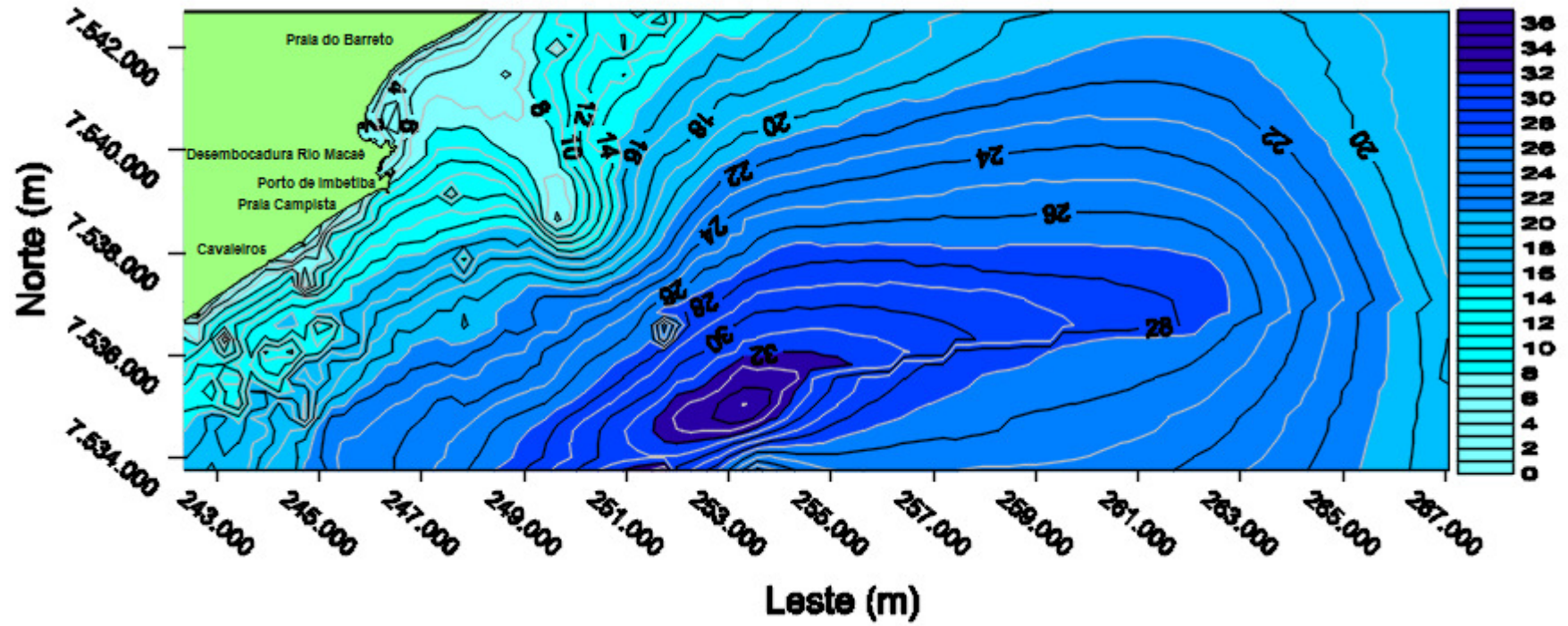
Os dados foram exportados do Progrid para o Excel e foram enviados para o Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 2013), que é um programa de geoprocessamento,

que utiliza métodos estatísticos. Foi realizada uma interpolação dos dados de batimetria utilizando o método geoestatístico de Krigagem. Através desse método, as isóbatas (linhas de mesma profundidade) puderam ser traçadas dando origem ao mapa batimétrico, apresentado na Figura 3. Esta batimetria servirá de suporte para as outras etapas do trabalho acadêmico.

Pelo mapa de batimetria nota-se que a parte sul do litoral macaense, a direita do rio Macaé (Figura 3), possui algumas regiões de baixa profundidade, o que torna essa região mais propícia a ter lajes de rocha, o que torna esta região menos adequada para instalação do canal de acesso nesta região. Já no litoral mais ao norte do rio Macaé, é menos descontínuo, porém possuem uma boa parte com a profundidade de 8 metros.

Através do exame do mapa batimétrico da Figura 3, pode ser observado que a parte norte da costa, próximo às coordenadas 7.542.000 norte e 247.000 leste, é o trecho mais favorável para estabelecimento do porto, levando em consideração aspectos fisiográficos de batimetria da costa e composição do fundo marinho. Evitando-se regiões de baixa profundidade, resultará em um procedimento mais econômico para a dragagem do canal de acesso, dentre outras vantagens.

Figura 3: Mapa de Batimetria



Fonte: Surfer (Golden Software, 2018)

2.2. ESTUDO DE ONDAS

O estudo das ondas de gravidade é de suma importância para os projetos da construção de um porto assim como para as embarcações em si, pois o clima de ondas é o que mais interfere seja nas obras de um porto, assim como na estabilidade das embarcações no mar. Aspectos como a energia contida na onda (relacionada à sua altura), o seu período e a sua direção são determinantes não só para a escolha do local exato da instalação do porto, mas também para o projeto e dimensionamento de várias obras portuárias, como as obras de acesso, abrigo e acostagem. A previsão das direções das ondas e suas alturas interferem na orientação da obra de abrigo, seja um molhe ou um quebra-mar, sendo uma etapa mandatória da sequência do projeto.

O processo de formação das ondas no mar tem início através do aquecimento desigual do planeta, criando zonas de alta e baixa pressão atmosférica, que por sua vez, causam a circulação dos ventos. Estes interagem com a superfície dos mares, transferindo sua energia e, assim, deslocando massas de água dos mares, formando um padrão desorganizado de ondulações chamadas de vagas (ou *sea*). Com a permanência da ação dos ventos, sobre uma distância, denominada de pista (ou *fetch*), as ondas vão se organizando em termos de direção e período e começam a se propagar, sendo denominadas de ondulação (ou *swell*). Quando chegam a costa, sofrem efeitos de águas rasas, como a refração e a difração, em seguida, sofrem a arrebentação, quando as massas de água deslocadas pela onda entram em desequilíbrio em função das alterações abruptas de profundidade (ALFREDINI E ARAZAKI, 2009).

Os movimentos ondulatórios possuem uma certa periodicidade e frequência, sendo que as ondas mais comuns tem um período na faixa de 5 a 12s. O desenvolvimento das ondas depende de três fatores, a intensidade do vento, a duração da ação do vento e a extensão da área de atuação (pista ou *fetch*) (ALFREDINI E ARAZAKI, 2009).

Na região de influência dos ventos, zona de formação das ondas, esse tipo de onda, denominada vaga ou *sea*, tem a forma irregular. Esses tipos de onda mudam constantemente devido a irregularidade da ação do vento e das várias direções que

o vento assume (tridimensionalidade). A interação entre as ondas vagas dificulta a descrição da direção de propagação das ondas vagas, pois as mesmas podem se interferir construtivamente ou destrutivamente, sendo assim a direção o rumo de propagação das ondas vagas medido é um rumo médio das ondas individuais. (ALFREDINI E ARAZAKI, 2009).

No momento em que as ondas se movem para uma região onde as mesmas não são afetadas diretamente pela ação do vento que as originou, as ondas assumem uma forma mais ordenada, com subidas e descidas mais rítmicas ou precisas. A esses tipos de onda dá-se o nome de ondulação ou *swell*, que tem a forma praticamente bidimensional, as mesmas chegam a costa com altura variável em função de características adquiridas no percurso de onde foram geradas, tais ondas podem viajar centenas ou milhares de quilômetros do ponto de onde foram geradas sendo que sua energia vai sendo dissipada pela interação com o ar, de forma interna ao fluido, na arrebentação e no leito em águas rasas.

A origem das ondas está relacionada com a formação dos ventos, em águas profundas a relação entre a direção dos ventos e das ondas pode ser melhor evidenciada. Logo, o clima e a maneira como os ventos se formam interferem diretamente na frequência que as ondas de determinado período, altura, energia direção arrebentam em uma determinada praia. Os sistemas atmosféricos que interferem no litoral fluminense são o Anticiclone subtropical do Atlântico Sul e eventualmente os ciclones extratropicais e os anticiclones polares. A formação de um ciclone ou anticiclone está relacionada a diferença de pressão causada pelo aquecimento solar em uma determinada área do globo terrestre. No caso do ciclone, o ar mais frio se desloca para a área de menor pressão, o que acarreta em uma concentração de ventos na superfície do ciclone e divergência em altos níveis, promovendo o aumento da nebulosidade. Já no caso do anticiclone o ar frio é aquecido devido a um aumento de pressão atmosférica, levando a uma dispersão de ventos na superfície e uma concentração de ventos em níveis mais elevados, inibindo a formação de nuvens. (

A região da bacia de campos está localizada na bacia tropical que sofre a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que se localiza mais ao sul e a

leste no verão e mais a norte e a oeste no inverno. Esse sistema possui ventos de direções variáveis de norte a leste, de intensidade fraca e moderada. Este anticiclone é responsável por ocasionar o encontro da massa de ar quente e a massa de ar frio proveniente do Anticiclone Polar, gerando as frentes frias, geralmente com formação de nuvens, e por consequência chuvas torrenciais e fortes rajadas de vento. Outro fator que interfere no clima são os ciclones extratropicais provocados por uma ondulação de frente fria. Essa situação ocorre pelo fato de haver um retardamento do deslocamento da parte mais ao norte da frente ou por causa da dinâmica das massas de ar que passam a ter velocidades distintas nos extremos frontais. Esse fenômeno climático também causa chuvas intensas e fortes ventos. Essa variação climática interfere nas ondas do mar da bacia de campos, com a presença das ondulações (ondas do tipo *swell*) que passam a estar presentes no litoral dessa região. Nesse período pode-se perceber que existem dois tipos de onda predominantes nesse local, ondas *sea* e *swell*, com periodicidade e alturas diferentes. As ondas *swell* tendem a ser mais altas sendo associadas ao mar mais turbulento, porém o que diferencia os dois tipos é o período das ondas (Parente, E, C et al, 2016).

2.2.1. Descrição do Clima de Ondas do Litoral de Macaé (Bacia de Campos).

O termo bacia de campos está sendo utilizado pelo fato de ter uma maior disponibilidade de dados (para esta região) da bacia de campos, do que do litoral de Macaé em si, e também porque a bacia de campos abrange o litoral de Macaé. (Figura 4)

“O conhecimento da variação temporal e da estatística dos parâmetros de onda, a compreensão dos eventos meteorológicos que geraram os respectivos estados de mar e a distribuição de energia por faixas de período em cenários frequentes compõem o estudo do clima de ondas para uma determinada região.” (PEREIRA et al., 2000).

Conforme citado acima, o clima de ondas pode ser definido como a caracterização dos parâmetros de onda, como a altura, a direção e o período, associado ao conhecimento da variação temporal que são responsáveis pela distribuição de energia por faixa de período em cenários frequentes (determinação

dos períodos das ondas associadas às respectivas alturas dessas ondas) e os estados de mar (mar calmo ou agitado). Esse estudo é suma importância para se determinar os principais parâmetros que interferem nas obras portuárias, como a onda de projeto por exemplo.

Figura 4 Mapa da Bacia de Campos



Fonte: Oceânica, UFRJ

O procedimento usual para se realizar um estudo de ondas se dá, primeiramente, a partir da coleta dos dados de onda por boias e, posteriormente, são tratados estatisticamente. Os resultados fornecidos podem ser apresentados na forma de histograma de ondas, no qual são apresentadas as alturas das ondas em relação ao seus períodos, e, também na forma de gráfico da rosa dos ventos, o qual relaciona à altura das ondas com a direção que as mesmas se aproximam da região costeira estudada.

Os ondógrafos são capazes de medir a altura, período e a direção das ondas, além da temperatura da água e a localização geográfica. Um dos instrumentos utilizados nos equipamentos de medição são os acelerômetros, que medem a altura das ondas em relação ao período das ondas, resultando em registros no domínio do tempo, que são processados internamente no equipamento. Geralmente, as

estratégias de medição das ondas através de boias ondógrafos são realizadas no intervalo de algumas horas, por exemplo, de 3 em 3 horas.

No intervalo de tempo de medição, vários tipos de ondas são registradas, com diferentes períodos e alturas. A estatística de ondas tomando cada valor de altura registrado tornaria o estudo do clima de ondas mais complexo, por isso é importante que se aplique o conceito de onda máxima, que pode ser definido como a maior onda de um terço das maiores ondas registradas.

Os dados coletados são representados por gráficos de altura pelo período, no domínio do tempo, através da análise de Fourier, os dados são transformados para o domínio da frequência. A partir desse gráfico, denominado espectro de ondas, a área da curva do espectro m_0 é calculada, o valor da onda significativa, H_s , é dado por, $4\sqrt{m_0}$, esse valor é similar ao valor de onda significatativa no domínio do tempo, que representa a média do terço maior das ondas no interval de tempo medido (PINHO, 2003).

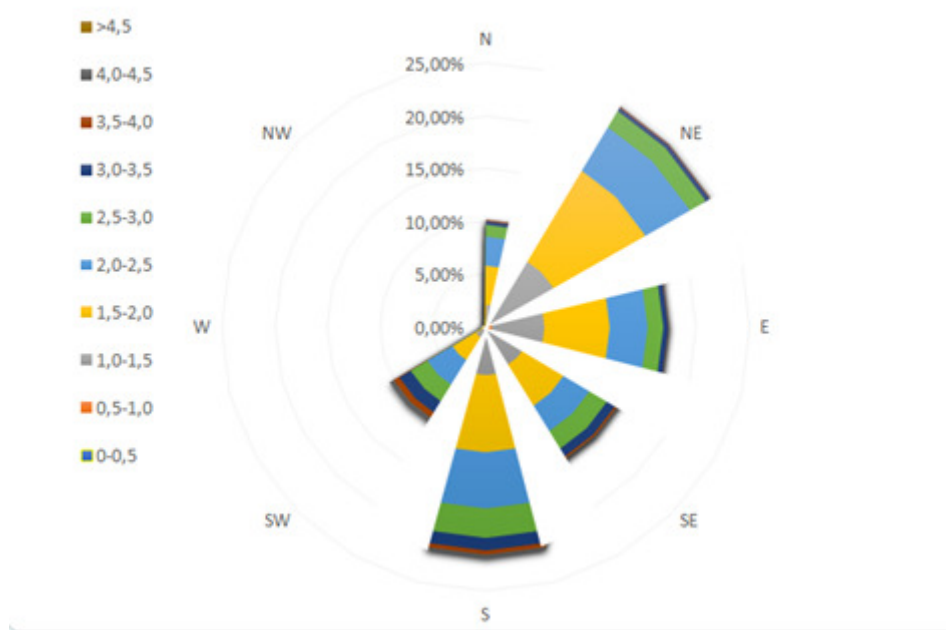
A partir desse método para cada espectro (correspondente a uma medição de, por exemplo, 3 horas) é representado por uma onda com altura H_s e o período de pico do gráfico. Através dos valores de H_s e do período para cada medição, é possível se fazer uma estatística de ondas no local, como associar H_s ao período, H_s às direções das ondas, o que servirá como subsídio para a escolha do posicionamento do quebra-mar destacado.

Em virtude da maior disponibilidade de dados e de sua proximidade com a região do estudo de caso, foram utilizados dados de ondas da Bacia de Campos, no período de aproximadamente 3,5 anos, de março de 1991 a junho de 1995, sendo que as medições foram feitas de forma descontínua (PINHO, 2003; PARENTE et al, 2016). Através da análise desses dados pode-se perceber que o clima de ondas da bacia de campos é caracterizado, na maior parte do ano, principalmente na primavera e no verão, com um período na faixa de 6 a 8s, com a altura de 1,5 a 2,0m e com direção predominante de sul a sudeste.

De posse dos dados de onda relativo à bacia de Campos, foi possível plotar o gráfico com as direções de ondas que chegam ao litoral de Macaé. O procedimento

foi realizado consolidando as informações sobre os parâmetros de onda em uma tabela, que posteriormente originou o gráfico tipo rosa das ondas (Figura 5), relacionando a altura das ondas com a direção das mesmas. Através da rosa dos ventos pode ser percebido que todas as direções (nordeste, leste, sudeste e sul) apresentam, a princípio, uma frequência de ocorrência relevante. Sendo assim, o quebra-mar deveria abrigar a área de atracação nessas direções. Porém os dados foram coletados em águas profundas, logo, como um porto geralmente está alocado em águas classificadas como intermediárias e rasas é necessário se considerar os fenômenos físicos que acontecem com as ondas, quando se aproximam da costa, um desses fenômenos é o da refração.

Figura 5: Rosa das Ondas

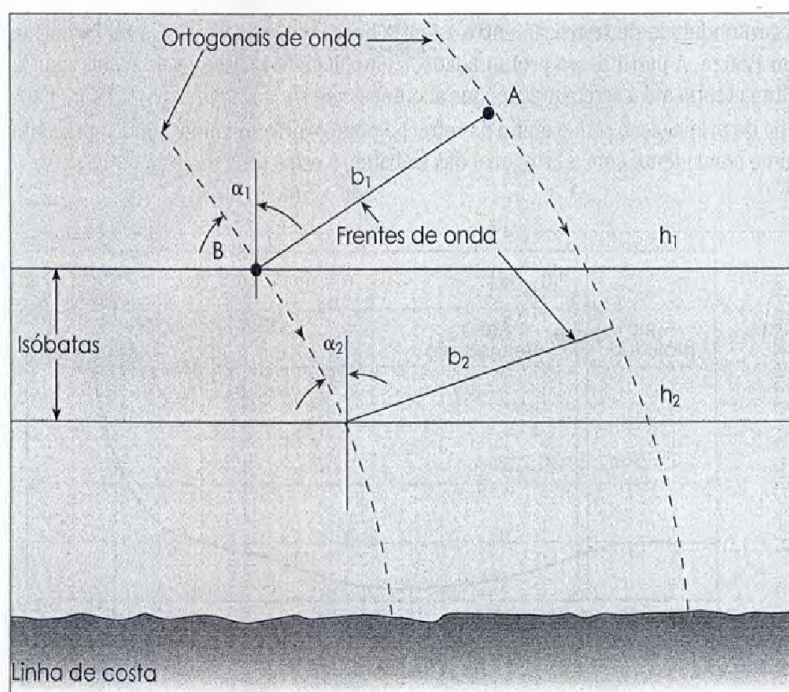


Fonte: Autoria Própria

O fenômeno de refração que ocorre com as ondas do mar é análogo ao que ocorre com as ondas luminosas e sonoras. O fato de a onda passar de um meio para outro com um índice de refração, torna a velocidade mais veloz, se o índice de refração for menor que o anterior, e menos veloz se o índice de refração for maior que o anterior. Esse fenômeno ocorre no mar devido à variação de batimetria, sendo

assim a frente de onda se depara com profundidades diferentes que não são ortogonais ao sentido de propagação da onda. Essa diferença de profundidade faz com que onda seja mais veloz em águas profundas do que águas rasas, pois em águas rasas a onda “sente” mais o fundo. Por causa de fenômeno físico de refração, as frentes de ondas tendem a se alinhar paralelamente às curvas batimétricas. A mudança na direção das ondas pode ser demonstrada por linhas imaginárias ortogonais a frente de onda que à medida que avançam em direção a costa tendem a se encurvar (Figura 6).

Figura 6: Fenômeno de Refração das Ondas no Mar



Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

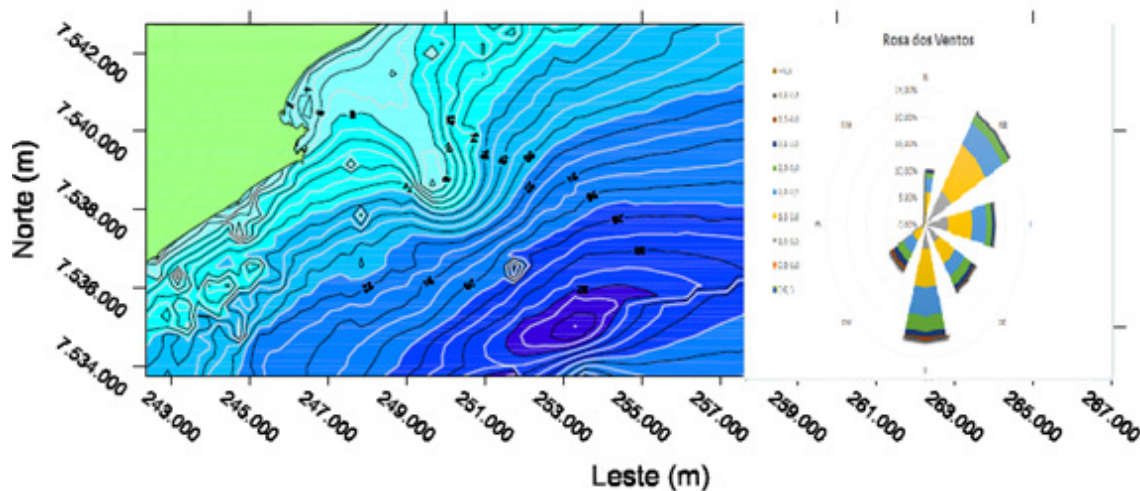
Com objetivo de exemplificar esse fenômeno, foi realizado um exercício sobre refração considerando uma onda que vem de nordeste (90°), de um comprimento de 100 m de distância da costa, forma semelhante à metodologia apresentada em Alfredini (2009), com intuito de estimar o desvio angular da onda em relação à direção perpendicular as curvas batimétricas.

Tabela 1: Tabela referente a uma onda com ângulo de ataque a 90°

L fictício	h/L	h (m)	L (m)	c/co	c/c1	Ks	senα	α(rad)	α(°)
99,90	1,00	100,00	99,90	1,00	1,00	0,98	1,00	1,57	90,00
99,90	0,50	65,00	99,90	1,00	1,00	0,89	1,00	1,54	88,10
88,80	0,23	20,00	88,80	0,89	0,89	0,68	1,00	1,09	62,70
81,00	0,18	15,00	82,20	0,82	0,93	0,68	0,89	0,97	55,30
71,70	0,14	10,00	70,40	0,70	0,86	0,71	0,82	0,78	44,80
45,70	0,08	5,00	59,60	0,60	0,85	0,84	0,70	0,64	36,60
41,50	0,07	4,00	54,10	0,54	0,91	0,89	0,60	0,57	32,80
36,40	0,06	3,00	47,60	0,48	0,88	0,95	0,54	0,50	28,40
30,20	0,05	2,00	39,40	0,39	0,83	1,05	0,48	0,41	23,20

Considerando o mapa da batimetria (Figura 3) atrelado ao gráfico da rosa das ondas (Figura 5) e, sendo aproximadamente, a direção sudeste perpendicular as isóbatas no local de interesse para instalação do porto, pode-se notar que as ondas que vem da direção norte são refratadas pela costa e, por isso, é esperado que não venham a afetar significativamente a zona a ser abrigada. Já as ondas que vem de sudoeste e nordeste, ambas ortogonais em relação à direção sudeste, são influenciadas pelo fenômeno de refração das ondas, sendo assim a rosa das ondas em águas profundas que tinha uma variação na direção das ondas de aproximadamente 225°, passa a ser cerca de 180° em águas rasas. A partir do entendimento de como o fenômeno de refração interfere na direção das ondas que vão atingir a estrutura do quebra-mar, chega-se à conclusão de que a geometria do quebra-mar no formato da letra L é suficiente para criar uma área abrigável para as futuras embarcações do porto.

Figura 7: Mapa de batimetria e da rosa dos ventos combinados



Fonte: Autoria Própria

2.2.2. Características Estatísticas das Alturas das Ondas Oceânicas Extremas

Diferentemente de se determinar o clima de ondas de um litoral, ondas que são mais frequentes no local de estudado, a estatística de ondas de longo período (ou extremas) busca entender as condições extremas do litoral. Um exemplo é a obtenção da onda centenária, que é uma onda com uma altura bem superior à das ondas frequentes no litoral, capaz de causar prejuízos consideráveis às futuras estruturas portuárias. Essas estruturas devem ser projetadas para suportar o impacto da onda centenária o que vai conferir ao projeto a segurança necessária para que o mesmo seja executado.

A estatística de ondas para longos períodos de recorrência é realizada através de distribuições de probabilidade de extremos como, por exemplo, Gumbel e Weibull. A distribuição utilizada no trabalho foi a de Gumbel, em que foi calculada a altura da onda para o tempo de retorno de 100 anos. A distribuição de Gumbel pode ser expressa da seguinte maneira:

$$T_R = \frac{1}{p} \quad (1)$$

$$p = \frac{1}{(1 - e^{-e^{-y}})} \quad (2)$$

$$y = \frac{(H_s - \hat{H}_s + 0,45 \cdot S_h)}{0,7797 \cdot S_h} \quad (3)$$

Onde:

- T_R é o tempo de retorno
- p é a probabilidade da onda ocorrer
- y é a variável reduzida de Gumble
- e é a base neperiana
- H_s é a altura da onda significativa
- \hat{H}_s é a média das alturas
- S_h é o desvio padrão

A estatística de Gumbel utiliza os valores máximos anuais, o ideal é que houvesse pelo menos 10 anos de coletas de dados, porém como mencionado anteriormente o tempo de medição foi feito em 3,5 anos aproximadamente. Devido ao fato de não se ter dados suficientes, costuma-se utilizar uma parcela dos dados mais extremos na série, digamos 10%, associando esses eventos aos extremos que poderiam acontecer em vários anos (LIU E BURCHART, 1996).

Para se utilizar o método de Gumbel as ondas com altura abaixo de 3,5 m não foram consideradas, pelo fato do método tratar de condições extremas e as ondas abaixo de 3,5 m podem ser consideradas como ondas que ocorrem com certa frequência no litoral da bacia de campos. Sendo assim os dados utilizados para se fazer a estatística de longo período foram apenas 3% dos dados de onda, as ondas com altura a partir de 3,5 m até 6,5 m.

O método de Gumbel foi utilizado da seguinte maneira:

- 1) O número de ocorrências das ondas foram multiplicados pelas respectivas alturas;
- 2) Foram calculados a média e o desvio padrão dos dados utilizados;

- 3) A variável de Gumbel (y), foi calculada para cada altura;
- 4) O fator e^{-y} foi calculado para cada altura;
- 5) A probabilidade da onda ocorrer foi calculada;
- 6) O tempo de retorno foi calculado.

Os resultados do método de Gumbel pode ser apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da estatística pelo método de Gumbel

Nº de Ocorr.	Coluna B = AxC	H(m)	y	$e^{(-y)}$	$p = 1 - e^{-e^{(-y)}}$	T_R
3023	6801,75	2,25	-2,1296	8,3568	0,9998	1,0
1485	4083,75	2,75	-1,3813	3,9634	0,9808	1,0
604	1963	3,25	-0,6331	1,8798	0,8465	1,2
224	840	3,75	0,1152	0,8915	0,5889	1,7
99	420,75	4,25	0,8634	0,4228	0,3440	2,9
39	185,25	4,75	1,6117	0,2005	0,1812	5,5
13	68,25	5,25	2,3599	0,0951	0,0905	11,1
2	11,5	5,75	3,1082	0,0451	0,0440	22,7
2	12,5	6,25	3,8564	0,0214	0,0211	47,4
2	13,51	6,755	4,6121	0,0101	0,0100	100,1

Fonte: Autoria Própria

Os dados das três primeiras linhas foram aqueles que, a princípio, seriam utilizados e não foram, por se tratarem de ondas frequentes na bacia de campos, o que não é adequado a aplicação do método de Gumbel. Com a finalidade de se encontrar a onda de 100 anos, alguns valores foram adotados na planilha, até que se encontrasse o valor da onda mais próxima da onda centenária. Pode-se perceber pela Tabela 2, tomando o valor do tempo de recorrência, que o valor mais próximo da onda centenária está entre 6,25 e 7,0m. O resultado da onda centenária foi de m 6,8 m aproximadamente.

O cálculo da onda centenária foi feito para que a mesma seja considerada como a onda de projeto, pois a coleta de dados é de apenas 3 anos, sendo assim é menos confiável utilizar a onda significativa, pois o tempo de medição é curto em relação a duração da obra. Por isso a estatística de extremos, que no caso deste trabalho foi utilizado Gumbel, é mais apropriada para se estimar a onda de projeto (CASTILHO E SARABIA, 1994).

3. LAYOUT DO PORTO

Conforme a classificação de Alfredini e Arazaki (2009), os diferentes tipos de porto podem ser: portos encravados na costa, localizados em regiões estuarinas, salientes à costa protegidas por molhes, obra portuária ao largo protegida por quebra-mar, entre outros. Os fatores que são importantes para a escolha do layout do porto são o tipo de carga que se pretende armazenar e distribuir, as dimensões do navio de projeto, as condições físicas e climáticas do local, como o clima de ondas, as marés, a presença de correntes marítimas, a intensidade dos ventos, a morfologia da praia, se a área é naturalmente abrigada ou não, a profundidade do local, a inclinação do talude da praia, entre outros fatores.

Através do mapa de localização do litoral de Macaé (Figura 2) pode-se perceber que a área na qual se pretende construir o porto não é naturalmente abrigada, e também que não contém a morfologia de um pontal como o porto de Imbetiba, o qual é abrigado através de um molhe, portanto o layout mais indicado nesse caso é o *offshore*. Um dos principais objetivos do layout *offshore* é gerar menor interferência no transporte de sedimentos, pois não criaria barreiras físicas como, por exemplo, aqueles causados por estruturas acopladas a costa.

Adotado o layout *offshore*, o que tem de se levar em conta é a distância do mesmo a costa para que se evite a deposição de sedimentos na costa, tendo-se em vista também o aspecto econômico da obra, deve-se escolher uma relação de distância entre a costa e o quebra-mar de modo que não torne a obra tão onerosa e que se consiga minimizar o impacto no transporte de sedimentos.

3.1. DETERMINAÇÃO DO TIPO DE CARGA PREDOMINANTE DO PORTO

Podem ser verificados em portos a comercialização de variados tipos de carga, como, por exemplo, cargas gerais, equipamentos militares, pesca, petróleo, minério, grãos, containers, etc. O layout do porto está intrinsecamente relacionado ao tipo de carga que o porto pretende comercializar, principalmente a área de retroporto em que equipamentos de logística operacional, como empilhadeiras,

guindastes, vão estar em função deste tipo de carga, assim como a disposição dos pátios de armazenagem e as obras de acostagem.

Carga geral é o nome dado às cargas que podem ser acondicionadas de forma solta em sacos, cartões, tambores etc, ou de forma unitizada, diferentemente da carga geral solta, a carga geral unitizada, é arranjada e acondicionada geralmente em contêineres e pallets, de maneira que possibilite a movimentação e a armazenagem de forma mecânica como uma única unidade. A carga geral solta tem sido cada vez mais substituída pela carga unitizada, pelo fato de se demandar muito tempo para se movimentar e armazenar a carga geral solta, devido às perdas e avarias desse tipo de carga, pois é composta por uma grande quantidade de pequenos volumes e uma enorme variedade de mercadorias. Pode-se citar como exemplos de carga geral, os produtos industrializados, produtos químicos (desde que não seja uma carga perigosa), produtos farmacêuticos, materiais de construção, laminados de madeira, etc. As carga gerais podem ser não acondicionadas como veículos, equipamentos de suporte a plataformas de petróleo, cargas vivas, como animais, etc. Já as cargas a granel são homogêneas, não possuem um acondicionamento específico, podendo estar na forma de sólida, como por exemplo grãos de soja e minérios de ferro, líquidas, como por exemplo o petróleo e gasosas, como o gás GNV.

O tipo de carga predominante também interfere bastante nas obras externas de um porto, pois é a partir escolha das dimensões do navio de projeto é que são dimensionadas as obras do canal de acesso, bacia de evolução e da própria estrutura do quebra-mar. As dimensões do navio de projeto estão atreladas a demanda que o porto visa atender, o que depende do tipo de carga que vai ser majoritária no porto, a capacidade de armazenagem da retroárea desse tipo de carga, o número de berços e atracadores necessários para atender a essa demanda. A Tabela 3 apresenta de forma resumida como o tipo de carga interfere nos equipamentos que vão ser necessários para as operações do porto, as características principais da retroárea e a faixa aproximada dos calados dos navios em relação ao tipo de carga que vai ser majoritária no porto.

Considerando que o projeto proposto nesse trabalho acadêmico sobre um novo porto de Macaé tem por objetivo auxiliar as operações da indústria do petróleo em alto mar e de desafogar o porto de Imbetiba, e que o transporte de óleo e gás é feito geralmente por oleodutos, de formas mais eficaz, o interesse para o futuro porto quanto às obras de abrigo seria mais para atender navios que transportam cargas gerais e equipamentos que auxiliam as plataformas a explorar e produzir o petróleo, além de ser uma forma de se estimular a diversificação da economia do município.

Tabela 3: Classificação do porto quanto ao tipo de carga

Tipos	Profundidade (m)	Equipamentos	Características Principias
CARGA GERAL	10 a 12	Guindastes e empilhadeiras	Armazéns e Pátios
MILITARES	8 a 11	Equipamentos de reparo/Diques Secos	Amplas saídas marítimas
PESCA	6 a 9	Frigoríficos e Fábricas de Gelo	Ampla extensão de acostagem
DE MINÉRIOS	20 a 24	Correias transportadoras/ Empilhadeiras/ Recuperadoras/ Carregadeiras de Navio/ Viradores de vagão	Amplas áreas de estocagem/ Acostagem contínua ou descontínua
PETROLEIROS	25 a 27	Instalação de bombeamento Oleodutos	Acostagem descontínua

Fonte: **Planejamento Portuário**, Curso de Pós-graduação em Engenharia Portuária, Hildebrando de Araújo Goes Filho.

O porto de Imbetiba tem uma profundidade média de 8,0 metros, o que é um pouco limitante para atendimento a diferentes navios e cargas transportadas, considerando as estimativas da Tabela 3. Sendo assim, seria interessante projetar as obras externas do futuro porto considerando também a carga geral transportada em contêineres e, por consequência, os navios porta-contêineres, além das cargas de petróleo e gás, que são cargas comumente transacionadas e que já estão previstas nesse novo porto.

Outro aspecto positivo de incluir a carga geral nas operações do porto, além do petróleo e o do gás, é que a opção por esse tipo de carga proporciona certa diversificação econômica, tornando a adaptação do porto mais viável com o possível declínio da economia baseada na indústria do petróleo e gás, seja por motivos geopolíticos ou pelo fato do esgotamento dos recursos de petróleo e gás na região

3.2. DETERMINAÇÃO DO NAVIO DE PROJETO

A escolha do navio de projeto além de depender do tipo de carga que vai ser transacionada no porto, também está relacionado com a importância geoeconômica e geoestratégica, se a região onde está localizado o porto conta com uma adequada infraestrutura rodoferroviária e logística, entre outros fatores. A partir dessas características pode-se definir a diferença de dois tipos de porto, o porto concentrador (*hub port*) e o porto padrão. Os *hub ports* são mais importantes economicamente, concentram a maior parte das cargas de importação e exportação de um país (ou região), por esse motivo esse tipo de porto recebe os maiores navios com as maiores dimensões de boca, calado e porte bruto. Já os portos padrão são portos com uma menor *hinterland*, que recebem uma quantidade de carga mais modesta, e também podem receber as cargas dos maiores portos, em sistema de cabotagem (transporte aquaviário entre portos marítimos).

Para se entender a opção do navio de projeto que será adotado, é necessário elucidar alguns conceitos referentes às dimensões físicas, peso e volume do navio. Os conceitos referentes às dimensões físicas são o comprimento entre perpendiculares (LBP), comprimento total (L), calado (d), calado máximo e boca (B). O comprimento entre as perpendiculares representa o comprimento entre duas retas perpendiculares do contorno da proa (parte frontal do navio), considerando o navio cheio até o eixo central do leme (dispositivo de controle das embarcações) situado na popa do navio (parte traseira do navio). O comprimento total é a distância da proa até a popa do navio. O calado do navio é a distância vertical da superfície da água até a parte mais baixa da embarcação, o calado pode variar por conta de vários fatores como a salinidade, temperatura da água, se o navio está carregado ou não, dentre outros fatores. O calado máximo é o calado correspondente ao navio com a carga máxima, essa medida é dada pelas marcas de borda livre no navio, onde possuem as marcas de calado máximo dependendo das condições de salinidade e

temperatura do mar que a embarcação está navegando. A boca é a maior distância entre as bordas do navio.

As medidas de peso são o deslocamento da embarcação, o deslocamento leve (DL), o deslocamento totalmente carregado (DM), porte bruto (PB) e o porte líquido. O deslocamento da embarcação é o peso de água deslocado pelo navio. O deslocamento leve é o deslocamento da embarcação porém sem combustível. O deslocamento carregado é o deslocamento com máximo de carga permitido, esse tipo de deslocamento pode ser também chamado de deslocamento a plena carga. O porte bruto é a diferença entre o deslocamento bruto e o deslocamento totalmente carregado, logo o porte bruto é a carga, os passageiros, os mantimento, as cargas e lastro da embarcação. O porte bruto é denominado na língua inglesa de *deadweight* ou de *gross deadweight*. A medida do porte bruto é dada em toneladas de porte bruto (TPB) ou em *deadweight tons* (DWT), na língua inglesa. O porte líquido é a parcela do porte bruto que pode ser comercializada (GOÉS FILHO, 2008).

As medidas de volume são as seguintes arqueação, tonelagem bruta, tonelagem bruta de registro (TBR), espaços isentos, tonelagem líquida e tonelagem líquida de registro. A arqueação é o volume do espaço interno do navio. A tonelagem bruta é capacidade cúbica que tem de espaço abaixo do convés. A tonelagem bruta de registro é a que está constando no certificado de arqueação. Espaços isentos são espaços que não são computados como parte da tonelagem bruta, como espaços ocupados pela tripulação do navio e de instalações propulsoras do navio. Tonelagem líquida é o volume correspondente a diferença da tonelagem bruta menos os espaços isentos, segundo as regras de medida da tonelagem. A tonelagem líquida de registro é o que consta no certificado de arqueação (GOÉS FILHO, 2008).

Existem vários tipos de carga que um navio pode carregar, os diferentes tipos de carga interferem nas características dos navios, tanto físicas quanto de peso e volume. Os tipos de navios existentes são divididos em três categorias: convencionais, roll on/roll off e os porta-barcaças. Os navios convencionais, também denominados cargueiros ou *liners*, são embarcações mais tradicionais com guindastes acoplados ao navio, tem como dimensões médias mínimas e máximas o

comprimento (L) de 130 a 180 m, um calado (d) de 8 a 11 m, uma boca de 17 a 25 m e um porte de bruto de 10.000 a 19.000 TPB. Apesar dos navios de carga geral suportarem um porte bruto de até 50.000 TPB, geralmente são projetados para suportar 30.000 TPB, esses navios transportam pequenas cargas como sacarias, veículos encaixotados ou sobre rodas, vergalhões, barris etc (GOÉS FILHO, 2008).

Os navios *roll on/ roll off* são embarcações que transportam cargas com rodas, como carros, caminhões, trailers, entre outros, tem como vantagem a velocidade carga e descarga, tendo como calado máximo 12,4 m podendo fazer a carga e descarga em berços de navios de carga geral.

O navio porta-barcaças comporta barcaças menores, tendo com vantagem de poder se parar esse navio em qualquer lugar abrigado do porto, esse tipo de embarcação é utilizado em portos próximos a rios, pois as embarcações menores conseguem adentrar os rios e distribuir melhor a carga. Existem dois sistemas que utilizam esse tipo de embarcação *LASH (Lighter Aboard Ship)* e o SEABEE. As dimensões mais usuais dos navios LASH são L = 261 m, B = 32,6 m e d = 12,1 m, já as dimensões das barcaças são de L = 18,75 m, B = 9,5 m e d = 2,7 m. As dimensões mais usuais dos navios SEABEE são de L = 267 m, B = 33,3 m e d = 11,9 m, as dimensões das barcaças são de L = 29,72 m, B = 10,67m e d = 3,2 m.

Um tipo de navio que surgiu com a containerização nos meados da década de 1950 é o navio porta containers. Antes o transporte dos contêineres era feito em navios de carga geral, atualmente para se maximizar o transporte de cargas o navio específico para transportar contêineres têm sido largamente utilizado, se tornando o navio majoritário no transporte de carga geral. A partir do surgimento houve certa necessidade de se otimizar o transporte das cargas nos contêineres, por isso os navios porta contêineres pode ser classificado quanto as gerações, o que ocorreu na verdade foi um aumento gradativo no porte dos navios. Os navios porta contêineres foram feitos a princípio para atender a frota norte americana entre o oceano Atlântico e Pacífico, esses navios foram ficando maiores, porém mantendo as dimensões de boca e calado até a quarta geração para poder atravessar o canal do Panamá. A partir de meados da década de 1990, os navios porta contêineres passaram a não ter mais a restrição de ter as dimensões da boca e do calado parecidos com os

navios das gerações anteriores. Com o surgimento dos contêineres para armazenar vários tipos de cargas nos navios a unidade de medida TEU foi criada. Essa unidade do inglês é uma sigla de *Twenty Foot Equivalent Unit*, que é a unidade de container que tem um tamanho padrão de 20 pés, que tem as dimensões de 6,10m (comprimento), 2,44m (largura) e 2,59m (altura), o que equivale a aproximadamente a um volume de 39m³.

Com a necessidade de se transportar granéis sólidos e líquidos, surgiram os navios graneleiros, que transportam desde granéis menores (como açúcar, sal, cimento etc), até granéis de grande porte como a soja, o minério e o petróleo. Os navios graneleiros podem ser divididos em quatro grupos, graneleiros de grãos, minereiros e navios combinados ou mistos.

Os navios graneleiros de grãos podem ser representados pelos navios PANAMAX, pois foram feitos para transportar grãos dos Estados Unidos para os países Asiáticos. Esses navios têm as medidas físicas médias de L = 210 m, B = 32,2 m, e d = 12,0 m, tendo um porte bruto da ordem de 60.000 a 80.000 TPB.

Os navios minereiros foram criados para transportar o minério de ferro, porém com o passar do tempo para otimizar as questões logística dos portos, o minério passou a ser transportado em navios mistos. Na medida em que essas embarcações mistas foram sendo utilizadas foi perceptível a contaminação na carga, e por isso passou-se a se construir novos navios minereiros. Os navios que antigamente eram puramente transportadores de minério tinham as dimensões, as dimensões físicas médias de L = 277 m, B = 43,5 m, d = 17,6 m e peso bruto 152.000 TPB. Os navios minereiros mais modernos possuem as características físicas parecidas com as dos navios graneleiros mistos. Os maiores navios minereiros tem as seguintes características físicas médias, L = 350,0 m, B = 56,0 m, d = 21,8 m e peso bruto 300.000 TPB.

Os navios petroleiros foram criados com finalidade de transportar o granel líquido como o petróleo e derivados. Esses navios têm as dimensões físicas vantajadas sendo que o maior deles possui as seguintes características físicas, L = 458,4 m, B = 69,9 m, d = 24,5 m e peso bruto 563.763 TPB.

Os navios combinados ou mistos como o nome já diz tem a capacidade de ser multicarga a fim de se otimizar as viagens dos navios, na medida em que os navios podem transportar mais de um tipo de granel. Os navios que transportam petróleo e minério são denominados OO (*Ore/Oil*), os que transportam minério, grãos e petróleo são denominados OBO (*Ore/Bulk/Oil*) e os que transportam minério, polpa, petróleo são chamados OSO. Pelo fato de se ter verificado a contaminação de carga esse tipo de navio vem sendo menos utilizado atualmente.

A partir do entendimento das características de um navio e dos tipos de navios que existem é possível escolher um navio de projeto para o futuro porto, de forma que se leve em conta o tipo de carga que vai ocupar a maior parte da retroárea do porto, os fatores econômicos das obras portuárias e também do tipo de porto que se pretende implantar, se vai ser um porto concentrador ou porto padrão.

Ao enfatizar a cidade Macaé como capital do petróleo do país, o porto poderia ser considerado como um porto concentrador, sob o ponto de vista das cargas de petróleo e gás. Porém Macaé é um município de porte médio do estado do Rio de Janeiro, situado em uma região de baixa densidade populacional (região dos Lagos e Norte Fluminense), logo a vocação de um futuro porto instalado na região indica para um porto padrão, responsável por atender as demandas locais de exportação e importação de produtos. Fundamentado nessa afirmação o navio de projeto não deve ser de grande porte, pois ao fazer essa escolha de forma inadequada, todas as obras portuárias se tornariam muito onerosas, tornando a implantação do porto inviável na cidade. Portanto o navio de projeto que pode atender ao futuro porto de Macaé deve ser aquele que engloba todos os navios que tenham as dimensões intermediárias e que costumam atracar em portos padrões.

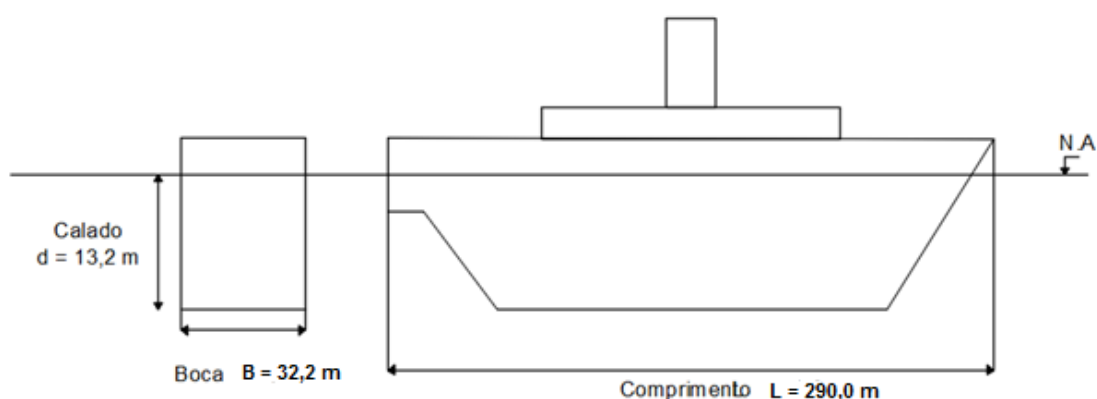
A escolha do navio de projeto, para se determinar o *sizing* ideal do novo porto em Macaé foi baseada em uma pesquisa (Tabela 4), feita sobre os navios de portos brasileiros levando em consideração as cargas transportadas, os portos que estes frequentam, os navios-tipo desses portos.

Com a finalidade de se exemplificar os tipos de navios e suas dimensões e de se comparar com as medidas dos navios da Tabela 4, foi consultada uma tabela da publicação de Goés Filho (2008), a partir da qual foram considerados apenas os

navios de carga geral. A Tabela do “Anexo A” faz um levantamento dos tipos de navio e suas características como boca, calado, comprimento e porte bruto.

Através do processo de comparar as dimensões dos navios apresentadas na Tabela 4 e na Tabela do “Anexo A”, pode-se perceber que uma boa escolha de um navio para o porto de Macaé, considerando que o mesmo vai ser um porto padrão, é o navio Panamax (Figura 8), com 290,0 de comprimento, 32,2 m de boca, 13,2 m de calado e 60000 TPB.

Figura 8: Dimensões do calado, boca e comprimento do navio tipo



Fonte: Autoria Própria

Tabela 4: Pesquisa dos navios médios que frequentam os portos brasileiros

Nome	Comprimento (m)	Boca (m)	Calado (m)	Porte Bruto (t)	Capacidade (TEU)
Sidney	234,62	32,20	12,50	43.093	2.762
Aliança Artigas	222,17	30,00	12,00	39.356	2.824

Osprey Arrow	187,50	29,10	12,00	39.239	1.014
Aliança Manaus	208,27	29,90	11,40	33.925	2.526
Fernao Magalhaes	227,90	37,30	11,20	52.072	3.765
Log-In Jatoba	218,50	29,80	10,60	37.968	2.700
Marseille Star	221,50	31,20	11,00	28.615	1.080
Mercosul Manaus	182,80	30,60	11,30	29.730	1.444
Grande San Paolo	214,00	32,30	9,40	26.169	1.350
Aliança Urca	184,90	28,10	10,00	23.560	1.185
Aliança Brasil	202,20	32,20	12,00	32.984	2.161
Aliança Maracanã	192,20	32,30	11,91	33.648	2.233

Fonte: Neutral Agendamento Portuário, 2018

3.3. DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO QUEBRA-MAR E COMPRIMENTO DA PONTE DE ACESSO

Para se determinar a localização do quebra-mar deve-se levar em conta: o navio de projeto que vai atracar no futuro porto, a morfologia da região costeira, como a inclinação do fundo da praia, a batimetria, o transporte de sedimentos, os aspectos econômicas na obra da ponte de acesso, etc.

Um dos problemas que deve ser levado em conta é relativo à distância entre a obra de abrigo e a linha de costa, pois é esperado que com a obra, a interferência no transporte de sedimentos seja mínima, isto é que seja da maneira como acontecia o anteriormente. Então, o quanto mais distante da praia o quebra-mar for alocado, menor será o impacto para o transporte de sedimentos. Outro problema está relacionado à deposição de sedimentos e a necessidade de se dragar o canal de acesso, para que o navio de projeto consiga atracar no porto. A fim de se minimizar essa necessidade de dragagem, também é recomendável que o quebra-mar seja alocado a uma distância considerável da costa. Por outro lado, o acesso terrestre deve ser feito através de uma ponte de acesso, e sendo o quebra-mar

distante da linha de costa, torna esse tipo de obra, muito onerosa, indicando ser mais favorável que o quebra-mar seja implantado o mais próximo possível da praia.

A partir dessa constatação, o engenheiro projetista precisa resolver o impasse (ou o *tradeoff*) de otimizar uma relação entre a distância da costa e a profundidade que deve haver no posicionamento de um quebra-mar. Essa etapa do projeto de um porto é bem complexa, pois o erro nessa definição pode afetar consideravelmente a obra, podendo até inviabilizar a obra do porto economicamente ou ocasionar danos a morfologia da praia. Dada a complexidade desse processo, esse conflito na escolha do posicionamento do quebra-mar devem ser realizados estudos mais aprofundados, como, por exemplo, com o auxílio de métodos semi-empíricos, de modelos físicos reduzidos ou, ainda, de modelos computacionais.

Os modelos físicos reduzidos das obras portuárias configuram-se como uma forma interessante de se estudar as questões da dinâmica das ondas, a interação das mesmas com a estrutura do quebra-mar, analisar como o transporte de sedimentos pode se comportar. Os modelos reduzidos, diferentemente de maquetes que representam um porto, além de serem reduzidas as dimensões da praia e da estrutura, também são reduzidas todas as grandezas físicas envolvidas nesse processo, tornando a análise dessas grandezas bem verossímil (*fidedigno*). Apesar de ser uma das melhores maneiras de determinar os parâmetros para o posicionamento do quebra-mar, é bem custoso e deve-se ter um conhecimento técnico bem apurado para se fazer uma boa modelagem.

Os modelos computacionais são também uma excelente alternativa para se determinar esses parâmetros, os dados da praia são coletados e servem para alimentar um software específico, responsável por fazer as simulações de como vai se comportar o transporte de sedimentos, conforme se varia o posicionamento do quebra-mar considerando os parâmetros físicos das ondas e do transporte de sedimentos. Contudo, é necessário se ter um conhecimento avançado dos conceitos pertinentes a física das ondas marítimas e como as mesmas influenciam no transporte de sedimentos, associados a conhecimento sólido em programação, essa ferramenta demandaria muito tempo do trabalho. Por esses motivos, e devido ao

fato de uma modelagem computacional envolver muito esforço incompatível com este trabalho acadêmico, essa técnica não foi utilizada no presente trabalho.

Uma maneira mais acessível para abordar essas questões de uma forma expedita e que conduz a resultados aceitáveis é a utilização dos métodos semi-empíricos. Tais métodos fazem uma estimativa dos parâmetros baseados em fórmulas matemáticas obtidas através da experimentação, considerando os processos físicos que ocorrem no transporte de sedimentos, com o ajuste de alguns coeficientes que são determinados, considerando portos já construídos.

O método semi-empírico utilizado neste trabalho final pode ser encontrado na consagrada publicação *Shore protection, Coastal Engineering Manual (US Army Corp of Engineers, Ano)*. Este método se baseia em relacionar o afastamento do quebra-mar e a zona de surf, a qual representa uma faixa característica da praia onde ocorre a quase totalidade do transporte de sedimentos. A zona de surf pode ser entendida como a região da praia em que as ondas começam a “sentir” o fundo do mar, até o ponto onde as ondas arrebentam, e é por isso que desenvolvem boa capacidade de do transporte de sedimentos. Comumente, os métodos classificam a zona de surf com o local onde ocorrem 80% do transporte de sedimentos, pois seria despropositado estimar onde passa 100% desse transporte. Essa zona varia não só em função das condições das ondas, mas também em função da excursão das marés e com a inclinação de cada litoral específico. Por fim, os métodos atribuem que para que a localização do quebra-mar não possa interferir no transporte de sedimentos, é aconselhável que o mesmo esteja localizado três vezes a largura da faixa da zona do surf.

O método semi-empírico tem como objetivo delimitar a zona do surf tendo como dados iniciais: a altura das ondas em águas profundas, o talude da praia, o período da onda. O procedimento para se calcular a profundidade da quebra da onda que vem das águas profundas para as águas rasas, é o seguinte:

$$L = \frac{T^2}{2\pi} \quad (4)$$

$$H' = Kr \cdot H \quad (5)$$

$$Hb = H' \cdot \Omega b \quad (6)$$

$$a = 43,8 \cdot (1 + e^{-19,5 \cdot (\text{tg} \beta)}) \quad (7)$$

$$b = 1,56 \cdot (1 - e^{-19 \cdot (\text{tg} \beta)}) \quad (8)$$

$$y_b = b - \left(a \cdot \frac{Hb}{g t^2} \right) \quad (9)$$

$$d_b = \frac{H_b}{y_b} \quad (10)$$

Onde:

L é o comprimento de onda (m)

T é o período (s)

g é a aceleração da gravidade (m/s^2)

H' altura da onda em águas rasas (m)

Kr coeficiente de refração

H altura da onda em águas profundas (m)

Ω_b índice de quebra pela altura

H_b altura de onda na quebra

y_b índice de quebra x profundidade

a e b coeficientes do método semi empírico para calcular y_b

d_b profundidade de quebra (m)

Para se calcular o talude do litoral de forma aproximada foi utilizado o mapa da batimetria (Figura 3), foram traçadas linhas transversais a praia, e a partir das profundidades retiradas no mapa de batimetria (Figura 5), a inclinação do talude de praia pode ser estimada, através da média da inclinação encontrada nessas transversais, A inclinação do talude resultante foi de 0,011620, o que equivale a aproximadamente de 1:86.

A altura mínima das ondas que arrebatam na zona do surf foi de 0,5 m e máxima foi de 4,95 m, o período mínimo foi de 4s e o máximo foi de 12s. O cálculo descrito nas equações acima foi executado em planilha de Excel tendo como resultado o d_b (profundidade de quebra) mínimo de 0,76 m e máximo de 7,45 m. A diferença entre o valor máximo e mínimo de d_b foi efetuado e multiplicado pela

declividade do talude, tendo como resultado 569,32 m. Posteriormente, foi considerado a excursão da maré na zona de surf, cuja variação da maré no caso do litoral de Macaé é de 0,9 m e multiplicando pela inclinação do talude de praia, resultou no valor de 77,40 m. Sendo assim a zona de surf, é dada pela soma de 569,32 e o valor da excursão da maré, totalizando em valor de 642,72 m.

De acordo com a metodologia seguida, a alocação das obras de abrigo em uma região costeira interfere no transporte de sedimentos, conduzindo primeiramente em descobrir a zona de surf, classificada como o local onde cerca de 80% do transporte de sedimentos ocorre, e, na sequência, considerar a distância do quebra-mar até a linha de costa como 3 vezes a zona de surf como aconselhável para afastar as possibilidades de interferência no transporte de sedimentos. Portanto, o resultado obtido foi de que o quebra-mar deve ser alocado a aproximadamente 1.940 m da linha de costa.

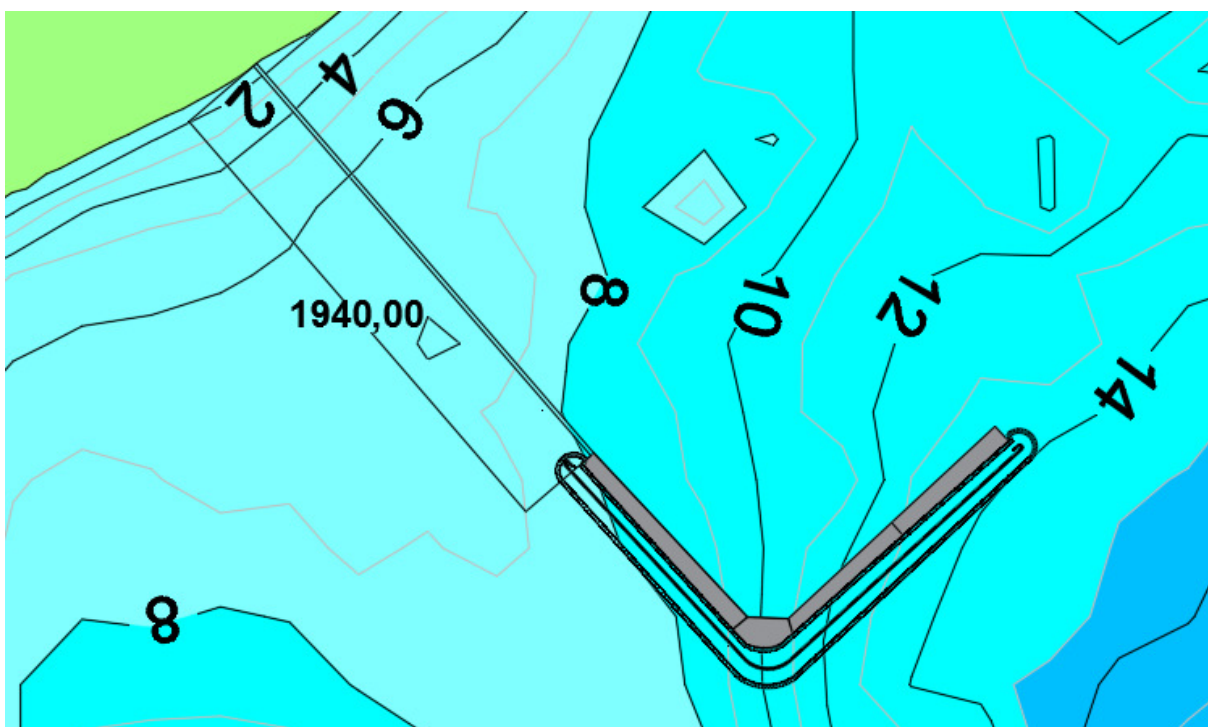
A distância de posicionamento do quebra-mar é de suma importância, pois é essa medida associada à coerência da escolha do traçado, da ponte de acesso, é que pode tornar as obras da ponte de acesso, quebra-mar e canal dragado viáveis economicamente.

Levando-se em consideração o mapa de batimetria (Figura 3), pode se perceber que, na parte sul do litoral Macaé, existem várias regiões de elevações do leito marinho, indicativo de presença de lajes de rocha, o que tornaria a obra mais onerosa. Já considerando os fatores ambientais, a região mais indicada para se posicionar o novo porto é a parte norte o município, pelo fato da região sul ter uma grande ocupação urbana, onde estão as principais praias de balneabilidade de Macaé.

O posicionamento do quebra-mar e da ponte de acesso foi feito, levando-se em consideração a melhor relação entre a distância horizontal e a profundidade do leito marinho, pois tanto a obra da ponte de acesso quanto as obras de dragagem podem impactar significativamente o orçamento de execução do porto. A Figura 9 apresenta o layout proposto para as obras externas, enfatizando o quebra-mar, a ponte de acesso e o canal de acesso.

É possível notar que ao se traçar a ponte de acesso, em linha reta, considerando a distância que foi calculada pelo método semi empírico descrito nesse trabalho de 1.940 m, e que a profundidade mínima na qual o quebra-mar deve ser construído é a partir de 8 m (Figura 9) aproximadamente e, ainda considerando que, o navio de projeto tem 13,2 m de calado (a escolha do calado foi justificada na seção 3.2) aproximadamente, é necessário que possa haver uma dragagem considerável para que a atracagem do navio de projeto no porto seja viável.

Figura 9: Alocação do quebra-mar e ponte de acesso



Fonte: Autoria Própria

4. OBRAS PORTUÁRIAS

O conceito de porto como terminal multimodal que funciona como um elo na cadeia logística está atrelado a cinco fundamentos: abrigo, profundidade e acessibilidade, área retroportuária, acessos terrestres, aquaviários e aeroviários.

As obras de abrigo têm a função de oferecer às embarcações a condição primordial de proteção dos ventos, das correntes marítimas e, principalmente, das ondas, de modo que possa ocorrer o transbordo de passageiros e mercadorias, através da acostagem, que tem finalidade de fixar os navios para garantir

movimentos reduzidos para que hajam esforços mínimos entre as embarcações e as estruturas.

A profundidade e acessibilidade tem finalidade de manter a área do porto compatível com o navio de projeto, dependendo de onde estão alocadas as obras de abrigo, uma determinada região deve ser dragada para viabilizar que a embarcação consiga navegar pelo canal de acesso, na bacia de evolução e nos berços de acostagem.

A área do retroporto são as áreas terrestres destinadas à movimentação de cargas, o processo de movimentação inclui a armazenagem, a estocagem e a administração portuária, sendo que o mesmo conceito pode ser aplicado a transporte de passageiros (ALFREDINNI E ARAZAKI, 2009).

Os acessos terrestres, aquaviários e aeroviários são por onde a carga será redistribuída para os centros de produção e consumo. Os acessos terrestres inclui as rodovias, as ferrovias ou os dutoviários. Os acessos aquaviários acontecem quando próximo ao local do porto existem hidrovias, como por exemplos rios, lagoas ou baías, pode ser incluído também o transporte por cabotagem. O acesso aeroviário acontece quando próximo ao porto existem aeroportos especializados em transporte de cargas. Ambos os acessos devem ser considerados na implantação de um novo porto, e se os mesmos estão integrados com o intuito de viabilizar a logística da região portuária.

As obras portuárias devido a sua localização próximo à costa e suas grandes dimensões tendem a causar grande interferência no meio ambiente, seja físico, econômico ou socioambiental. Com o objetivo de mensurar o quanto que uma obra desse porte pode afetar a região onde será implantado, avaliando aspectos físicos, bióticos, sociais etc, são realizados estudos de impacto ambiental. Esse tipo de estudo geralmente é apresentado em documentos denominados EIA (Estudo de impacto ambiental) e RIMA (Relatório de impacto sobre o meio ambiente), ambos têm a função de avaliar os impactos causados ao local de implantação de um novo empreendimento. O EIA é mais detalhado com uma linguagem mais técnica, enquanto o RIMA é documento que resume o EIA com uma linguagem mais

acessível à população que tenha algum interesse em saber se o empreendimento vai ser benéfico ou não para região.

Neste capítulo, serão abordadas duas importantes obras de um porto, a obra de abrigo e obra de manutenção da profundidade e acessibilidade. Ambas podem ser consideradas como obras externas em um porto.

4.1. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO QUEBRA-MAR

O quebra-mar é uma obra de abrigo que tem a função de criar uma área protegida para embarcações em relação à agitação marítima, principalmente causada pelas ondas de gravidade, e também, em menor escala, das correntes marítimas existentes na região. Além do quebra-mar existem outras obras de abrigo, como os molhes e os guias-correntes. A diferença básica do quebra-mar para o molhe é que o primeiro é uma obra de abrigo destacada da costa, já o molhe é construído unido à região costeira. Tratam-se de obras bastante similares no seu projeto e construção, entretanto são indicadas para situações diferentes, principalmente considerando a questão do transporte de sedimentos e a morfologia da costa.

Existem vários tipos de quebra-mar, a literatura classifica-os em:

- Quebra-mar de talude,
- Quebra-mar de parede vertical,
- Quebra-mar misto,
- Quebra-mar com núcleo de argila e de areia,
- Quebra-mar descontínuo,
- Quebra-mar de parede vertical com caixões de parede frontal perfurada,
- Quebra-mar pneumático e
- Quebra-mar de berma.

Dentre os tipos de quebra-mar citados, o quebra-mar de talude, de parede vertical e o misto são estruturas classificadas como convencionais, enquanto os outros como não convencionais.

O quebra-mar de talude é formado por um maciço de seção transversal trapezoidal, constituída por blocos de enrocamento ou concreto, a sua construção e

manutenção são mais práticas que a dos outros tipos de quebra-mar, o que torna esse tipo de quebra-mar um dos mais usuais. O funcionamento hidráulico deste tipo de quebra-mar se dá através da dissipação de energia das ondas quando as ondas se arrebatam e por atrito sobre o talude. A arrebatção ocorre quando a onda atinge 1,0 a 1,5 vezes a altura da onda.

Uma adaptação do quebra-mar de talude é o quebra-mar de berma, que ao invés de ser construído com uma carapaça com blocos de tamanho definido, de forma que os mesmos não desloquem com a ação das ondas, é constituído por uma berma com blocos de dimensões variadas. Esse tipo de quebra-mar consiste em uma massa porosa de blocos com largura suficiente para dissipar as ondas. A variação granulométrica é bem estendida permitindo a percolação das ondas no quebra-mar fazendo com que ocorra a dissipação de energia das mesmas. O quebra-mar de berma pode se movimentar se acomodado na medida que sofre a ação das ondas, o que torna a estrutura mais acomodável e estável. Essas características do quebra-mar de berma torna a escolha desse tipo de quebra-mar mais favorável do que a do quebra-mar de talude, além de se poder aproveitar melhor a pedreira do local devido a variação granulométrica do quebra-mar de berma.

Com a finalidade de saber o peso da camada mais externa a ser utilizada e por consequência o peso da pedra das camadas inferiores a fórmula de Hudson, que é dada pela seguinte fórmula:

$$P \geq \frac{H^3 \cdot \gamma_s}{K \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cdot \cot \alpha} \quad (11)$$

Onde☺

H é a altura da onda de projeto (m)

γ_s é o peso específico dos blocos (tf/m³)

γ_a é o peso específico da água (tf/m³)

α é inclinação do talude do quebra-mar

K é o coeficiente de estabilidade

Para o porto proposto neste trabalho, a obra de abrigo será do tipo quebra-mar de berma. O pré-dimensionamento das camadas do quebra-mar será realizado utilizando a fórmula de Hudson, na qual usaremos como a altura da onda de projeto aquela obtida na Seção 2.2.2, igual a $H = 6,8$ m. O ângulo de inclinação do talude e do coeficiente K foram obtidos através da Tabela 5, retirada do livro Obras e Gestão de Portos e Costas (ALFREDINI E ARASAKI, 2009). A escolha desses parâmetros foi feita considerando que o enrocamento rugoso angular, que deve ser colocado de forma especial com eixo maior do bloco exposto perpendicularmente exposto a face da estrutura, considerando que a camada tenha 2 blocos, considerando que as ondas não arrebatam na estrutura e com a declividade do talude de 1 para 3. Sendo assim o valor do ângulo de inclinação escolhido tem o valor de $\alpha = 18,3^\circ$, e o valor $K = 7,0$ para o corpo da estrutura e de $K = 6,4$ para o cabeço da estrutura.

Aplicando a fórmula aos dados citados acima, e considerando os valores de $\gamma_s = 24,5$ KN/m³, $\gamma_a = 9,8$ KN/m³, os resultados para o corpo e para o cabeço da estrutura foi de 108 KN e de 118 KN, o que equivale a aproximadamente um bloco individual rugoso e angular de 11 toneladas para o corpo e 12 toneladas para o cabeço da estrutura.

O quebra-mar de berma geralmente possui três camadas, a armadura ou carapaça, a primeira camada intermediária que é a mesma camada da berma de pé, o núcleo e a camada junto ao leito. A proporção dos pesos entre as camadas pode ser observada na Figura 10. A armadura ou carapaça tem um peso do bloco individual 10 vezes maior que a camada intermediária e o da berma de pé, já em relação ao núcleo e a camada junto ao leito o peso da armadura ou carapaça o peso do bloco individual é de 200 a 4.000 vezes maior.

Tabela 5: Valores sugeridos para K para uso na determinação do peso das unidades da armadura segundo U.S. ARMY (1984)

Critério de dano nulo e mínimo galgamento									
Unidades de armadura	n ⁽³⁾	Colocação	Corpo da estrutura		Cabeço da estrutura		Declividade do talude		
			K ⁽²⁾		K				
Enrocamento:			Onda arrebentando	Onda não arrebentando	Onda arrebentando	Onda não arrebentando	cot θ		
Liso e arredondado	2	Aleatória	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 a 3		
Liso e arredondado	> 3	Aleatória	1,6	3,2	1,4	2,3	(5)		
Rugoso e angular	1	Aleatória ⁽⁴⁾	(4)	2,9	(4)	2,3	(5)		
Rugoso e angular	2	Aleatória			1,9	3,2	1,5		
					2,0	4,0	1,6	2,8	2,0
							1,3	2,3	3,0
Rugoso e angular	> 3	Aleatória	2,2	4,5	2,1	4,2	(5)		
Rugoso e angular	2	Especial ⁽⁶⁾	5,8	7,0	5,3	6,4	(5)		
Paralelepípedo ⁽⁷⁾	2	Especial ⁽¹⁾	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-			
Tetrápodo e Quadrípodo	2	Aleatória			5,0	6,0	1,5		
					7,0	8,0	4,5	5,5	2,0
							3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Aleatória			8,3	9,0	1,5		
					3,0	10,0	7,8	8,5	2,0
							6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Aleatória	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0 ⁽⁸⁾		
					7,0	14,0	3,0		

Obs.:

⁽¹⁾ Os valores de K em itálico não são fundamentados em resultados de ensaios e são fornecidos somente para fins de projeto preliminar.

⁽²⁾ Aplicável para taludes de 1 para 1,5 a 1 para 5.

⁽³⁾ É o número de unidades que compõem a espessura da camada de armadura.

⁽⁴⁾ O uso de armadura de enrocamento com uma camada composta por uma única unidade não é recomendado para estruturas sujeitas à arrebentação das ondas e somente em condições especiais é recomendável para estruturas sujeitas a ondas que não arrebentam. Quando utilizados, os blocos devem ser cuidadosamente dispostos.

⁽⁵⁾ Até mais informação estar disponível, o uso de K deve estar limitado a taludes 1 para 1,5 a 1 para 3.

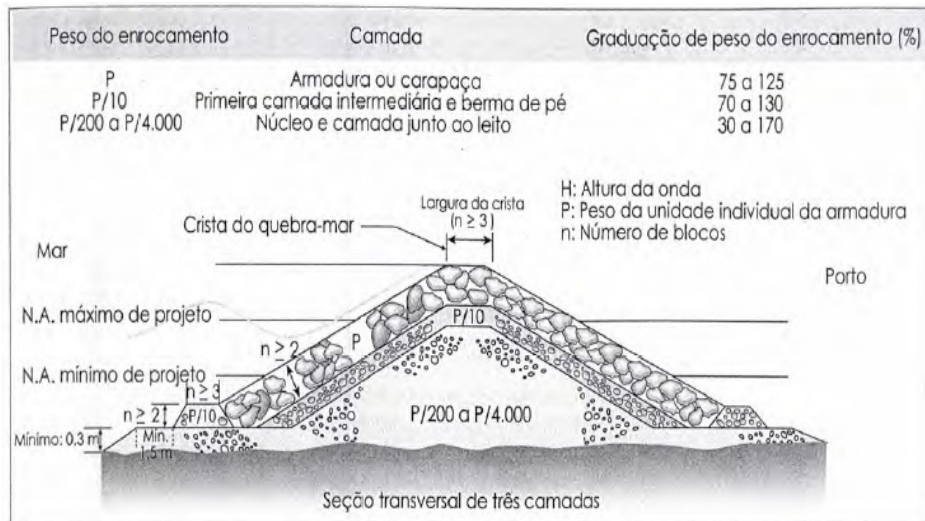
⁽⁶⁾ Colocação especial com o eixo maior do bloco disposto perpendicularmente à face da estrutura.

⁽⁷⁾ Blocos de forma paralelepípedica: blocos alongados com dimensão maior que cerca de 3 vezes a menor dimensão.

⁽⁸⁾ A estabilidade dos dolos em taludes mais íngremes do que 1 para 2 deve ser verificada em ensaios em modelo para cada caso específico.

Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

Figura 10: Distribuição do peso dos blocos por camada do quebra-mar



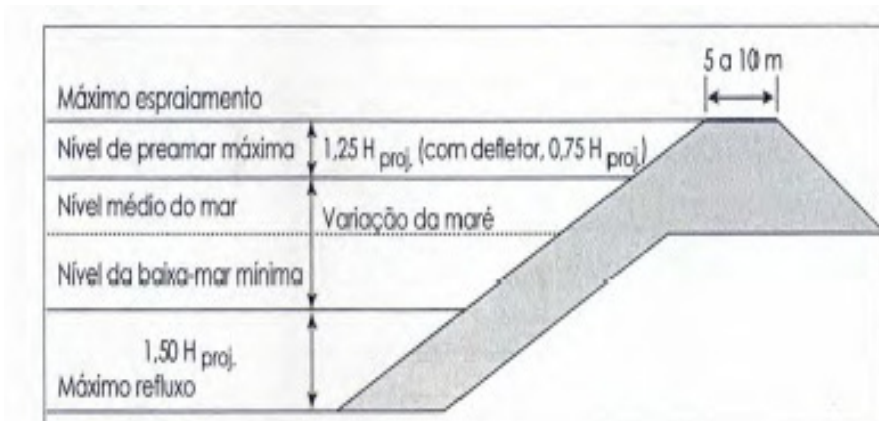
Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

4.1.1. Determinação da Altura do Quebra-mar

Para se determinar a seção transversal do quebra-mar é preciso saber a altura do mesmo. O processo do cálculo da altura do quebra-mar tem como objetivo de impedir dois fenômenos o *runup*, que é o galgamento das ondas sobre o quebra-mar e qual porcentagem dessa onda é transmitida para a área abrigada, e *overtopping* que é o fato da onda ultrapassar a altura do quebra-mar e atingir o lado abrigado. Para se evitar que ocorram tanto *overtopping* quanto *runup* que podem prejudicar as condições de abrigo do porto, é recomendável que o dimensionamento da altura de borda livre (RC) possa garantir que a transmissão das ondas para o lado abrigado seja mínima.

Os valores relacionados aos fenômenos de *runup* e *overtopping*, apresentados aqui, são estimativas não muito precisas, pois para obtenção de valores mais precisos e confiáveis, ambos os fenômenos devem ser estudados com auxílio de modelos físicos reduzidos ou com auxílio de modelos computacionais. O cálculo da altura mínima para quebra-mar pode ser exemplificada na Figura 11. Considerando a onda de projeto $H_{proj} = 6,8$ m, a variação da maré de 0,9 m, o valor da altura do quebra-mar calculado foi de 19,6 m.

Figura 11 Cálculo da Altura do Quebra-mar

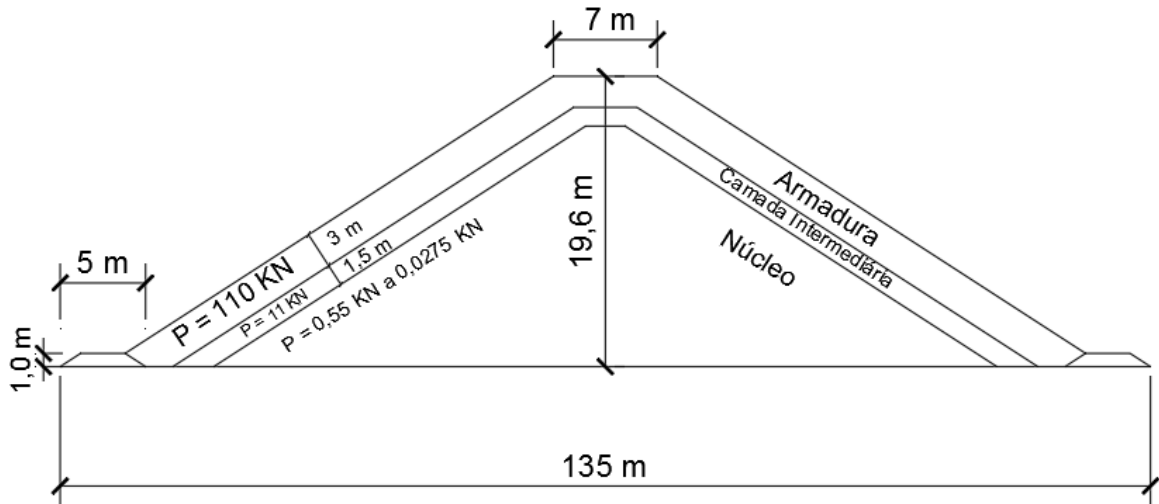


Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

4.1.2. Determinação da Largura e da Extensão do Quebra-mar

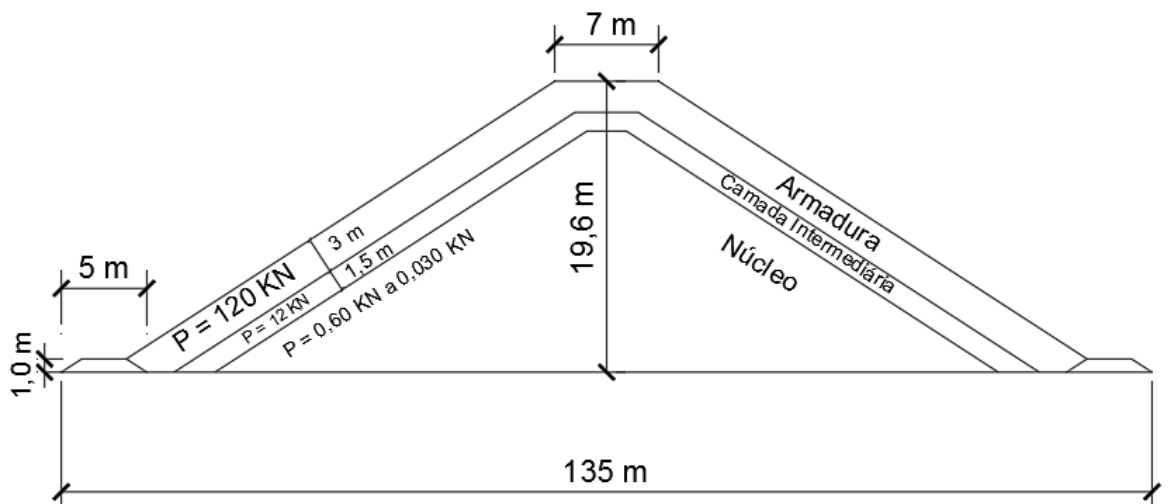
O pré-dimensionamento da largura da crista do quebra-mar e por consequência a largura da base do quebra-mar, pode ser estimado baseando-se na altura da onda de projeto para que o espraioamento na estrutura seja o máximo possível e minimize a ocorrência de *overtopping*. Sendo assim, será adotado para a largura da crista o valor da altura de onda 6,8m, e arredondado até o valor de 7,0 m. A largura da base do quebra-mar pode ser estimada multiplicando a tangente de $18,3^\circ$ pela metade da largura da crista do quebra-mar, que é a inclinação do talude do quebra-mar, o valor encontrado foi 1,16m, o qual foi somado a profundidade do quebra-mar, e por proporção simples, entre o triângulo menor com altura de 1,16 m e de 3,5 de largura e o triângulo maior de altura 20,76, o valor de 62,64 m para a metade da largura do quebra-mar foi estimado, logo o valor da largura da base do quebra-mar sem contar com pé de berma foi estimado em 125,29 m. Considerando que o pé de berma tem 3 m de comprimento e uma inclinação de 1:2, o valor total da largura do pé da base vale 5,0 m, e o valor da largura da base total será de 135 m.

Figura 12: Seção transversal no corpo da estrutura



Fonte: Autoria Própria

Figura 13: Seção transversal no cabeço da estrutura



Fonte: Autoria Própria

O pré-dimensionamento da extensão do quebra-mar está relacionado à movimentação futura do porto e ao fenômeno de difração gerado na zona de abrigo. Em relação à movimentação futura do porto, o número de berços de atracação está relacionado com a demanda que o porto deseja atender, cuja temática foge ao escopo deste trabalho. Quanto ao fenômeno de difração na estrutura, existem diversos métodos utilizados, como através de modelos físicos reduzidos ou modelos computacionais, métodos semi-empíricos e métodos físicos-matemáticos.

Neste trabalho, serão adotados um método semi-empírico e um método físico-matemático, com objetivo de estimar a extensão do quebra-mar nesta fase de pré-dimensionamento. Para obtenção de resultados mais aprofundados, é indicada a utilização de modelos físicos reduzidos, que permitem reproduzir diferentes condições físicas em escala reduzida e, assim melhor compreensão dos fenômenos que se deseja conhecer. Outra opção é a utilização de métodos computacionais, onde a reprodução do fenômeno de difração de onda pode ser reproduzida por equações resolvidas numericamente em softwares, associada à prescrição de dados ambientais da região em estudo. Devido à complexidade e custo econômico desses dois métodos físico e computacional, eles se tornam menos acessíveis para investigações que não envolvam retorno financeiro direto, como por exemplo, em trabalhos acadêmicos.

Os métodos utilizados para determinação do fenômeno de difração na retaguarda de quebra-mares escolhidos foram: o método físico-matemático Johnson e Blue-Johnson e método semi-empírico de Iribarren (GARCIA, 2013). Os métodos físico-matemáticos e semi-empíricos apesar de serem acessíveis e de fácil aplicação, não são muito precisos, sendo que os mesmos devem ser utilizados apenas para estudos prévios, tendo que ser refinados com o auxílio de métodos mais precisos como modelos reduzidos e modelos computacionais.

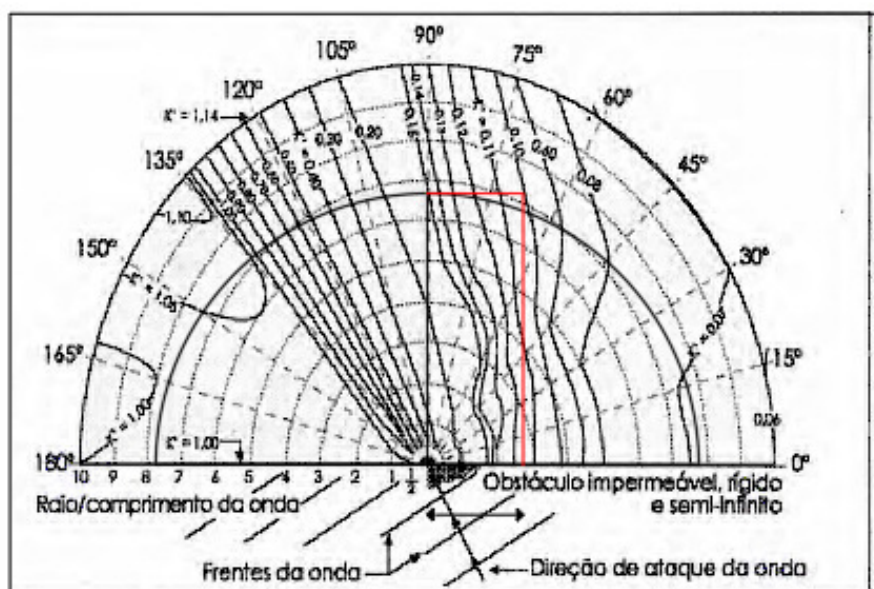
O fenômeno de difração das ondas pode ser definido da seguinte maneira, a onda incidente ao passar pela extremidade de um obstáculo, à propagação de ondas ocorre de forma progressiva radialmente a zona do tardoz da estrutura de contenção, de mesmo período e fase da onda incidente, sendo que a altura se reduz à medida que as ondas geradas percorre ao longo dos arcos de frente de onda (GARCIA, 2013).

Os dois métodos utilizados consideram existir na zona a ser abrigada no mínimo dois berços de atracação. Logo, mesmo não tendo sido determinado o número de berços de atracação para este porto no âmbito deste trabalho, a zona abrigada será estimada considerando os dois berços mínimos constantes nos métodos. Adicionalmente, os métodos consideram que o navio-tipo consiga fazer suas manobras com segurança, então a extensão do quebra-mar pode ser obtida 4

vezes o valor do comprimento do navio-tipo mais uma folga, equivalente à boca do navio, o que resulta em um valor de 1.192 m.

O método físico-matemático Johnson e Blue-Johnson, é baseado na intersecção do raio de comprimento de onda com o índice de refração, ($K = H/H_i$), que é a relação entre a altura da onda e a altura da onda incidente (a altura da onda antes de encontrar o anteparo). Através do valor de K , que no caso se assumiu que a altura máxima admissível junto à linha de atracação é de 0,87 m, e que a onda incidente tem uma direção de 120° e uma altura de 5, m e um período de 4s e com um comprimento de onda $\lambda = 156,8$ m, o valor de K equivale a 0,13, já o valor de do raio dividido pelo comprimento de onda é aproximadamente 7,6. Ao se fazer a intersecção da linha que representa o raio sobre o comprimento de onda com a linha que representa o $K = 0,1$, ou seja, onde a altura de onda vai ter uma altura corresponde a 0,15 vezes a altura da onda incidente, o valor da relação entre o raio e o comprimento de onda, para que se minimize o efeito de refração, é equivalente a 8,5. Sendo assim a distância extra c acrescentada a estrutura do quebra-mar equivale a 3,7 vezes o comprimento de onda vale aproximadamente $c = 580$ m e comprimento total do quebra-mar pode ser dado por 2.964 m dividido no braço maior paralela a direção da costa de 1.772 m e na direção menor perpendicular a costa de 1.192 m (GARCIA, 2013; U.S Army, 2001).

Figura 14: Método Johnson e Blue-Johnson



Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

O método de Iribarren considera o processo de difração de forma mais detalhada, a onda a uma distância de $L/4$, em que L é o comprimento de onda, começa a reduzir de amplitude, e percorre uma distância, denominada linha de expansão, até começar a se encurvar com dado ângulo, o que gera um comprimento de arco de circunferência que termina na linha de agitação (Figura 14). O processo consiste em se calcular a distância d , que é a distância da linha de alimentação até a linha de agitação e, por consequência, o valor do arco de circunferência e do ângulo α entre a linha de expansão e a linha de agitação das ondas ao se depararem com o obstáculo, começam a se encurvar. O processo se repete até que os arcos traçados toquem a região onde estará alocado os berços de atracação, ao se traçar uma perpendicular a linha do berço de atracação até a linha do quebra-mar e posteriormente se traçar uma linha horizontal até a linha de expansão, estima-se o valor de c , que é a distância onde vai se concentrar a agitação das ondas causadas pelo fenômeno de difração das ondas, sendo que essa agitação deve ser mínima, ou seja o índice de K de difração deve ser por exemplo 0,1.

O cálculo dos valores de d , l e α , é feito com auxílio das seguintes fórmulas:

$$d = \frac{4a+L}{\pi} \arccos(K) \quad (12)$$

$$l = d - a - \frac{L}{4} \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot l}{2\pi \cdot a} \quad (14)$$

Onde:

a distância da frente de onda a linha de expansão (m)

L é o comprimento de onda (m)

K é o índice de refração

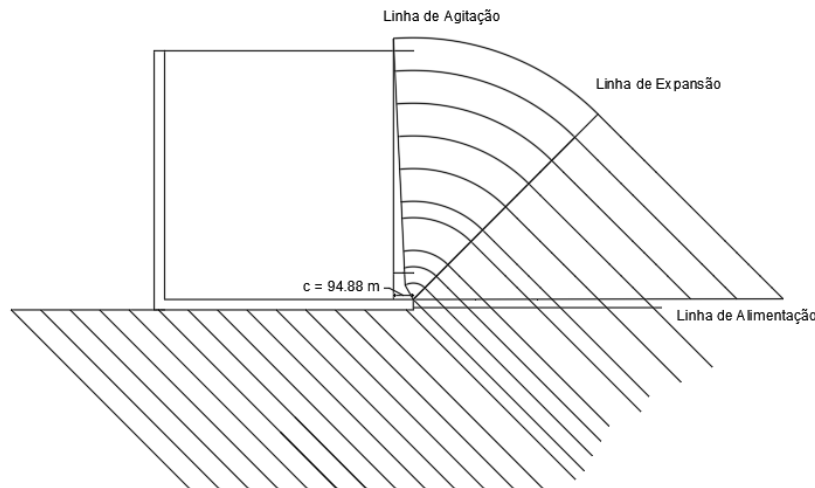
d é a distância da linha de alimentação até a linha de agitação (m)

l é o comprimento do arco de circunferência (m)

α é o ângulo entre a linha de expansão e a linha de agitação ondas (°)

O cálculo desses parâmetros foi realizado até que o arco interceptasse a linha de atracação dos berços, variando o valor do comprimento de onda.

Figura 15: Representação do processo gráfico do método de Iribarren



Fonte : Autoria Própria

Tabela 6: Cálculos do método de Iribarren

L (m)	a(m)	d (m)	l (m)	α
L/2	78,40	212,65	95,05	69,47
L	156,80	354,42	158,42	57,89
3 (L/2)	235,20	496,19	221,79	54,03
5(L/2)	392,00	779,73	348,53	50,94
3L	470,40	921,50	411,90	50,17
4L	627,20	1205,04	538,64	49,21
5L	784,00	1488,58	665,38	48,63
6L	940,8	1772,12	792,12	48,24
7L	1097,6	2055,66	918,86	47,97
8L	1254,4	2339,20	1045,60	47,76

Fonte : Autoria Própria

Ao considerar a extensão inicial do braço do quebra-mar paralelo da costa igual a 4 vezes o comprimento do navio de projeto somado a boca do mesmo, o que resulta em um valor de 1.192 m, o valor total desse braço deve ser somado a distância c para se minimizar o efeito da agitação das ondas, sendo assim o comprimento do braço paralelo a costa pelo método de Iribarren é de 1.287 m. O braço perpendicular não sofreu acréscimos tendo um valor 1.192 m de extensão, o que confere a estrutura de abrigo uma extensão total de 2.479 m.

Como foi mencionado esses métodos são um tanto imprecisos, os mesmos só atendem ao pré-dimensionamento das obras de abrigo, os seus resultados sejam refinados com o auxílio de modelos computacionais ou através de modelos reduzidos da obra de abrigo. Devido a essas incertezas para se ter uma estimativa coerente com portos existentes, foram pesquisados dois portos, o porto de Pecém e o porto do Açú, pois esses portos também apresentam o layout *offshore*, com quebra-mar destacado e ponte de acesso. A pesquisa realizada teve o objetivo de saber se as dimensões e a extensão total do quebra-mar de cada porto, assim como as dimensões do braço 1 paralelo a costa do porto e do braço 2 perpendicular a costa do porto pesquisado, sendo que para o porto de Pecém a dimensão de cada braço foi obtida através do Google Earth.

Tabela 7: Extensão dos quebra-mares através de pesquisas feitas na internet e dos métodos semi-empíricos

Extensão	Braço Paralelo à Costa	Braço Perpendicular à Costa	Total
Método Blue-Jonson	1.772 m	1.192 m	2.964 m
Método de Iribarren	1.287 m	1.192 m	2.479 m
Porto de Pecém	1.753 m	972 m	1.768 m
Porto do Açú	1.300 m	900 m	2.200 m

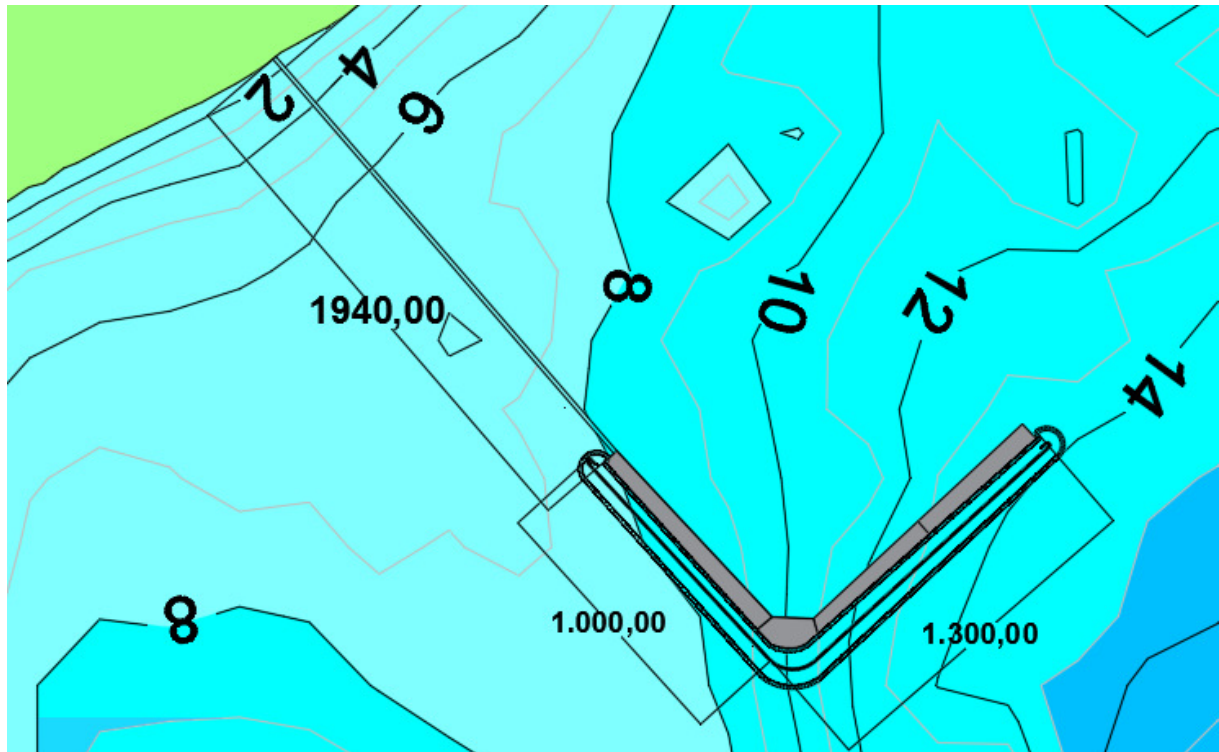
Fonte: Autoria Própria

Devido à falta de métodos mais precisos e que o trabalho acadêmico se propõe a fazer um pré-dimensionamento do quebra-mar, uma boa estimativa seria escolher um valor intermediário entre os dois métodos e os valores pesquisados nos portos, definido como 2.360 m de comprimento no total, divididos em 1.360 m para o braço paralelo a costa, e 1.000 metros para o braço perpendicular à costa, conforme pode ser observado na Figura 14.

A partir das dimensões do quebra-mar e da distância da ponte de acesso é possível representar o layout do porto de forma mais detalhada, para o futuro porto

foram considerados três áreas junto a estrutura do quebra-mar onde podem ser alocados os berços de atracação e os locais de movimentação de carga (Figura 15).

Figura 16: Dimensões da extensão da ponte de acesso e do quebra-mar



Fonte: Autoria Própria

4.2. CANAL DE ACESSO E BACIA DE EVOLUÇÃO

As dimensões do canal de acesso e bacia de evolução estão atreladas as dimensões do navio de projeto, e também a questões como o posicionamento quebra-mar, as condições de ondas, ventos, correntes, marés, dentre outros fatores. O canal de acesso e a bacia de evolução têm a função de garantir a navegabilidade e a segurança que o navio de projeto deve ter para fazer as manobras para entrar e sair do porto.

O canal de acesso tem suas dimensões de largura delimitada por boias luminosas para guiar os navios na atracação no porto. As dimensões do canal de acesso compreendem a definição da profundidade do canal e de sua largura.

4.2.1. Dimensionamento da Profundidade do Canal de Acesso

A profundidade do canal, considerando a embarcação-tipo, depende de fatores como a maré, os efeitos de onda, o *squat* (definido como o afundamento dinâmico acrescido ao *trim*, que é o afundamento da proa e da popa), o calado estático do navio de projeto, considerando que o mesmo esteja em condição de plena carga, assim como a variação da densidade da água do mar (TSINKER, 2004; ALFREDINNI E ARAZAKI, 2009).

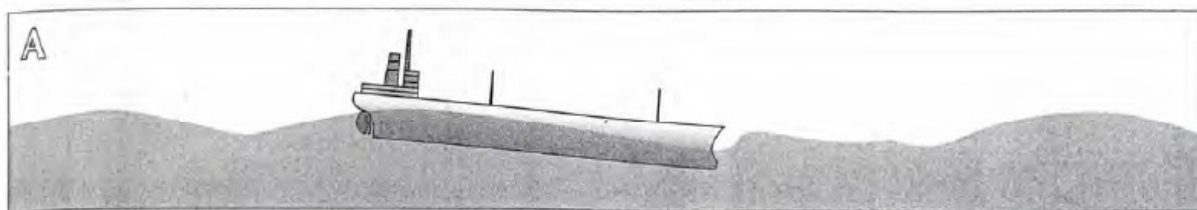
A maré tem uma influência direta no dimensionamento da altura do canal de acesso, pois se não for considerado pode ocasionar grandes danos como atolamento da embarcação-tipo, sendo o valor considerado deve ser a menor baixamar, incluindo o efeito meteorológico, que é a situação mais desfavorável para a embarcação-tipo.

Outro fator seria o das incertezas entre o nível d'água e o fundo marinho, porque mesmo sabendo das profundidades locais fornecidas pelo mapa de batimetria, existem incertezas se a profundidade é realmente aquela que está no mapa, se a medição pode estar desatualizada ou a região ter sofrido assoreamento acentuado.

A variação da densidade da água do mar interfere no projeto da profundidade do canal de acesso, porque quando a densidade da água diminui o navio tende a afundar mais, o que pode causar complicações para a embarcação. O *squat*, um fenômeno que ocorre apenas em águas rasas, está relacionado a movimentação do navio ao afundar de forma dinâmica acrescido ao *trim*, o que interfere também na profundidade do canal de acesso (Figura 17).

Os efeitos de uma onda podem ser percebidos através dos seis graus de liberdade no movimento do navio: translações no eixo x, y e z e rotações no eixo x, y e z, denominadas de *surge* (avanço), *sway* (deriva), *heave* (afundamento), *roll* (jogo), *pitch* (arfagem) e *yaw* (guinada) respectivamente.

Figura 17: Fenômeno de Squat em uma embarcação



Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

O movimento de *pitch* gerado na embarcação pela atuação das ondas, associado ao comprimento e velocidade do navio, em determinadas condições de ondulação (altura, período e direção) podem causar enorme risco nas manobras portuárias. A pior condição para um navio relacionado à onda é quando o comprimento do navio é bem menor que o comprimento da onda, situação em que o navio se encontra no cavado da onda.

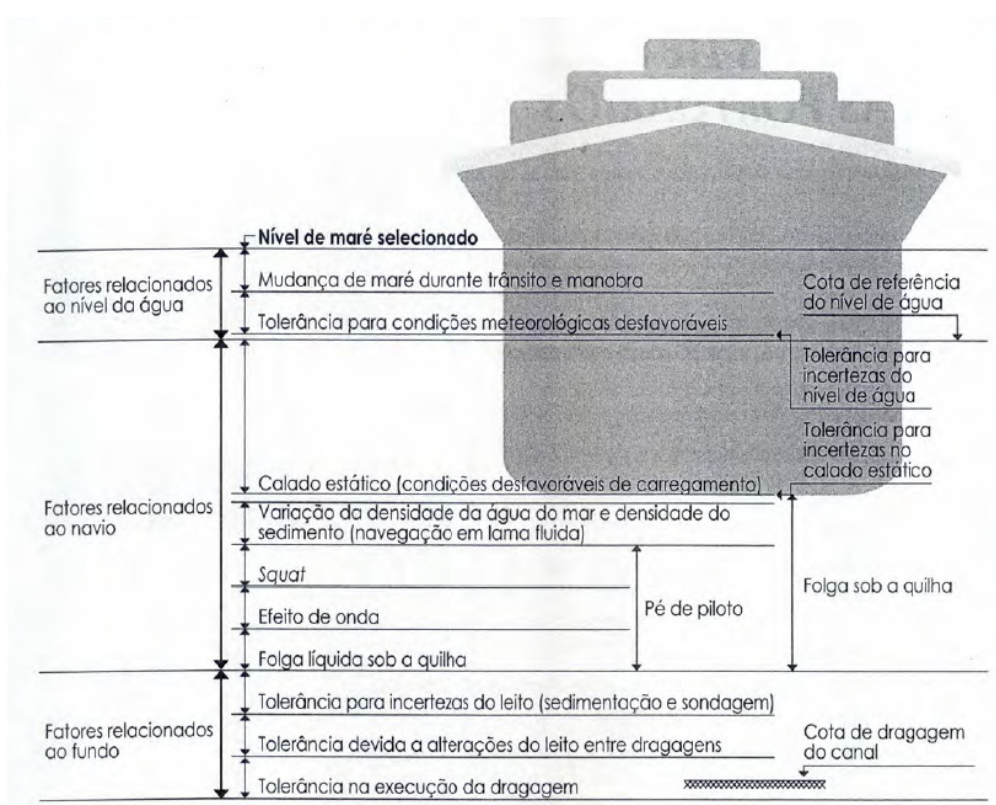
A folga líquida sob a quilha depende do tipo do leito marítimo, segundo a NBR nº 13.246/95, caso o solo for lodoso a folga admitida é de até 0,3 m, caso seja arenoso de 0,3 a 0,5 m, e de no mínimo de 1,0 m para solo rochoso. Entretanto, geralmente se adota o valor de 2 pés, que equivale a uma folga de aproximadamente 0,6 m.

As intolerâncias para a incerteza do leito estão atreladas a incerteza se a dragagem foi bem executada e se a sondagem é atual, se o leito marinho possui realmente a profundidade descrita no mapa batimétrico, por isso se considera certa folga no dimensionamento da altura do canal de acesso também nesse caso.

Após esta breve explicação dos fatores que afetam diretamente a escolha da profundidade do canal de acesso, o ideal seria que todas as folgas fossem contempladas, porém isso tornaria o dimensionamento do canal de acesso inviável economicamente. Observando a Figura 10, pode-se notar que essas folgas podem ser discriminadas em três grupos principais os fatores relacionados ao nível d'água, os fatores relacionados ao navio e os relacionados ao fundo marinho. Uma boa aproximação para a escolha dessas folgas seria contemplar pelos menos um fator de cada um desses grupos, e assim garantir de forma aproximada que a profundidade do canal seja dimensionada.

Para contemplar o grupo relacionado ao nível d'água, foi adotada a variação da maré meteorológica de 0,5 m como folga, já para o grupo dos fatores relacionados ao navio, foi adotada a folga de 0,5 m que equivale a folga líquida sob a quilha (considerando o leito marinho arenoso), e, por último, em relação às incertezas do leito marinho, foi escolhida uma folga de 0,3 m relacionada à incerteza que possa existir no mapa de batimetria. Um agravante para as incertezas em relação à profundidade do leito marinho é o fato do mapa batimétrico utilizado neste trabalho ter sido baseado em carta náutica confeccionada na década de 1970, a qual está bastante desatualizada. Através da escolha dessas folgas a profundidade do canal pode ser definida como o somatório do calado do navio com as folgas, o que resulta em uma profundidade de 14,5 m.

Figura 18: Fatores que interferem na profundidade do canal de acesso



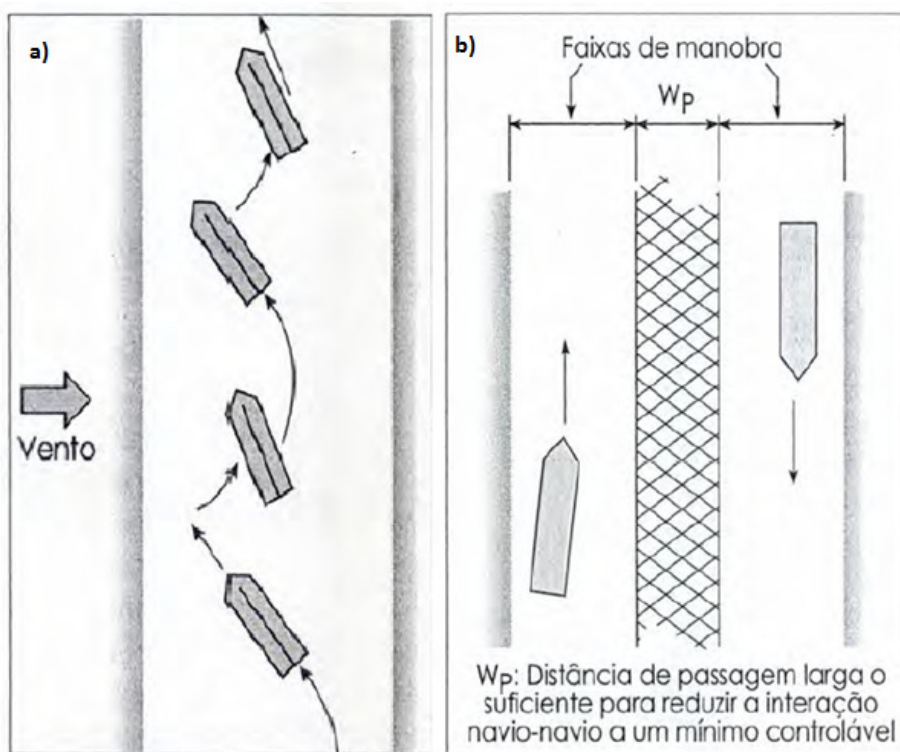
Fonte : ALFREDINI E ARASAKI, 2009

4.2.2) Dimensionamento da largura do canal de acesso

A princípio a largura do canal deve atender a largura do navio de projeto. O dimensionamento deve considerar além da largura do navio de projeto, que o navio

sofre a ação dos ventos, o que faz com que o tráfego das embarcações dos navios ocorra de maneira um pouco desordenada, como se fosse em zigue-zague, ou seja a largura deve atender a manobrabilidade do navio de projeto. Além dessas distâncias extra outro fator que pode vir a aumentar a largura do canal de acesso é se o canal é em via de mão única ou dupla, pois além de demandar o dobro da largura de um canal com pista única, deve haver uma distância mínima entre as duas vias.

Figura 19: a) Manobra com forte vento cruzado; b) Distância canal de mão dupla



Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009

A largura do canal de acesso depende de pelo menos 13 fatores para ser dimensionada: manobrabilidade, velocidade do navio, ventos transversais prevalentes, correntes transversais e longitudinais prevalentes, altura significativa (H_s) e comprimento da onda (L), auxílios a navegação, superfície de fundo, a profundidade da via navegável, nível de periculosidade da carga, intensidade do tráfego, largura adicional devido à folga com a margem e a largura de passagem para canais de mão dupla.

A metodologia para se calcular a largura do canal de acesso recomendada pela instituição, THE WORLD ASSOCIATION FOR WATERBORNE TRANSPORT (PIANC, 2003), é composta por 11 tabelas que determinam como de calcular a dimensão da largura do canal de acesso. A PIANC também recomenda que a largura mínima para uma faixa de navegação com talude inclinado é 3,6 B (Boca do Navio de Projeto) e para um canal nas mesmas condições de faixa dupla de navegação a largura mínima deve ser de 6,8 B, em que B é a boca do navio de projeto. Quanto a declividade do talude da praia, ao se considerar que o fundo marinho seja composto de areia grossa e fina a NBR 13.246/95 recomenda que a declividade do talude seja de 1:4 para 1:6.

Tabela 8: Dimensões utilizadas

B	Boca da embarcação	32,2 m
L	Comprimento da Embarcação	290 m
T	Calado da embarcação	13,2 m

Fonte: PIANC, 2003

Tabela 9: Faixa de manobra básica incluindo a boca

Manobrabilidade da embarcação	Boa	Moderada	Ruim
Largura requerida	1,3 B	1,5 B	1,8 B
	-	-	X

Fonte: PIANC ,2003

Tabela 10: Classificação da velocidade quanto a intensidade (nós)

Veloz	> 12	-
Moderada	> 8 ≤ 12	X
Lenta	> 5 ≤ 8	-

Fonte: PIANC ,2003

Tabela 11: Densidade de encontro de tráfego

Categorias	Densidade de tráfego (embarcações/h)
-------------------	---

Leve	0-1	-
Moderada	> 1-3	-
Pesada	> 3	X

Fonte : PIANC ,2003

Tabela 12: Largura adicional devido à folga com a margem

Largura Adicional		Velocidade da Embarcação		Canal não externo (não abrigado)		Canal interno (abrigado)	
Canal com laterais taludadas e com bancos de areia	x	Veloz	-	0,7 B	-	Não - recomendável	
		Moderada	X	0,5 B	X	0,5 B	-
		Lenta	-	0,3 B	-	0,3 B	-
Margens íngremes rígidas, estruturas	-	Veloz	-	1,3 B	-	Não se aplica	
		Moderada	-	1,0 B	-	1,0 B	-
		Lenta	-	0,5 B	-	0,5 B	-

Fonte : PIANC , 2003

Tabela 13: Largura de passagem para canais de mão-dupla

Largura Adicional	Canal externo (não abrigado)		Canal interno (abrigado)	
Velocidade da embarcação				
Veloz	2,0 B	-	Não se aplica	
Demorada	1,6 B	X	1,4 B	-
Lenta	1,2 B	-	1,0 B	-

Densidade de Tráfego				
Leve	0,0	-	0,0	-
Moderada	0,2 B	-	0,2 B	-
Pesada	0,5 B	x	0,4 B	-

Fonte: PIANC , 2003

Das 11 tabelas constantes na referida publicação apenas 6 foram utilizadas. As tabelas referentes a intensidade dos ventos transversais, intensidade das correntes longitudinais, intensidade das correntes transversais, classificação quanto a periculosidade da carga, são utilizadas para determinar as folgas da tabela das larguras adicionais para canais com seção transversal reta. Como a seção transversal do canal não é reta, e sim com laterais taludadas, não foi preciso que essas tabelas fossem consultadas.

A escolha dos fatores, assim como o resultado final da largura do canal de acesso, estão representados na Tabela 14 e na Figura 18. Sendo assim a dimensão total da largura do canal de acesso é de 6,7 B, o que equivale a 216 m aproximadamente, o que está próximo ao valor da PIANC, de se ter uma largura de canal maior que 6,8B, para canais de mão dupla.

A seção transversal do canal de acesso é de um trapézio, a declividade do talude considerado foi de 1:4 (Talude de areia fina e areia grossa), ao se multiplicar 15 por 4, chega-se ao resultado de 58,0 m, que é a distância horizontal do talude para cada extremidade do canal.

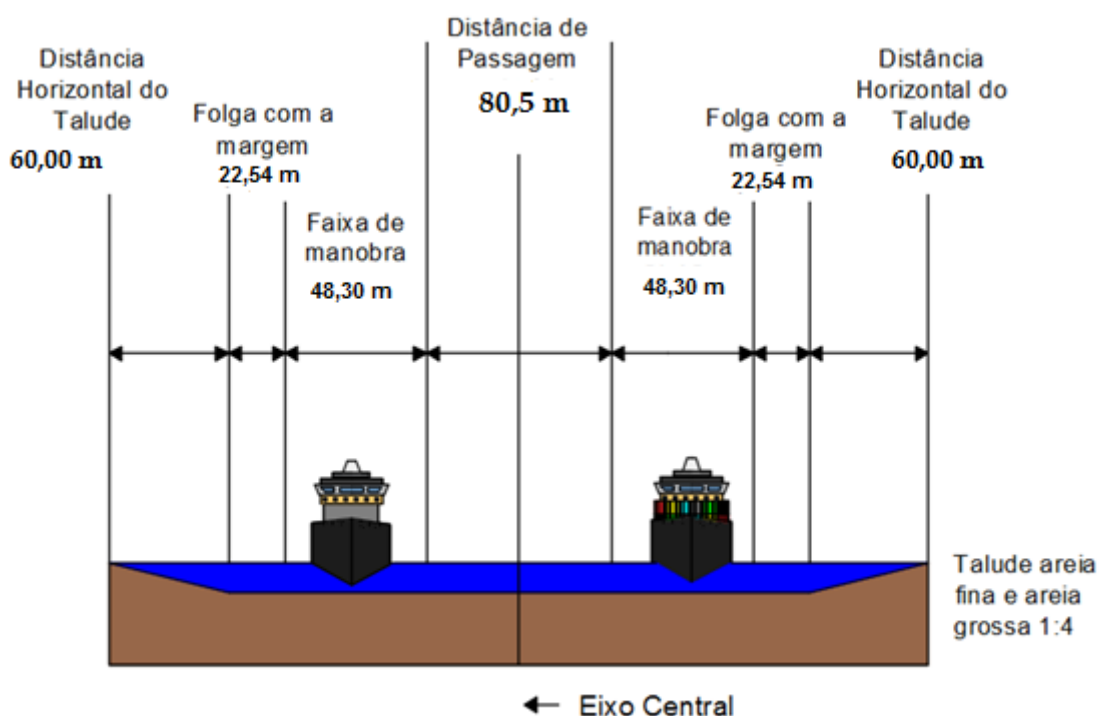
Tabela 14: Escolha dos fatores que interferem na largura do canal de acesso e o resultado da largura total do canal de acesso

Fatores	Largura Requerida	Resultado
Faixa de manobra básica incluindo a boca	3,6 B	115,92 m
Largura adicional	1,0 B	32,2 m

devido à folga com a margem por faixa		
Largura de passagem para canais de mão-dupla	2,1 B	67,62 m
Valor Total	6,7 B	216 m

Fonte: Autoria Própria

Figura 20: Dimensões da seção transversal do canal de acesso



Fonte : Autoria própria

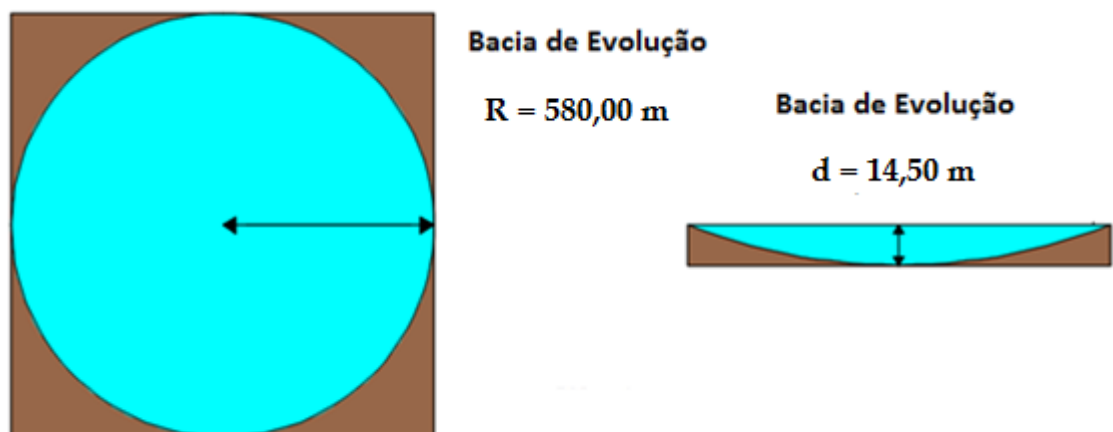
4.2.3 Dimensionamento da Bacia de Evolução

As bacias de evolução têm a função de garantir que os navios consigam fazer manobras para adentrar e sair do porto. Essa região deve ser protegida de fortes correntes e ventos, da agitação de ondas, assim como deve estar livre de regiões com dutos e cabos submarinos, dentre outros obstáculos.

O principal fator que interfere no dimensionamento da bacia de evolução é o comprimento do navio, que tem relação direta com sua manobrabilidade, sendo que este fator está relacionado também com o tempo de manobra, na medida em que o tempo de manobra diminui, as dimensões da bacia de evolução devem aumentar. A forma de calcular a profundidade da bacia de evolução é semelhante a forma de se calcular a profundidade do canal de acesso, porém a folga líquida sob a quilha do navio deve se considerar que seja no mínimo de 1,0m para evitar que a embarcação-tipo assente no fundo marinho. Porém assim como foi mencionado na determinação da profundidade do canal de acesso, de que nem todos os fatores vão ser contemplados para que a obra não se torne onerosa, e que a escolha de algumas folgas acabam abrangendo a escolha de outras folgas, sendo assim pode-se assumir que a bacia de evolução vai ter a mesma profundidade do canal de acesso.

Quanto ao a área superficial da bacia de evolução, recomenda-se que seja uma área circular com cujo raio seja 2,0 vezes o comprimento da embarcação-tipo. Sendo assim o dimensionamento da bacia de evolução resulta na profundidade de 14,5 m e com uma área de 105,68 ha (1.056.831m²) e com um raio 580,0 m, conforme pode ser observado na Figura 19.

Figura 21: Dimensões da Bacia de evolução área superficial e profundidade



Fonte: Aatoria Própria

4.3. OBRA DE DRAGAGEM

O processo de dragagem consiste na remoção dos sedimentos para atender a diversos objetivos, como o de ser jazida de areia para a construção civil, também quando se deseja regularizar o leito de vias aquáticas, sendo também importante para aterros, recuperação de solos contaminados e para fins de mineração.

A finalidade da dragagem em uma obra portuária é a regularização do leito marinho, considerando que o navio-projeto possui um calado maior que as profundidades próximas a costa onde será implantado o porto. Em seções anteriores, foi obtido o dimensionamento do canal de acesso e da bacia de evolução, cujas profundidades deverão ser atendidas através da dragagem.

O termo pré-dimensionamento também será utilizado, pois apesar do processo de dragagem ser simples teoricamente, esse processo na prática requer uma boa precisão da batimetria do local, para se calcular o volume de sedimentos a ser dragado, que constitui uma etapa com custo representativo na obra geral da implantação de um porto.

Através do valor da profundidade do canal acesso e da figura 14, pode-se perceber que é necessário se dragar da profundidade de 14,5 m a 12,0 m, para que o navio tipo consiga trafegar sem risco de ficar encalhado.

O método de calcular o volume a ser dragado do canal de acesso, pode ser realizado através da divisão do canal em seções transversais equidistantes entre as profundidades de 15 m a 12 m. O cálculo do volume se dá através da média aritmética da área de duas seções consecutivas, multiplicando-se o resultado pela distância entre as áreas, o volume total e dragagem é a soma dos volumes calculados em cada etapa.

O método de cálculo do volume da bacia de evolução, a ser dragado, foi feito através de um estimativa, em que a circunferência foi dividida em cinco regiões, associadas as isolinhas das profundidades de 10 m a 14 m ,(Figura 22). No cálculo da area da circunferência foi considerado ,que a area 1, representa 20% da area da bacia de evolução, as areas 2,3 e 4 representam, 75% da area da bacia de evolução, 25% cada e a area 5 representa 5% da área da bacia de evolução. O

cálculo do volume dragado foi feito multiplicando os valores das respectivas áreas pela diferença de profundidade original e aquela dimensionada para a bacia de evolução. A estimativa do cálculo das áreas foi feita devido a complexidade dos cálculos, das áreas das seções das circunferências e também devido a dificuldade de aplicar o comando *mesurare*, no software autocad.

Os resultados do volume do canal de acesso e bacia de evolução podem ser demonstrados através das Tabelas 15, 16 e também através da Figura 20.

Tabela 15: Cálculo do volume do canal de acesso

T				
B+b	L1	L2		
312	34	31		

H1	H2	An	An+1	V
0,1	0,2	15,6	31,2	796
0,2	0,3	31,2	46,8	1.326
0,3	0,4	46,8	62,4	1.856
0,4	0,5	62,4	78	2.387
0,5	0,6	78	93,6	2.917
0,6	0,7	93,6	109,2	3.448
0,7	0,8	109,2	124,8	3.978
0,8	0,9	124,8	140,4	4.508
0,9	1,0	140,4	156	5.039
1,0	1,1	156	171,6	5.569
1,1	1,2	171,6	187,2	5.561
1,2	1,3	187,2	202,8	6.045
1,3	1,4	202,8	218,4	6.529
1,4	1,5	218,4	234	7.012
Volume Total		56.971		m ³

Fonte : Autoria Própria

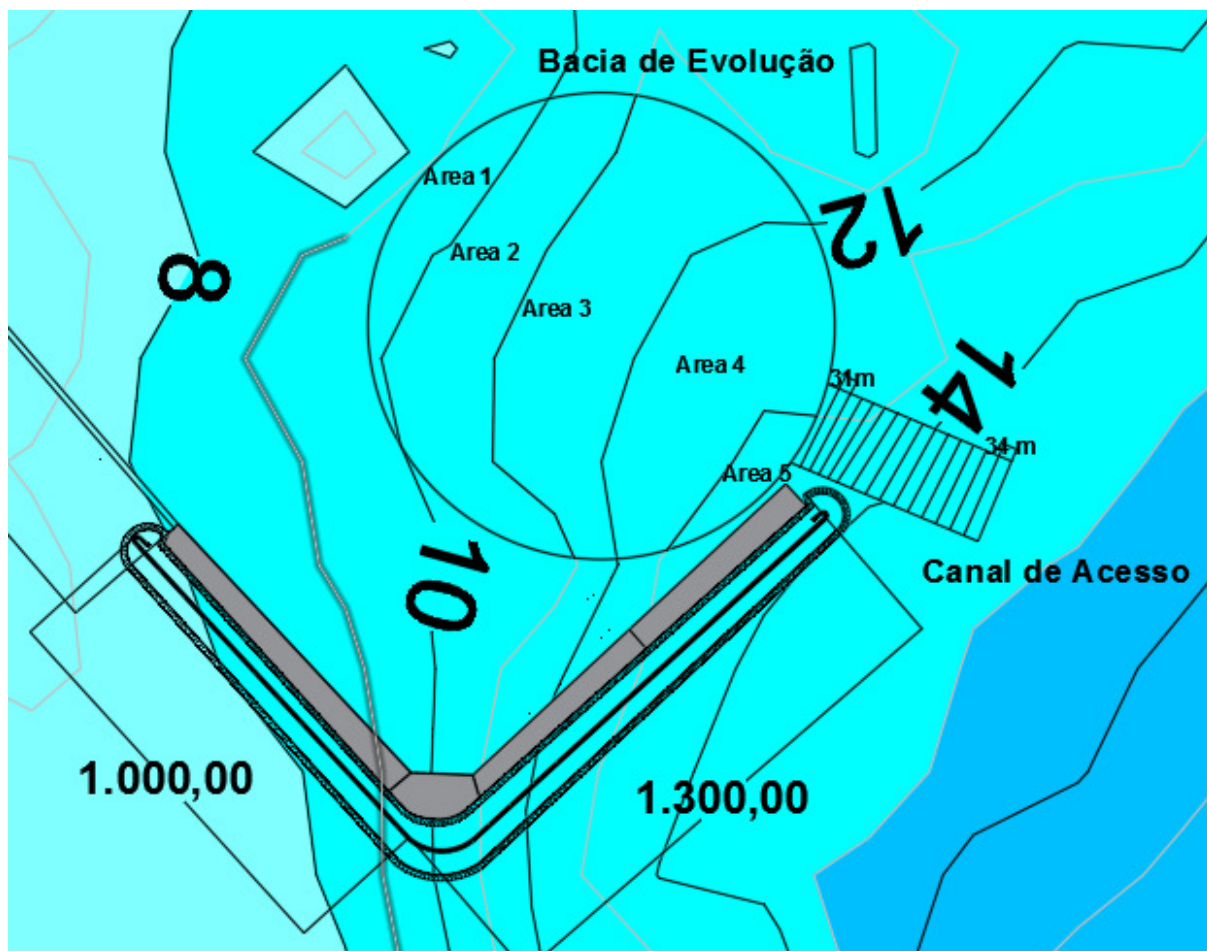
Tabela 16: Cálculo do volume da bacia de evolução

A1 (20%)	A2 (25%)	A3 (25%)	A4 (25%)	A5 (5%)
211.366	264.208	264.208	264.208	52.842
V1	V2	V3	V4	V5
105.683	396.312	660.520	924.728	237.787

Volume Total	2.325.030	m ³
---------------------	-----------	----------------

Fonte: Autoria Própria

Figura 22: Cálculo do volume de dragagem do canal de acesso e bacia de evolução



Fonte: Autoria Própria

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão teve como objetivo conceber e projetar obras de hidráulica marítima relacionadas a instalação de um novo porto na cidade de Macaé. Portanto, são cumpridas duas finalidades, a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Civil, com enfoque na Engenharia Portuária e Costeira, a um caso real, envolvendo um novo porto hipotético na cidade de Macaé. Este assunto tão discutido na sociedade local, devido a sua importância social e econômica, serviu como motivação para alinhar o conhecimento produzido na academia e se tornar útil para contribuir em questões regionais.

Através desse trabalho acadêmico pode-se definir que o porto hipotético de Macaé, é um porto marítimo (*offshore*), localizado nas coordenadas, em UTM, 248.000 m (Leste) e 7.542.000 m (Norte), afastado 1.940 metros da costa, composto de um quebra-mar de 2.300 m de comprimento, sendo em forma de L, com a dimensão de 1000 m na direção perpendicular à costa e 1300 m na direção paralela à costa. O porto conta com um canal de acesso com a profundidade de 14,5 m tal, largura de 216 m, que permite a passagem de dois navios simultâneos e uma bacia de evolução com 580 m de raio, para atender o navio de projeto Panamax, com uma capacidade de carga de 60.000 TPB, com 290 m de comprimento, 32 m de boca e com calado de 13,2 m.

Como o trabalho de conclusão de curso se ateve as questões do pré-dimensionamento de obras portuárias externas, para trabalhos acadêmicos futuros, é recomendado que outras técnicas de dimensionamento das mesmas seja mais aprofundado. Adicionalmente, o estudo de ondas, poderia considerar a instalação e medição por bóia ondógrafo no local onde o porto será implantado, o que favoreceria o entendimento e precisão dos parâmetros de ondas. Outros artifícios que poderiam ser utilizados no dimensionamento são o auxílio de simulação computacional, ou por intermédio de modelos hidráulicos reduzidos do porto.

A temática que envolve a implantação de um porto são inúmeras, o que tornaria interessante que essas áreas que não foram abordadas neste trabalho

acadêmico, fossem temas de trabalhos futuros como, a questão retroárea do porto, que está relacionada com a logística ea conexão rodoferroviária do local de implantação do porto. Outros temas a serem abordados, seriam os requisitos ambientais e legais de implantação do porto e a questão orçamentária das obras do porto, dentre outros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfredinni, P.; Arazaki, E. **Obras e Gestão de Portos e Costas**: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 2ed. São Paulo: Blucher, 2009.

Castilho, E.J.; Sarabia, M., Extreme Value Analysis of Wave Heights. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, Volume 99, Number 4, July-August 1994

Chaves, D.; Siqueira, M. **A chegada da Petrobrás Impulsiona Macaé**. **O DebateOnline**, Macaé – RJ, 03 out. 2012. Disponível em: <<https://www.odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/25868/a-chegada-da-petrobras-impulsiona-macaee>>. Acesso em 07 jun.2018.

Delegacia da Capitania dos Portos em Macaé, Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/delmacaee/terminal_imbetiba>. Acesso em 07.fev.2018

Durusan, S. D. **Effects of Wave Action upon the Design of the Breakwater for Istanbul Harbour**. 1950. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Missouri University of Science and Technology, S&T, Missouri, U.S, 1950.

Escocard, G **Somos Comunicação**. Disponível em : <<http://somosassim.com.br/porta/o-visconde-de-araruama-o-seu-palacete-e-o-canal-campos-macaee>>. Acesso em 05.fev.2018.

Garcia, P, D. Disciplina Portos Rios e Canais II. 2013. 83 f. Notas de Aula

Goes Filho, A. H. **Planejamento Portuário**. Vitória, Espírito Santo, 2008.

Golden Software. **Suffer**. Colorado , U.S: 2013

Laboratórios de Modelagem de Processos Marítimos e Atmosféricos(Lamma-UFRJ).Disponível em:<http://www.lamma.ufrj.br/sites/spo/atlasul/documentos/curiosidades/ondas_vento.html >. Acesso em 8 jun.2018

Liu. Z ; BurcharthH. F.Coastal Engineering : Proceedings of the 26th Conference on Coastal Engineering. Design Wave Height Related to Structure Lifetime,New York, 1-13, 1999

MundoGeo. Disponível em: <<https://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentos-batimetricos/>>. Acesso em 09.mar.2018

Neutral Agendamento Portuário Posição de Navios. Disponível em: <<http://www.agneutral.com.br/posicao-de-navios>>. Acesso em 10.abr.2018

Oceânica UFRJ, Disponível em:< Terminal Portuário de Macaé (TEPOR). Disponível em: <http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2003-2006/Fabio2X/relat1/>. Acesso em 19 nov.2018.

Parente, E, C et al. **Caracterização Ambiental Regional Da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste, Capítulo 2, Climatologia de Ondas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

Parente, E, C et al.**Metereologia da Bacia de Campos, Capítulo 1**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

Pereira, J. ; Candella, R.N. ; Carvalho J.L.B. **O Clima de Ondas na Costa Sul de Arraial do Cabo, RJ: Distribuição de Parâmetros de Onda** Itajaí Santa Catarina, 2000

Pereira, S. G. **Projecto de um Quebramar Destacado de Proteção para a Frente de Espinho**. 2008. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP, Porto, Portugal. 2008.

Pilarczyk, K, W.Dike and Revetments, Design, Maintenance and Safety Assessment. ed. New York U.S :Routledge, 2017.

Pinho, F, U. **Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos**. 2003. 133 f. (Dissertação de Mestrado de Engenharia Oceânica)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

ProGrid. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm>. Acesso em: 11.abr.2018

Reeve , D; Chadwick, A; Flemming, C. **Coastal Engineering: Process, Theory and Design Practice**. ed. New York (U.S) and London (U.K) : Spon Press, 2005.

Rijin, L, C, V. **Stability Design of Coastal Structures**, (Seadikes, Revetments, Breakwaters and Groins) : 2017. Disponível em: < <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Stabilitystructures2015.pdf>>. Acesso em 30 jun.2018.

Sayao, O, J. Offshore Breakwaters for Port Development in Brazil. ASCE Library, maio. 2014. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413067.152>>. Acesso em 15 jun.2018.

Sea Clear. Disponível em: <<http://www.sping.com/seaclear/>> Acesso em: 09.abr.2018

Terminal Portuário de Macaé (TEPOR). Disponível em:<<https://tepor.com.br/>>. Acesso em 09 jun.2018.

THE WORLD ASSOCIATION FOR WATERBORNE TRANSPORT (PIANC): PTC II-30:Canais de Acesso Um Guia para Projetos. São Paulo, 2003.

Tsinker, P. G. **Port Engineering**: Planning, Construction, Maintenance, and Security. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

U.S. ARMY, COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER - **Shore Protection Manual**, Parte II, chapter 4, 2001.

Vidal, O. **Rede Globo**, Globo Ciência. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2012/05/descoberto-em-2007-pre-sal-guarda-50-bilhoes-de-barris-de-petroleo.html> >. Acesso em 06 jun. 2018.

ANEXOS

Anexo A: Dimensões Características dos Navios de Carga Geral em ordem decrescente de calado

Tipo de Navio	Porte Bruto	Boca	Calado (m)
---------------	-------------	------	------------

Porta Containers (Pós-Panamax)	88669	299,90	42,80	19,50
Porta Containers (Pós-Panamax)	70000	280,00	41,80	13,80
Porta Containers (Pós-Panamax)	65000	274,00	41,20	13,50
Porta Containers (Pós-Panamax)	60000	268,00	39,80	13,20
Porta Containers (Panamax)	60000	290,00	32,20	13,20
Porta Containers (Pós-Panamax)	55000	261,00	38,30	12,80
Porta Containers (Panamax)	55000	278,00	32,20	12,80
Navios de Produtos Químicos e	50000	210,00	32,20	12,60
Porta Containers (Panamax)	500000	267,00	32,20	12,50
Cargueiros (Liners)	40000	209,00	30,00	12,50
Porta Containers (Panamax)	45000	255,00	32,20	12,20
Cargueiros (Liners)	35000	199,00	28,90	12,00
Navios de Produtos Químicos e	40000	200,00	30,00	11,80
Porta Containers (Panamax)	40000	237,00	32,20	11,70
Navios Porta-veículos (Ferries)	30000	210,00	32,20	11,70
Cargueiros (Liners)	30000	188,00	27,70	11,30
Porta Containers (Panamax)	35000	222,00	32,20	11,10
Navios Porta-veículos (Ferries)	25000	205,00	32,20	10,90
Navios de Produtos Químicos e	30000	188,00	28,00	10,80
Porta Containers (Panamax)	30000	210,00	30,00	10,70
Cargueiros (Liners)	25000	178,00	26,40	10,70
Porta Containers (Panamax)	25000	195,00	28,50	10,10
Cargueiros (Liners)	20000	166,00	24,80	10,00
Navios Porta-veículos (Ferries)	20000	198,00	32,20	10,00
Navios de Produtos Químicos e	20000	174,00	24,50	9,80
Porta Containers (Panamax)	20000	174,00	26,20	9,20
Cargueiros (Liners)	15000	152,00	22,60	9,20
Navios Porta-veículos (Ferries)	15000	190,00	32,20	9,00
Porta Containers (Panamax)	15000	152,00	23,70	8,50
Cargueiros (Liners)	10000	133,00	19,80	8,00
Navios de Produtos Químicos e	10000	145,00	19,00	7,80
Porta Containers (Panamax)	10000	130,00	21,20	7,30
Navios de Produtos Químicos e	5000	110,00	15,00	7,00
Navios de Produtos Químicos e	3000	90,00	13,00	6,00

Fonte: ALFREDINI E ARASAKI, 2009