

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO NAKAMURA DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS PORTUÁRIAS COM ESTUDO DE CASO
NO PORTO DE PARANAGUÁ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói

2021

GUSTAVO NAKAMURA DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS PORTUÁRIAS COM ESTUDO DE CASO
NO PORTO DE PARANAGUÁ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Projeto de Conclusão de Curso
apresentado ao departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal Fluminense, como requisito
parcial para conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Levi Salvi

Niterói

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S586d Silva, Gustavo Nakamura da
DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS PORTUÁRIAS COM ESTUDO DE CASO NO
PORTO DE PARANAGUÁ / Gustavo Nakamura da Silva ; Levi Salvi,
orientador. Niterói, 2021.
106 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2021.

1. Defesa portuária. 2. Navio. 3. Cais. 4. Água. 5.
Produção intelectual. I. Salvi, Levi, orientador. II.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III.
Título.

CDD -

GUSTAVO NAKAMURA DA SILVA

**Dimensionamento de defensas portuárias com estudo de caso no porto de
Paranaguá**

Trabalho de conclusão de curso
apresentando ao curso de Engenharia
Civil, como requisito parcial para
conclusão do curso.

Aprovado em: 10 / setembro / 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Levi Salvi (Orientador) - UFF

Prof. Renata Faísca - UFF

Prof. Sérgio França – UFF

Niterói

2021

RESUMO

É uma pesquisa sobre defensas portuárias e sobre como dimensioná-las, porém, não há recomendação no texto para seu uso ou não uso, mas há uma pequena abordagem ao tópico.

O texto se baseia que a defesa está dentro de um sistema de quatro (4) pontos: o cais, a defesa, o navio e a água. Estes quatro tópicos são desenvolvidos de uma maneira teórica e prática, ou seja, há exposição de conceitos teóricos, aplicação de cálculos físicos, e mostra de equipamentos, obras e locais reais. Além disso, se têm considerações, as quais podem fugir do tema dos pilares apresentados.

Já para os capítulos de metodologia e dimensionamento, se utilizou a filosofia e metodologia empregue pela PIANC, antes conhecida como Permanent International Association of Navigation Congresses. Na metodologia, a fórmula para a distância entre as defensas foi expandida para casos gerais e se teve a apresentação do método de cálculo e seus coeficientes. Por fim, há o dimensionamento de defensas para três navios no Porto de Paranaguá, seguindo as recomendações consideradas, sem aplicação de nada fora disso.

Palavras-chave: Defesa portuária, água, cais e navio.

ABSTRACT

It is research on port fenders and how to design them, however there are no recommendation in the text for its use or not use, but there is a small approach to the topic.

The text is based that the defense is inside a system of four (4) points: the quay, the fender, the ship and the water. These four topics are developed in a theoretical and practical manner, in other words, there are an exposition of theoretical concepts, physics calculations are made and equipments, constructitons and real places are shown. Furthermore, there are considerations, which can run away from theme of the four pillars that were presented.

For the methodology and design chapters, it was used PIANC's (Permanent International Association of Navigation Congresses) philosophy and methodology. In methodology, the formula for the distance of the fender was expanded for general cases and there was the presentation of the method and its coefficients. Lastly, the fenders were designed for three ships in Paranaguá Port, following the recommendations considered, without application of anything besides that.

Keywords: Marine fenders, water, quay and ship.

Lista de ilustrações

Figura 1. Os quatro pontos principais de um sistema de defesa portuária.....	15
Figura 2. Principais partes de um porto.	21
Figura 3. Rampa portátil metálica.	22
Figura 4. Rampa de concreto sendo construída.	22
Figura 5. Barcos atracados na Marina da Glória.	23
Figura 6. Barcos em Newport.....	23
Figura 7. Cais do Port of Antwerp.	24
Figura 8. Porto de Xangai.	24
Figura 9. Sistema navio e mola.	25
Figura 10. Regiões da defesa.	25
Figura 11. Região de fixação de uma defesa portuária.	26
Figura 12. Ligação do parafusa com o cais.....	27
Figura 13. Esforços aproximados em um parafuso (ilustrativo).....	27
Figura 14. Alguns equipamentos para a instalação de um parafuso.	29
Figura 15. Esforços no parafuso devido ao giro.	30
Figura 16. Esforços no parafuso e na cola devido ao giro.	30
Figura 17. Encontro da região 3 com a 2.....	30
Figura 18. Marcação dos furos para a defesa.....	31
Figura 19. Furo para instalação da defesa.....	31
Figura 20. Ar pressurizado para limpar o buraco.....	32
Figura 21. Injeção de uma massa aderente.....	32
Figura 22. Inserção do parafuso no cais.....	32
Figura 23. Aferição horizontal da distância.	33
Figura 24. Aferição vertical da distância.	33
Figura 25. Instalação da defesa.....	33
Figura 26. Figura Ilustrativa da região 2.	34
Figura 27. Aproximação do navio.	38
Figura 28. Defesa em barco pessoal	40

Figura 29. Defesa própria em um yacht.	40
Figura 30. Defesa feita com corda.	41
Figura 31. Defesa para barcos pequenos.	41
Figura 32. Defesa de madeira.	41
Figura 33. Fenda em forma de arco.	42
Figura 34. SFT Element Fenders.	42
Figura 35. Defesa cilíndrica com painel.	42
Figura 36. Defesa una ao cais.	43
Figura 37. Pneu de avião.	43
Figura 38. Defesa cilíndrica vazada de borracha.	43
Figura 39. Defesa Yokohama.	44
Figura 40. Defesa cone com pneu.	44
Figura 41. Defesa com dois pneus.	44
Figura 42. Defesa giratória.	45
Figura 43. Defesa solicitada por tursor.	45
Figura 44. Painel da defesa com abas.	45
Figura 45. Defesa parando um navio vindo de frente.	46
Figura 46. Defesa junto com sistemas de automação.	46
Figura 47. Navio na água.	47
Figura 48. Quilha do navio.	48
Figura 49. Esboço da estrutura de uma embarcação.	49
Figura 50. Classificação da embarcação.	50
Figura 51. Barco de Casco duplo.	50
Figura 52. Cálculo de área e volume aproximado de um navio.	53
Figura 53. Possibilidade de um cais.	54
Figura 54. Geometrias de um navio.	56
Figura 55. Invasão do navio no cais.	56
Figura 56. Empuxo em um triângulo.	57
Figura 57. Empuxo em um retângulo.	57

Figura 58. Decomposição do movimento do navio.	59
Figura 59. Navio girando.	59
Figura 60. Navio rotacionando em torno de um ponto.	62
Figura 61. Centro de massa deslocado.	63
Figura 62. Embarcação encostada no cais.	64
Figura 63. Objeto e a defesa.	65
Figura 64. Giro da placa.	66
Figura 65. Eixos não concêntricos.	67
Figura 66. Defesa contínua.	67
Figura 67. Reboque pressionando a defesa ou o navio.	68
Figura 68. Força nos corpos.	69
Figura 69. Imagem ilustrativa do reboque encostando o navio.	71
Figura 70. Velocidade de aproximação de acordo com DWT.	73
Figura 71. Espaçamento das defensas.	77
Figura 72. Cálculo da distância das defensas.	78
Figura 73. Tamanho da defesa em relação a ferragem do navio.	81
Figura 74. Localização da cidade de Paranaguá.	82
Figura 75. Porto em relação aos estados próximos.	82
Figura 76. Cidade de Paranaguá.	82
Figura 77. Porto de Paranaguá.	83
Figura 78. Primeiro píer.	83
Figura 79. Segundo Píer.	84
Figura 80. Estrutura de armazenagem dos píeres.	85
Figura 81. Cais do porto de Paranaguá.	85
Figura 82. Defensas do pier mais a esquerda.	86
Figura 83. Defesa do segundo píer, "finger" à esquerda.	86
Figura 84. Defesa do segundo píer, "finger" á direita.	87
Figura 85. Defensas no cais.	87
Figura 86. Raio de 70 metros.	88

Figura 87. Raio de 94 metros.	88
Figura 88. Raio de 140 metros.	88
Figura 89. Raio de 40 metros.	88
Figura 90. Raio de 65 metros.	88
Figura 91. Raio de 95 metros.	88
Figura 92. Raio de 32 metros.	89
Figura 93. Regiões do Porto.....	90
Figura 94. Imagem ilustrativa das defensas.....	92
Figura 95. Defensas trabalhando juntas.....	95
Figura 96. Distância das defensas para granel sólido.....	97
Figura 97. Distância das defensas para navio tanque.....	97
Figura 98. Distância das defensas para navio contêiner.	98
Figura 99. Casco e sua estrutura.	99
Figura 100. Esquema de forças aplicadas no casco.	100

Lista de tabelas

Tabela 1. Força média aplicada.....	36
Tabela 2. Distância de parada dado o tempo.....	37
Tabela 3. Tempo de para de acordo com uma distância de parada.....	37
Tabela 4. Velocidade angular.....	60
Tabela 5. Energia cinética rotacional.....	60
Tabela 6. Energia cinética linear e rotacional para a mesma velocidade.....	61
Tabela 7. Velocidade angular para um fixado em um extremo.....	62
Tabela 8. Energia cinética rotacional de um navio fixado em uma ponta.....	62
Tabela 9. Relação entre energia linear e rotacional de um corpo girando em torno de seu extremo.....	63
Tabela 10. Distância das defensas com ajuste de C.....	79
Tabela 11. Média e mediana dos raios.....	89
Tabela 12. Distância das defensas em relação ao R e H com 50% de deformação.	89
Tabela 13. Cálculo da energia de dimensionamento.....	91
Tabela 14. Distância para a defesa em cone e cilíndrica com um raio de 25 metros.....	97
Tabela 15. Área de quadrados.....	99
Tabela 16. Velocidade e massa máxima.....	101

Lista de quadros

Quadro 1. Termos náuticos	20
Quadro 2. Termos náuticos extras.....	20
Quadro 3. Relação entre GRT e DWT dos tipos de navio.....	72
Quadro 4. DWT e Deslocamento máximo a 95% de “confidence”	72
Quadro 5. Velocidade de acordo com as condições e o deslocamento.....	73
Quadro 6. Energia Cinética aproximada para deslocamentos diversos.....	74
Quadro 7. Coeficiente de impacto para a energia de dimensionamento.....	75
Quadro 8. Pressão permitida no casco do navio.....	80
Quadro 9. Dados da defesa em cone com painel.....	92
Quadro 10. Dados da defesa cilíndrica com painel.....	93
Quadro 11. Dados da defesa em arco.....	93
Quadro 12. Dados da element / leg fender.....	94
Quadro 13. Reação máxima das defensas escolhidas.....	98
Quadro 14. Área do painel.....	99

Sumário

1.	Introdução.....	15
1.1.	Conceitos gerais.....	15
1.2.	Descrição simplificada da realidade	16
1.3.	Descrição da situação atípica.....	17
1.4.	Motivação.....	18
1.5.	Objetivo	18
1.6.	Considerações iniciais	18
2.	Revisão Bibliográfica.....	20
2.1.	Rampa, píer e cais	21
2.1.1.	Rampa.....	22
2.1.2.	Píer	22
2.1.3.	Cais	23
2.2.	Defensas portuárias	24
2.2.1.	Região 1	26
2.2.2.	Região 2	33
2.2.3.	Região 3.....	37
2.2.4.	Defensas portuárias reais	40
2.3.	Embarcações	46
2.4.	Água.....	51
2.5.	Considerações finais	54
2.5.1.	Cais e o ambiente	54
2.5.2.	Navios, geometria e física.....	56
2.5.3.	Atracagem do navio.....	58
2.5.4.	Ponto de contato e os corpos envolvidos.....	65
2.5.5.	Tempo, materiais e segurança.....	68
2.5.6.	Algo proibido	68
3.	Metodologia.....	71

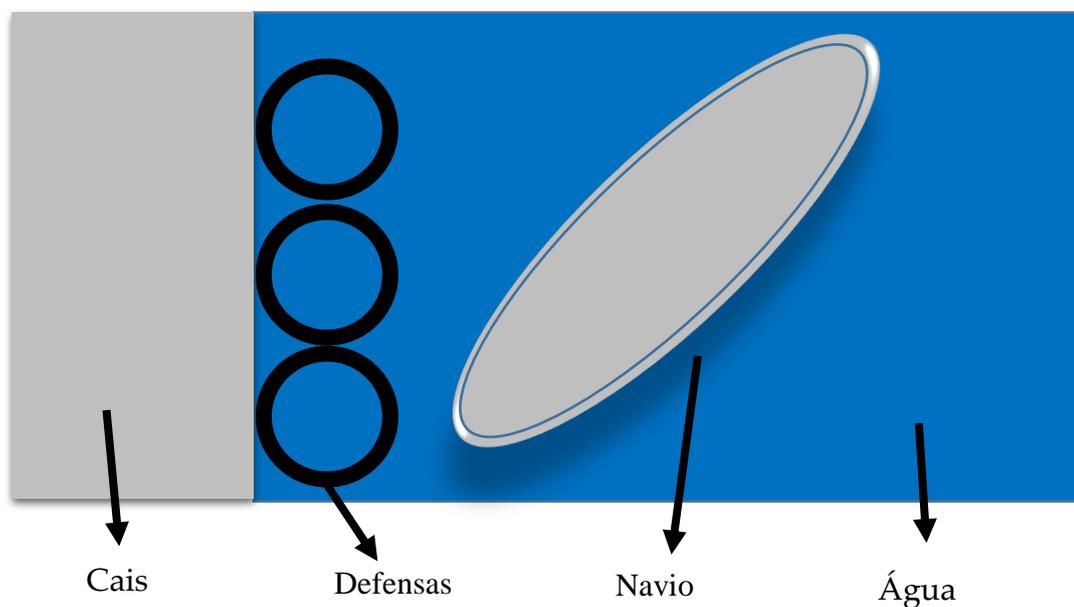
3.1.	Energia do Navio	72
3.2.	Energia na Defesa	75
3.3.	Distância entre as defensas	77
3.4.	Pressão no casco	80
3.5.	Precisão do dimensionamento	81
4.	Estudo de caso – Porto de Paranaguá.....	82
4.1.	Análise do cais	83
4.2.	Análise das defensas.....	86
4.3.	Dimensionamento da energia	90
4.4.	Dimensionamento da defesa.....	92
4.5.	Distância das defensas.....	96
4.5.1.	Distância para os navios de granel sólido	97
4.5.2.	Distância para os navios tanque	97
4.5.3.	Distância para os navios contêiner	98
4.6.	Dimensionamento do painel da defesa	98
4.7.	Cálculo da velocidade e massa máxima	101
5.	Conclusão.....	102
6.	Referências bibliográfica.....	104

1. Introdução

1.1. Conceitos gerais

A defesa portuária é um item adicional de segurança e tem como sua função amortecer o impacto do navio no cais, diminuindo as chances de danos imediatos e a longo prazo. A Figura 1 mostra de uma maneira simplificada do que se trata uma defesa portuária.

Figura 1. Os quatro pontos principais de um sistema de defesa portuária.



FONTE: Autor

Com ajuda da figura acima, pode-se observar o seguinte sistema:

- I. O cais que faz a transição da terra ao mar;
- II. As defensas que permitem que o navio atraque e se conecte ao cais sem causar estragos;
- III. O navio que traz/leva consigo o que há em seu interior;
- IV. A água, o caminho que torna possível a navegação.

Lembrando que ainda há pontos secundários do sistema como o ar e a terra, a terra afetando principalmente a estrutura de berço, se esta estiver estabilizada no mesmo.

1.2. Descrição simplificada da realidade

Para a descrição da situação foram analisados como o ar, terra, fogo, água, navio, cais, defensas e materiais aleatórios manifestam a sua importância para a situação em questão.

O ar afeta o sistema quando em forma de vento ele colide com a água e o navio e os fazem se movimentar. Nele também há água, seja na forma de humidade ou como chuva que pode fazê-lo ficar mais denso ou “pesado. No ar há os pássaros que podem indicar presença de terra e as nuvens que podem ser um indicativo o tempo que está por vir. Esse ainda carrega sinais sonoros que podem ter significados.

A terra é utilizada para dar apoio ao cais se este não for flutuante, sua mudança de nível (altura) afeta a água, criando ondas e nela também há sistemas que sustentam vidas.

O sol, calor, fogo, afeta a temperatura e, logo, a dimensão de materiais, caso o material seja orgânico, com o tempo, ele secará e haverá um risco mais elevado de acidentes.

A água é o meio pelo qual o navio navega e está em contato com o cais, as defensas e o próprio navio, sua movimentação em formas de ondas afeta todo o sistema causando movimento, deformações. Nela há um ecossistema que pode ser afetado, sua temperatura pode ser importante.

O navio possui uma altura para fora da água e uma para dentro (calado) que varia de acordo com a sua carga e sua velocidade, seu movimento é baseado na interferência com água e o ar e gera turbulência ao passar. Alguns materiais utilizados para a construção do navio são: madeira, metais (alumínio, ferro, ligas, etc...), fibras

de carbono ou de vidro, PVC, basicamente qualquer sólido pode ser utilizado, se estiver em um local adequado as suas características.

O cais, feito para ajudar na carga e descarga do navio, seu formato e posição podem interferir no caminho que o barco faz, ele serve como um apoio para as defensas.

As defensas absorvem o impacto do navio e a transferem para o cais, quanto maior o tempo de duração do impacto, menor será a maior força aplicada. Estas normalmente são ancoradas no cais, mas nada impede que sejam fixadas na terra em uma estrutura separada. Sua existência cria uma distância entre a embarcação e a estrutura de berço.

Outro fator importante é a movimentação de materiais não esperados para dentro do sistema, seja poeira, madeira, terra, gelo ou qualquer outro material. Esses materiais podem atrapalhar o funcionamento da defesa e se acumular no leito marinho causando mudanças que podem vir atrapalhar e a criar situações não desejáveis.

Além disso, há a presença da vida, sendo ela humana ou não, esta possui a capacidade de mudar o meio de maneira não natural e a própria gravidade que força tudo a cair.

1.3. Descrição da situação atípica

A situação não esperada se dá devido ao choque do navio com o cais, agravado em dias de mar agitado, o calado do navio e o nível do mar afetam a região do navio que sofre a colisão.

As seguintes possibilidades são cogitadas, mudança na geometria do navio ou na geometria do cais ou a inserção de um novo componente entre o barco e o cais. Alterações na geometria do navio trariam problemas em outras áreas, logo, não é uma opção imediata. A mudança no cais é mais possível, pode-se deixar sua geometria sem pontas para que o impacto ocorra em uma área maior, porém teria que se ter uma

compatibilidade com o formato do navio o que nem sempre é possível, é uma solução não muito prática e os resultados podem não serem significativos; outra opção é tornar a estrutura do cais sólida, removendo o espaço para água passar por baixo dele o que faria com que a própria água ajudasse a diminuir a velocidade do navio mas poderia afetar a estabilidade do mesmo. A inserção de um componente entre o barco e o cais não exigiria mudanças de grande porte, sua aplicação seria possível em todo e qualquer navio e cais existente, de maneira geral parece ser uma solução melhor.

1.4. Motivação

Entender a atracagem de um navio, um processo de grande importância no mundo, além de ser capaz de atuar no processo.

1.5. Objetivo

Desenvolver e aprofundar os conceitos apresentados no tópico 1.1. Conceitos gerais, para ser capaz de entender a situação e se ter um discernimento maior sobre o assunto, sendo capaz de dimensionar e projetar uma defesa portuária.

1.6. Considerações iniciais

Este subcapítulo pode ter opiniões do autor.

Em relação a defesa, seu uso é lógico e os materiais são de baixo custo, é um adicional de segurança para o casco e para o porto, sua utilização só adiciona uma incerteza geométrica no cais e em sua instalação e manutenção há risco de acidente mais elevado pois está entre a terra e a água em um ambiente com movimentação nas duas partes. Entretanto, em circunstâncias em que não há desvios grandes do ideal, talvez, o seu uso não seja necessário e sua inexistência pode causar o aumento de atenção de todas as partes. De uma maneira geral o autor acredita que o barco deva possuir um casco e estrutura interna forte o suficiente para suportar os esforços gerados pelo atracamento sem defesa (pelo menos em situações ideais) e a incidentes

costeiros em alto mar não graves, porém o barco realmente resistir, isso pode não ser uma verdade. No final, poderia se questionar em qual lugar seria melhor o navio falhar, porém tal discussão não será abordada.

Em relação ao navio, a defesa tem a capacidade de evitar arranhões e possíveis esforços perfurantes no casco que poderiam contribuir com a corrosão e diminuir a vida útil do navio. Esta vida é definida pelo seu uso pois este está exposto a incertezas naturais e humanas as quais o fabricante e engenheiro do navio devem pensar em seu projeto, construção e utilização. Todavia, devido a instituições reguladoras o tempo de vida de um navio pode ser encerrado por outras questões não relacionadas ao tópico.

Já em relação ao cais, este pode ser reparado do mesmo modo que foi construído, porém evitar possíveis danos é sempre a melhor opção.

Enfim, tem-se duas opções primárias, com defesa ou sem defesa. Sem defesa teria que se fazer reparos nos navios danificados, isso poderia trazer um certo lucro e impor uma habilidade de navegação mais cuidadosa. Outra opção, a mais natural, é a escolha de defensas que após instaladas não trariam necessidade de esforço humano nessa região do porto.

2. Revisão Bibliográfica

Antes de tudo, algumas definições podem ser vistas no Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 1. Termos náuticos

TERMO	SIGNIFICADO
Acostagem	Operação de aproximação da embarcação junto à estrutura de apoio náutico que antecede a atracação.
Atracação	Operação na qual se faz a amarração da embarcação junto à estrutura de apoio náutico.
Atracadouro	Estrutura de apoio náutico utilizada para amarrar embarcações.
Cais	Estrutura paralela à margem de um corpo d'água, destinada à atracação de embarcações e ao embarque e desembarque de cargas ou passageiros, cujo comprimento é superior a sua largura.
Defensa	Equipamento destinado a proteger o atracadouro de eventuais danos causados pelo abalroamento de embarcações, absorvendo, neste caso, a energia do choque.
Espelho d'água	Superfície contínua de um corpo hídrico, exposta à atmosfera e visível de uma determinada altitude.
Estrutura de apoio náutico	Estrutura de apoio à atracação de embarcações e ao embarque e desembarque de pessoas e cargas em embarcações.
Finger	Ramificação de píer, podendo ser flutuante ou sobre pilotis, destinada à atracação e acesso a embarcações.
Instalações náuticas	Marinas, clubes náuticos e garagens náuticas de uso coletivo.
Píer	Estrutura projetada sobre o corpo d'água, geralmente perpendicular à margem, sobre pilotis ou flutuante, com ou sem fingers, destinada à acostagem e atracação de embarcações.
Pilotis	Colunas que sustentam uma estrutura de apoio náutico, permitindo a circulação das águas.
Rampa	Estrutura de apoio que consiste em um plano inclinado utilizado para o acesso de embarcações a um corpo d'água.
Saia de píer	Estrutura fixada na lateral do píer com a finalidade de acabamento estético ou para impedir que embarcações de altura inferior ao píer adentrem sob o mesmo.
Trapiche	Estrutura precária, que consiste em superfície horizontal projetada sobre a água, em estrutura leve plana, sobre flutuantes ou pilotis, destinada à acostagem e atracação de embarcações.
Uso coletivo privado	Uso compartilhado estabelecido por meio de contrato firmado por, pelo menos, cinco usuários (pessoas físicas ou jurídicas).

Fonte: (Janeiro, 2013)

Quadro 2. Termos náuticos extras.

TERMO	SIGNIFICADO
DIQUE FLUTUANTE	Dique em aço em forma de U munido de tanques estanques que são esvaziados para elevar uma embarcação. Possui ainda guindastes que correm nas laterais para o manuseio de cargas.
DIQUE SECO	Dique em concreto com uma comporta de aço onde o navio é construído no plano horizontal e posto a flutuar, depois de pronto, por alagamento do dique.

Fonte: (Naval, 2020)

2.1. Rampa, píer e cais

Como visto no Quadro 1 as definições de cais, rampa e píer podem ser observadas na Figura 2 e estão descritas abaixo:

“

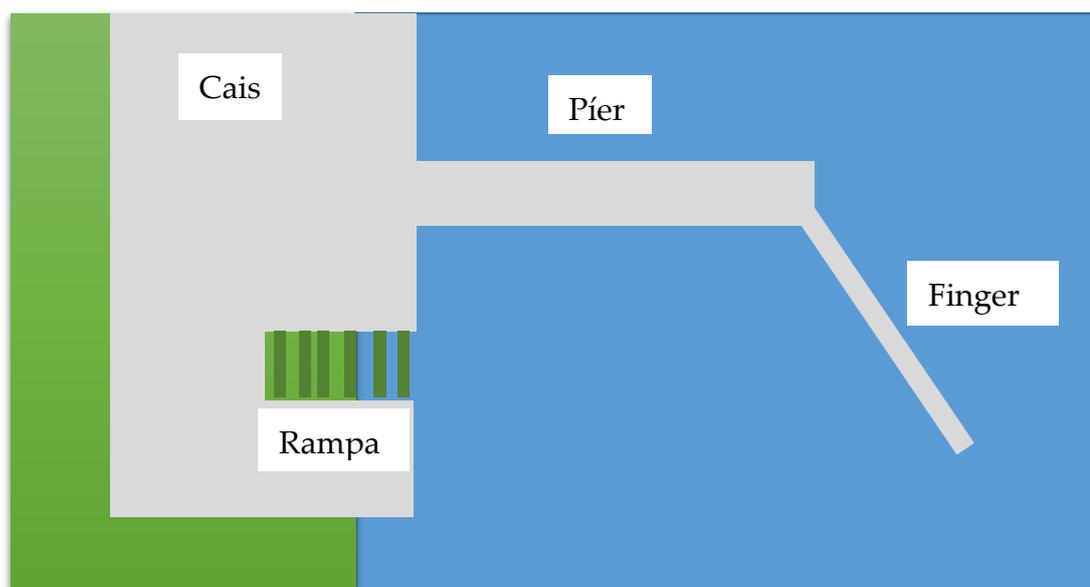
Cais: Estrutura paralela à margem de um corpo d'água, destinada à atracação de embarcações e ao embarque e desembarque de cargas ou passageiros, cujo comprimento é superior à sua largura.

Píer: Estrutura projetada sobre o corpo d'água, geralmente perpendicular à margem, sobre pilotis ou flutuante, com ou sem fingers, destinada à acostagem e atracação de embarcações.

Rampa: Estrutura de apoio que consiste em um plano inclinado utilizado para o acesso de embarcações a um corpo d'água.

“ (Janeiro, 2013)

Figura 2. Principais partes de um porto.



FONTE: Autor

2.1.1. Rampa

A rampa tem a sua função de facilitar o acesso e a retirada de barcos de um lago, rio ou mar, nem sempre sendo necessária. A Figura 3 e a Figura 4 demonstram alguns tipos de rampas.

Figura 3. Rampa portátil metálica.



FONTE: (Ramp, 2019)

Figura 4. Rampa de concreto sendo construída.



FONTE: (Construction, 2019)

2.1.2. Píer

O píer é uma estrutura que se projeta para dentro do corpo d'água para facilitar a carga e descarga de navios, sua necessidade ocorre quando a estrutura costeira, sendo terra ou cais, não tem profundidade de água o suficiente ou há uma falta espaço físico. Para a definição ótima da posição de um píer é importante saber a topografia terrestre e marítima da região, pois depois de construído o caminho que as

embarcações irão tomar ficarão restritos. Alguns píeres podem ser observados na Figura 5 e na Figura 6.

Figura 5. Barcos atracados na Marina da Glória.



FONTE: (Earth, Marina da Glória, 2019)

Figura 6. Barcos em Newport.



FONTE: (Earth, Newport, 2019)

2.1.3. Cais

O cais, diferentemente do píer, não adentra no corpo d'água, ele fica mais próximo das instalações portuárias e por isso é mais utilizado quando há mais movimentação de carga. Se tratando de instalações portuárias é importante ressaltar a norma regulamentadora 29 que atua sobre a segurança e saúde no porto, essa norma e as demais podem ser achadas nesta referência (Brasil, 2019).

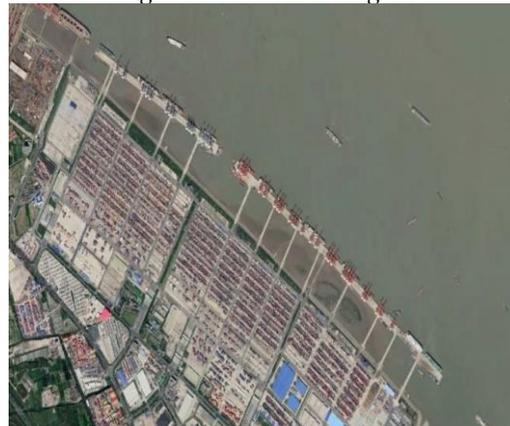
A Figura 7 e Figura 8 demonstram como um cais é, o Porto de Xangai tem terminais diferentes pois o cais demonstrado é projetado adentro da água, o autor considera a estrutura como um cais vazado, a razão de seu buraco pode ter sido econômica, segurança ou ter outra motivação. Economicamente, os fatores mais prováveis são: dragagem, construção ou a economia em materiais (menos provável), já no ponto de vista de segurança, pode se pensar que um buraco ajuda a visualização da infraestrutura do cais.

Figura 7. Cais do Port of Antwerp.



FONTE: (Antwerp, 2019)

Figura 8. Porto de Xangai.



FONTE: (Earth, Porto de Xangai, 2019)

2.2. Defensas portuárias

Pela definição dada no Quadro 1, uma defesa é:

“

Defensa: Equipamento destinado a proteger o atracadouro de eventuais danos causados pelo abalroamento de embarcações, absorvendo, neste caso, a energia do choque.

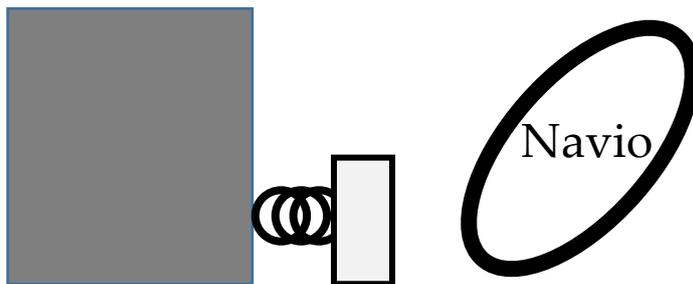
“ (Janeiro, 2013)

Em outros termos, o navio que em um momento se move a uma certa velocidade irá chegar ao cais com a potencialidade de causar avarias, tanto em si mesmo, no navio, e como no cais; em situações mais extremas os danos podem ser incalculáveis. A defesa tem o potencial de absorver a velocidade do navio e transforma-la em energia e passa-la para o cais de uma forma mais devagar do que um impacto direto entre o navio e a mesma, ou seja, como a energia é transferida de maneira mais devagar o potencial de dano é menor. A quantidade de energia absorvida pela defesa terá certa proporção com a força aplicada por ela no navio e no cais.

Em princípio, qualquer forma, matéria e técnica construtiva podem ser utilizados para se construir uma defesa, porém a utilização de borracha como material é muito comum.

Em termos cotidianos pode se entender o funcionamento de uma defesa como o de uma mola, um campo que é muito extenso pois toda a matéria pode agir como uma. Um tipo de mola utilizado é a mola pneumática, que depende do ar. A Figura 9 mostra de maneira simplificada um navio se aproximando de uma defesa.

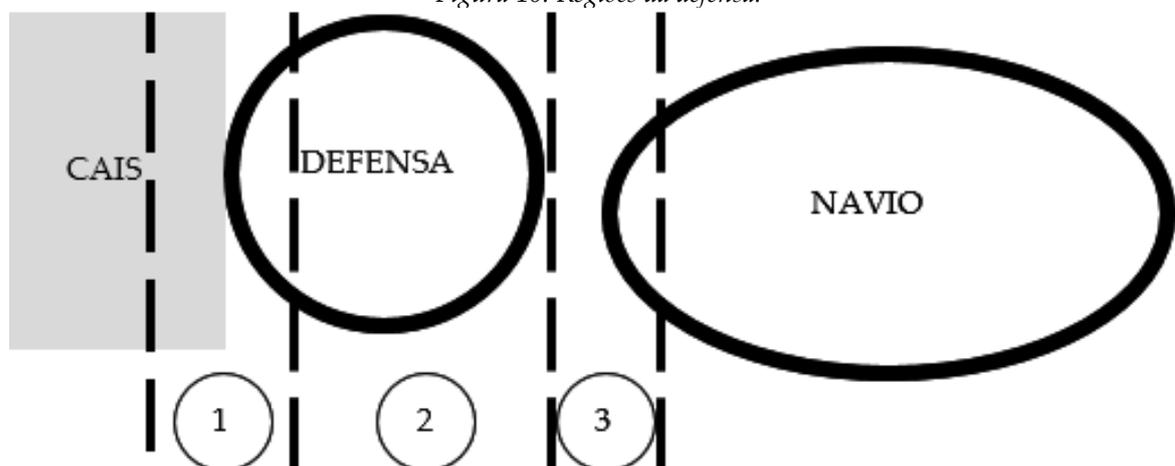
Figura 9. Sistema navio e mola.



FONTE: Autor

Para fins de explicação e didáticos, a defesa será considerada como vista na introdução, Figura 1, como um círculo e a partir desta simplificação o autor destaca três (3) regiões, estas podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10. Regiões da defesa.



FONTE: Autor

Conforme a figura demonstrativa acima, pode-se definir:

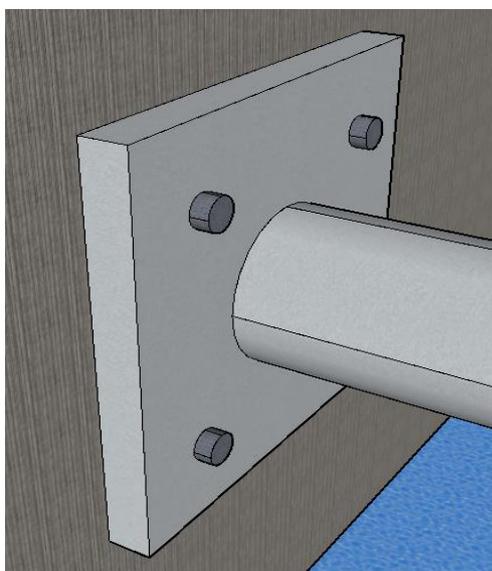
- a. A região 1: Aquela que transmite os esforços para o cais e fixa a defesa no mesmo.
- b. A região 2: Ela transfere os esforços da região 3 para a 1, nela não há um impacto direto, é também responsável pela ancoragem da região 3. Pode se usar a flexão, a torsão, a compressão e até mesmo a tração como mecanismos de resistência.
- c. A região 3: Lugar onde ocorre o impacto direto com o navio, é um local com alto risco de dano.

Para se entender melhor os esforços ocorridos na defesa, há uma necessidade de uma análise mais refinada em suas regiões.

2.2.1. Região 1

Pode-se ver na Figura 11 uma imagem ilustrativa de como uma defesa pode ser fixada em um cais (com parafusos).

Figura 11. Região de fixação de uma defesa portuária.

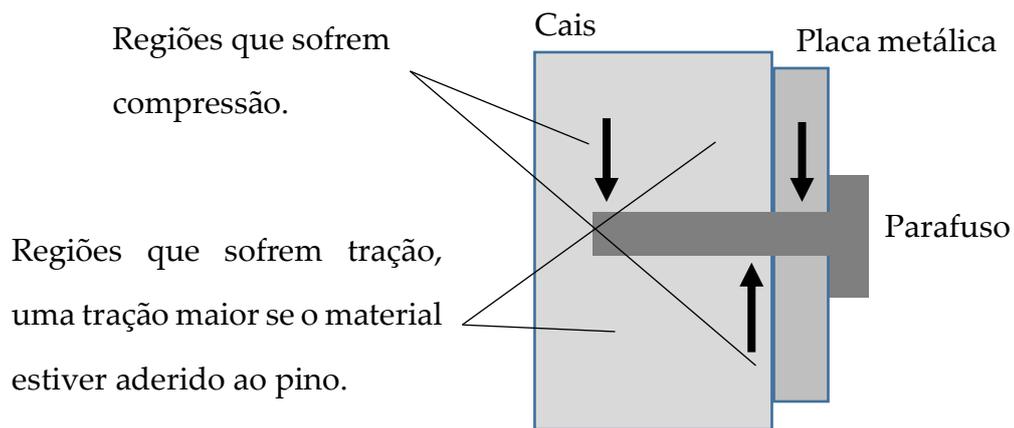


FONTE: Autor

Mas além da utilização de parafusos para ligações mecânicas, algum tipo de cola poderia ser utilizado para uma fixação química, e em alguns casos, não em defensas portuárias, a fixação pode ser obtida através do magnetismo. Será visto o uso de parafusos abaixo.

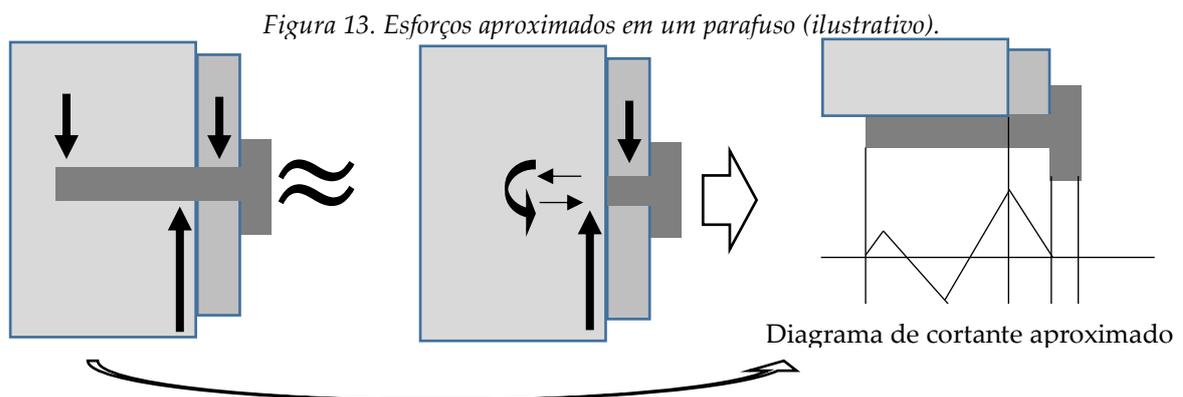
Os esforços que o parafuso causa no cais podem ser imaginados no esquema mostrado na Figura 12.

Figura 12. Ligação do parafusa com o cais.



FONTE: Autor

Considerando a reação do concreto como uma força distribuída é possível ilustrar o comportamento simplificado do parafuso, visto Figura 13. É normal ignorar o comportamento da parte inserida do parafuso e considera-lo engastado com um esforço interno representado por um binário que equivale a um momento (figura central).



FONTE: Autor

Já para se prender um parafuso na parede é recomendado:

- I. Testar tudo antes com os mesmos materiais e equipamentos ou equivalentes;
- II. Uma furadeira, essa podendo ser com bateria ou com fio para tomada, ou equipamentos capazes de realizar um furo;
- III. Uma bateria ou um No Break (UPS = “Uninterrupted Power Supply”, fonte de energia contínua) para fornecer energia a furadeira ou a qualquer outro equipamento caso haja problemas de energia;
- IV. Uma broca, que junto a furadeira terá a utilidade de furar a parede, é recomendável que ela seja compatível com o material que será furado;
- V. A bucha, se for necessária, que entrará na parede antes do parafuso;
- VI. O parafuso ou o parabolt que suportará a carga;
- VII. Um martelo para ajudar a inserir a bucha e o parafuso;
- VIII. Uma chave para girar o parafuso ou a porca escolhida, se for necessário;
- IX. Equipamentos de segurança, a NR 6 ajuda a identificar os equipamentos necessários, caso a utilização seja necessária;
- X. Ter conhecimento se o buraco que o parafuso fizer poderá causar outros transtornos;
- XI. Utilização de porcas, aduelas e ar pressurizado (limpeza do buraco) caso necessário;
- XII. Utilização de material adesivo no buraco do parafuso para completar espaço, evitar movimentos e limitar os movimentos, se for preciso;
- XIII. Fitas métricas para fazer medições, como o tamanho do buraco a ser furado e a distância entre eles;
- XIV. Fita adesiva, giz ou algum material para fazer marcações em superfícies e em caso de fita adesiva o uso de uma tesoura para corta-la seja necessário.

Figura 14. Alguns equipamentos para a instalação de um parafuso.



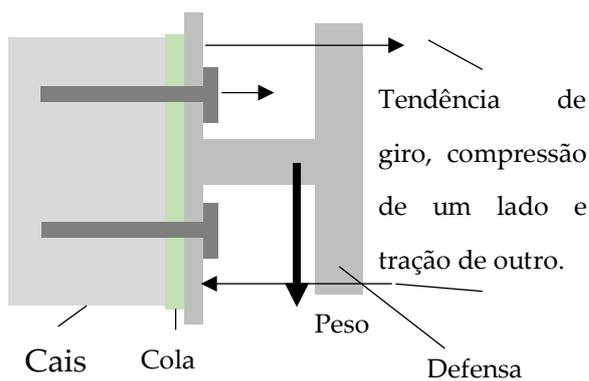
FONTE: Imagens retiradas de (Merlin, 2019).

Outro método de fixação utilizado é a cola que promove uma ligação entre duas superfícies, sua vantagem é que não há alteração da superfície na qual ela é aplicada. Alguns fatores que definem a utilidade de uma cola são os seguintes:

- I. A força na qual a cola se agarra ao outro material;
- II. A força na qual a cola se mantém junta, sem se separar, a força com que a cola se “cola”;
- III. Resistência dela a intemperes e fatores externos;
- IV. O tempo necessário para que as forças se tornem fracas devido a intemperes e fatores externos.
- V. O tempo que leva para a cola deixar de ser um material aplicável e virar um material aderente.

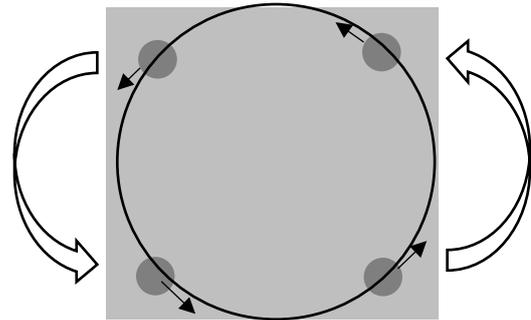
Um exemplo dos esforços que podem surgir na região em questão é mostrado na Figura 15 e na Figura 16, a primeira figura mostra a tendência de giro devido ao peso, que gera uma região de tração e outra de compressão, já a segunda figura tem o esboço do que o momento torsor causa no parafuso e na cola.

Figura 15. Esforços no parafuso devido ao giro.



Esquema ilustrativo, pode se imaginar que em caso de giro o parafuso superior seria arrancado da parede e a placa se deformaria perto do parafuso inferior, mas provavelmente ocorreria de maneira diferente.

Figura 16. Esforços no parafuso e na cola devido ao giro.

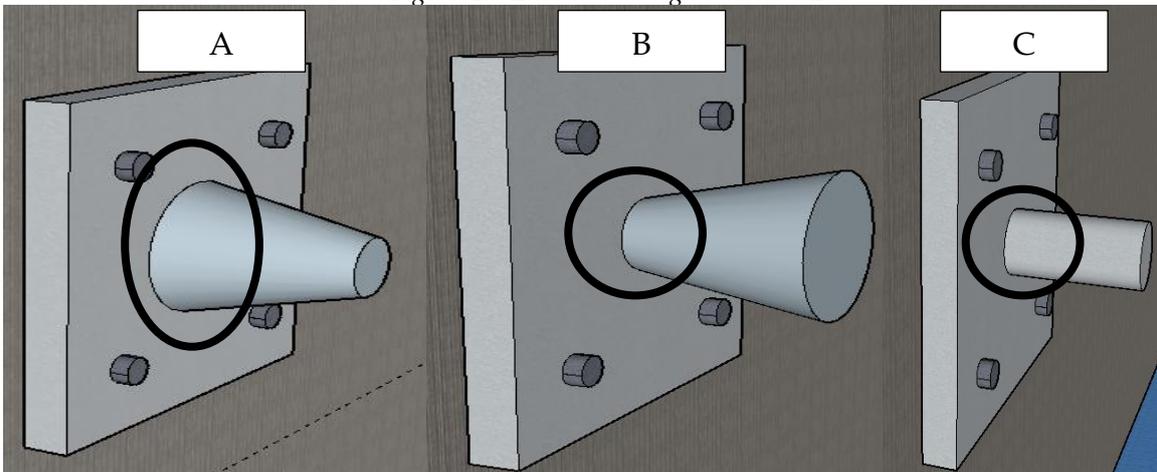


A cola e a chapa de aço recebem esforço torsor pois sua superfície é uma área contínua, já o parafuso só recebe o esforço cortante pois é pontual, o cortante gerará o esforço da flexão.

FONTE: Autor

A última parte da região 1 que, neste trabalho, será observado é a parte da mola ou da estrutura da região 2 que está em contato com a região de 1 e o seu ângulo de aproximação, a parte que referida é visível na Figura 17. A análise desta região não será realizada.

Figura 17. Encontro da região 3 com a 2.

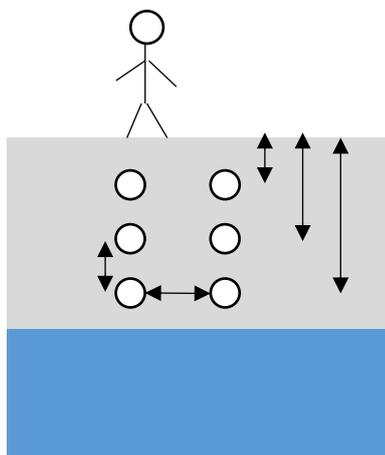


FONTE: Autor

O comportamento das regiões indicadas dependerá de como é a região 2, essa podendo ser sólida, oca, geometria de molas ou qualquer outro arranjo geométrico.

A Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24 e a Figura 25 mostram alguns procedimentos para a instalação de uma defesa portuária.

Figura 18. Marcação dos furos para a defesa.



Antes da instalação, deve-se marcar a posição dos furos e verificar sua distância em relação ao chão e entre si, além disso é necessário medir se os buracos estão alinhados. Isso pode ser feito com giz, lápis, fitas adesivas, dentre outros.

FONTE: Autor

Figura 19. Furo para instalação da defesa.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Para realizar o buraco das defensas, nesse caso, foi utilizado uma broca que é apoiada na parede, parece haver circulação de água, esta pode ser para diminuir a temperatura ou impedir a formação de poeira.

Figura 20. Ar pressurizado para limpar o buraco.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Com o ar pressurizado tira-se o pó que sobrou dentro do buraco, este pode atrapalhar a aderência do que for inserido posteriormente.

Figura 21. Injeção de uma massa aderente.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Foi injetado uma massa aderente, cola, para impedir movimentos do parafuso; a necessidade da cola e os lugares de sua aplicação é algo sempre pessoal mas seu uso sempre aumenta a segurança.

Figura 22. Inserção do parafuso no cais.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Insere-se o parafuso, este agora está com o engastamento mecânico devido a sua geometria oferecer resistência a flexão e um engastamento químico que torna a estrutura parafuso e cais um só.

Figura 23. Aferição horizontal da distância.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Figura 24. Aferição vertical da distância.



FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Após a instalação dos parafusos verifica se a sua posição está de acordo com o gabarito antes de continuar com o procedimento.

Figura 25. Instalação da defesa.



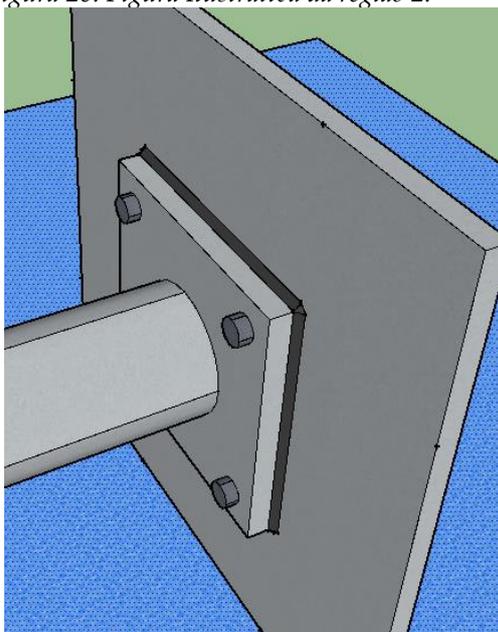
FONTE: (seaworksqatar, 2020)

Desce a defesa para a sua instalação e depois a mesma é presa no sistema cais parafuso com ajuda de porcas.

2.2.2. Região 2

A região 2, como foi definida anteriormente, é responsável pela transferência dos esforços e pela ancoragem da região 3, um esboço dessa região pode ser visto na Figura 26.

Figura 26. Figura Ilustrativa da região 2.



FONTE: Autor

Para se fixar pode-se usar parafusos e porcas, colas ou soldagem. Sobre a soldagem pode-se falar que ela fornece um engastamento mecânico em escala não visível, pois não há alteração química de nenhum objeto, há uma reorganização em nível molecular que liga os dois objetos. Para fins práticos, o que foi escrito sobre para parafusar objetos pode ser aplicado para soldagem com certas adaptações, porém testar os materiais que comporão a solda com o equipamento e as configurações a serem utilizadas é ainda mais essencial para garantir um resultado satisfatório.

Já para um entendimento físico e, às vezes, real as defesas portuárias podem ser consideradas um sistema de molas que se deforma com a energia do impacto do navio passando uma força de impacto de menor intensidade para o cais.

O navio tem um momento linear $p = mv$ e uma energia $E = mv^2/2$, já para a mola é considerado, simplificada, que ela não possua deformações iniciais, logo, sem energia armazenada. Após o contato do navio com as defesas, o navio para de se comportar como um corpo livre e seu movimento se torna restrito, fazendo um caminho diferente do original. Voltando aos aspectos da energia, sabe-se que a energia perdida pela alteração de velocidade do navio será absorvida em parte pela mola, logo:

$$\text{Energia cinética inicial} - \text{Energia cinética final} \geq \Delta \text{Energia da mola} \quad (1)$$

Pode-se adicionar um coeficiente na equação para reduzir o valor inicial, equivalendo as perdas, ficando:

$$p\Delta E_c = \Delta E_{mola} \quad (2)$$

Considerando somente a energia cinética que passa para a defesa e igualando as suas variações com o passar do tempo, se tem:

$$\frac{d}{dt}(E_c) = \frac{d}{dt}(E_{defensa}) \quad (3)$$

Substituindo as equações e considerando a defesa uma mola hookiana:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mv^2}{2}\right) = \frac{d}{dt}\left(\frac{kx^2}{2}\right) \quad (4)$$

Resolvendo a derivada:

$$m \times v \times v' = k \times x' \times x \quad (5)$$

Logo:

$$mva = kvx \rightarrow ma = kx \rightarrow F = ma = kx \quad (6)$$

Obtém-se que a força aplicada no navio pela mola, $F = kx$, é igual a força aplicada na mola pelo navio, $F = ma$.

Porém, é muito mais fácil só trabalhar com a variação de energia do navio pois definir a resistência e as características da mola demandariam mais tempo de estudo, além de poder considerar as perdas de energia como sendo parte de uma mola definida pela natureza.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mv^2}{2}\right) = mva = \frac{p \cdot F}{m} = F \cdot v = \text{Potência} \quad (7)$$

Obtém-se que a variação de energia do navio é igual a força aplicada por ele multiplicada pelo seu momento e dividido por sua massa, em um instante de tempo.

Isolando-se a força tem-se:

$$F = \frac{\frac{d}{dt}\left(\frac{mv^2}{2}\right) m}{p} \quad (8)$$

Considerando a força como uma derivação do momento linear e nota-se que as massas não variam com o tempo, tem-se:

$$\frac{d}{dt}(p) = \frac{d}{dt}\left(\frac{mv^2}{2}\right) \times \frac{1}{v} \rightarrow m \frac{d}{dt}(v) = \frac{m}{v} \frac{d}{dt}\left(\frac{v^2}{2}\right) \rightarrow 1 = 1 \quad (9)$$

Como exemplo do uso das fórmulas, o autor fará algumas estimativas ilustrativas, digamos que um navio de 10.000 kg se move a 1 m/s, logo ele terá 5.000 $\frac{kg.m^2}{s^2}$ de energia em Joules, se ele demorar 0,3 segundos para parar, a potência necessária para pará-lo será de $\frac{5000}{0,3} = 16.667 \text{ kg.m}^2/s^3$, em Watts, como o navio começou com uma velocidade de 1 m/s e terminou com uma velocidade de 0 m/s pode se dizer que ele teve uma velocidade média de 0,5 m/s, logo $potência = F.v \rightarrow F = \frac{Potência}{velocidade} = \frac{16667}{0,5} = 33.333 \text{ kg}.\frac{m}{s^2} = 33.333 \text{ N}$. Para verificar os cálculo temos que $F * tempo = p = mv$, então $p = 33.333 * 0,3 = 10000 \text{ kg}.\frac{m}{s}$ e $p = mv = 10000 * 1 = 10.000 \text{ kg}.\frac{m}{s}$, como os resultados batem o cálculo foi feito de maneira correta, entretanto a velocidade do navio não muda de maneira constante e a força máxima será maior que essa calculada, a resposta do material também dependeria da velocidade do navio, na Tabela 1 há alguns exemplos de cálculo.

Tabela 1. Força média aplicada.

kg	v(m/s)	Mom. L.	Energia	0,3s (N)	1s (N)	2s (N)
10000	0,5	5000	1250	16667	5000	2500
10000	1	10000	5000	33333	10000	5000
10000	1,5	15000	11250	50000	15000	7500
10000	2	20000	20000	66667	20000	10000
5000	4	20000	40000	66667	20000	10000

FONTE: Autor

Dado os valores, também, pode-se estimar a distância necessária para que o navio pare, como trabalho é igual a força vezes distância, tem-se:

$$\tau = F * d \rightarrow 5000 = 33,333 * d \quad (10)$$

$$d = \frac{5.000}{33.333} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm} \quad (11)$$

Alguns exemplos de cálculo podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2. Distância de parada dado o tempo.

Energia	0,3s (N)	1s (N)	2s (N)	Distância (0,3s) cm	Distância (1s) cm	Distância (2s) cm
1250	16667	5000	2500	7,5	25	50
5000	33333	10000	5000	15	50	100
11250	50000	15000	7500	22,5	75	150
20000	66667	20000	10000	30	100	200
40000	66667	20000	10000	60	200	400

FONTE: Autor

Percebe-se, com o auxílio das tabelas, que para valores médios a força de parada é proporcional a quantidade de movimento, já a distância de parada é proporcional à energia, isso quando o tempo de parada é fixado.

Fixando a distância em 0,15 metros ou 15 cm, e achando a força média pela equação de trabalho, $\tau = F * d$, e depois utilizando a força para achar o tempo de parada utilizando a equação na qual impulso é igual a quantidade de movimento, $F * t = mv$, tem-se os resultado obtidos pela Tabela 3.

Tabela 3. Tempo de para de acordo com uma distância de parada.

kg	v(m/s)	Mom L.	Energia	Dist. Parada	Força	Tempo de parada
10000	0,5	5000	1250	0,15	8333	0,6
10000	1	10000	5000	0,15	33333	0,3
10000	1,5	15000	11250	0,15	75000	0,2
10000	2	20000	20000	0,15	133333	0,15
5000	4	20000	40000	0,15	266667	0,075

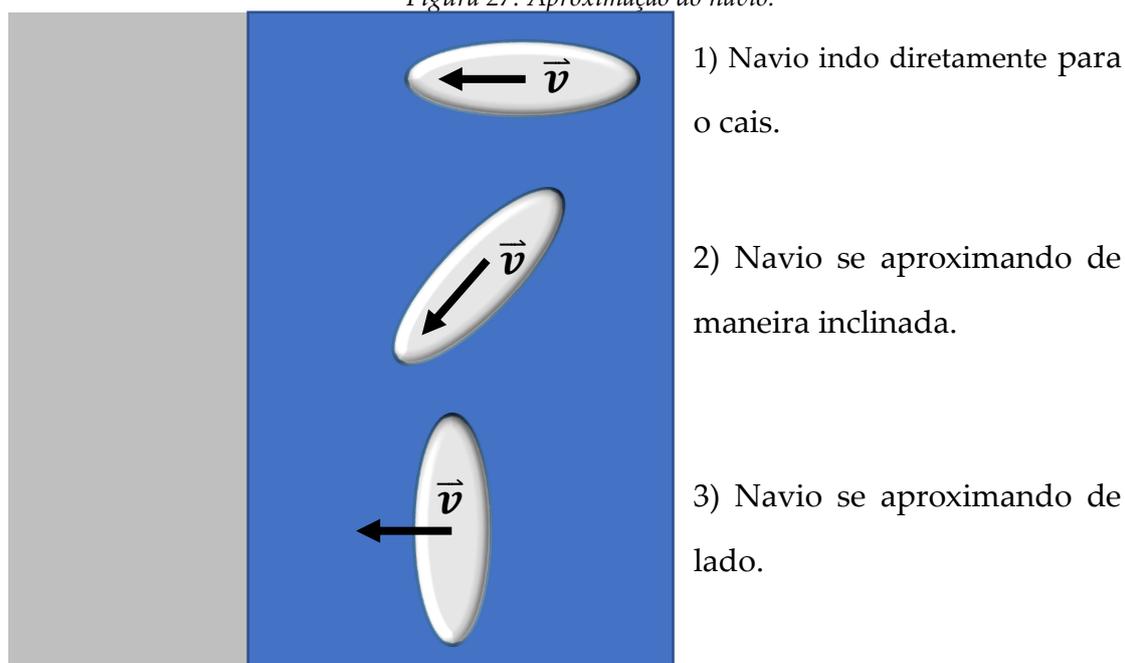
FONTE: Autor

Para se parar um objeto em uma distância fixada, quanto maior a energia cinética do objeto mais rápido ele irá parar e com uma força média maior sendo aplicada.

2.2.3. Região 3

A região 3 foi definida como a região de impacto, ela consiste no ponto de contato da defesa, o ponto de contato do navio e conseqüentemente como o navio se aproxima. A Figura 27 mostra como o navio pode se aproximar.

Figura 27. Aproximação do navio.



FONTE: Autor

Nenhum dos casos acima é uma situação de acidente se o navio for feito para a situação; as seguintes descrições não contam com a presença das defensas que tentariam empurrar o navio ao serem comprimidas.

Pode-se dizer que na situação 1), o navio poderá colidir e ficar parado, colidir e recuar na água, sobrepor o cais ou haverá mudança na geometria do navio ou do cais, sua área de contato será a região frontal.

Para a situação 2), tem-se que ao entrar em contato com o cais, defesa, o barco rotacionará e continuará a se mover, ele poderá sobrepor a estrutura terrestre ou ocorrerá mudança de geometria, o ponto de contato seria a curva entre a proa e as laterais do navio.

Já na situação 3), a embarcação não se move na direção em que se navega, sendo assim um movimento que possui maior resistência por parte da água, dificilmente haveria sobreposição do cais e a mudança de geometria é sempre possível, mas teria de se levar em conta que o navio está com uma menor velocidade, a sua região de contato se daria no começo de sua parte lateral e no final de sua proa ou popa.

Dando um enfoque na situação 2), por ela possuir velocidade em dois sentidos em relação ao eixo formando pelo cais temos que o movimento do navio em duas (2) dimensões pode ser considerado como movimento de corpo rígido com movimento restringido e uma rotação no ponto de contato. Por ter seu movimento restringido a força aplicada por ele na defesa difere da direção da sua velocidade e por haver rotação há de se ter muito cuidado na análise física do problema.

Uma maneira de se analisar o problema é considerar cada ponto do navio com seu movimento cinemático individual e depois consertar sua posição, com a distância e o alinhamento fixados. As diferenças das posições podem ser utilizadas para uma estimativa de esforço, maneira essa que difere da realidade e se deve ter uma certa cautela.

O ponto de contato tem em seu problema que a força aplicada nele gera deformações que não são absorvidas pelo corpo todo, somente a região de contato absorve o impacto, a natureza da força é uma parte do problema, mas só será abordado o ponto de contato e suas características são definidas por sua rugosidade, sua rigidez e sua geometria.

Ele pode ser rugoso ou liso, rugoso ele ajudaria mais a conter os movimentos do navio, porém a defesa seria mais solicitada, se liso for o oposto seria verdade.

A sua rigidez, se este for rígido a probabilidade de causar riscos ou perfurações é muito maior, se for elástico o oposto seria verdade, mas só a rigidez não é algo definitivo, a geometria perfeita evitaria danos mesmo com o material mais duro. Ou seja, uma geometria capaz de mudar, rotacionar, pode ajudar a evitar danos.

Uma maneira, simplificada, de se fazer estimativas sobre o ponto de contato é utilizando a energia e a força média aplicada de um coeficiente e comparando com o quanto o casco do navio resiste. Dado a força do exemplo anterior, uma força de 33.333 N , sendo aplicada em um quadrado de 10 cm de lado, ou seja, em uma área de 100 cm^2 , com um coeficiente de segurança de 3, tem-se que o casco do navio teria que suportar uma pressão de $33.333 * 3 / 0,01 = 10.000\text{ kN/m}^2$. Para fins de comparação, a

PIANC indica o máximo de 700 kN/m^2 para os navios não reforçados e para navios reforçados ela indica que a defesa sofrerá cargas maiores. Vale lembrar que o cálculo acima é para um navio de 10.000 kg a uma velocidade de 1 m/s que transfere toda a sua energia para a defesa em $0,3$ segundos e que precisaria de uns 15 centímetros para parar, sendo feito de maneira aproximada.

2.2.4. Defensas portuárias reais

Neste subcapítulo será mostrado algumas defensas, não todas, escolhidas aleatoriamente e poderá ser feito alguns comentários e é possível ter erros. O preço da defesa e de sua instalação não serão abordados.

Figura 28. Defesa em barco pessoal



FONTE: (Maltman!, 2021)

Uma pequena defesa fixa, parafusada no pequeno navio para absorver o primeiro contato com outros corpos.

Figura 29. Defesa própria em um yacht.



FONTE: (Bateaux, 2020)

Defensa amarrada no navio, ela tem seu movimento livre, caso a força tenha direção paralela ao casco do navio ela pode escapar, um material com coeficiente de atrito mais alto poderia evitar esse movimento, caso for o desejado.

Figura 30. Defesa feita com corda.



FONTE: (Corporation, 2021)

Defensa tradicional, pode ser feito somente com cordas, normalmente há um núcleo e este é envolto por cordas.

Figura 31. Defesa para barcos pequenos.



FONTE: (Life, 2021)

Defensa posicionada na vertical devido à incerteza de onde a embarcação atingiria.

Figura 32. Defesa de madeira.



FONTE: (AbsolutWreck, 2021)

Defensa de madeira continua colocada na vertical e na horizontal, tem a vantagem de que por ser uma peça sólida mesmo danificada não perderia a sua utilidade.

Figura 33. Fenda em forma de arco.



FONTE: (Nanjing Deers Industrial Co., The Singapore client visits the fenders at Jiangyin Port, 2021)

As chamadas “Arch fenders” pois tem seu formato em V, podem ser colocadas na horizontal ou vertical. Seu formato faz com que se houver deformações no topo do arco, uma perna atuará resistindo a compressão e a outra assumirá uma geometria na qual estaria tracionando, porém ela também estará em compressão devido a uniformidade da carga.

Figura 34. SFT Element Fenders.



FONTE: (ShibataFenderTeam, 2021)

É uma “arch fender” com um painel na frente, também pode ser chamado de “element” ou “leg” fender. As pernas formam um arco invertido para estabilizar o painel. Já o painel ajuda a transferir a força para uma área maior.

Figura 35. Defesa cilíndrica com painel.



FONTE: (Malaysia, 2020)

Defesa cilíndrica com painel e movimento limitado por correntes, as correntes ajudam a sustentar o painel e limitam o seu movimento, ao limitar o movimento o esforço vai para a corrente e as forças aplicadas serão maiores.

Figura 36. Defesa una ao cais.



FONTE: (Nanjing Deers Industrial Co., The fender system is an indispensable part of the port and the ship, 2021)

Defensa de borracha planejada ao se construir o cais, provavelmente fixada na parte superior para facilitar a remoção, instalação.

Figura 37. Pneu de avião.



FONTE: (Vracking, 2021)

Pneus de avião que seriam descartados sendo utilizados; a princípio qualquer material mais deformável que o casco do navio ou o concreto. O pneu usa o ar como região de transferência e a borracha como ponto de contato.

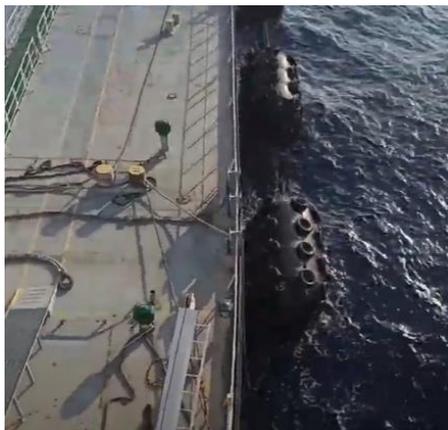
Figura 38. Defesa cilíndrica vazada de borracha.



FONTE: (TV, 2021)

Defensa cilíndrica vazada e pendurada por correntes, seu furo permite que ela se deforme mais e o fato de ser pendurada facilita a instalação e o reparo.

Figura 39. Defesa Yokohama.



FONTE: (Gayatin, 2021)

É uma defesa cilíndrica não vazada que possui pneus em volta dela, é mais utilizada para evitar contato entre dois navios.

Figura 40. Defesa cone com pneu.



FONTE: (MANAOKAUAI, 2020)

É uma defesa de cone composta, utilizando o pneu como ponto de contato e a defesa como região de transferência de energia.

Figura 41. Defesa com dois pneus.



FONTE: (Seron, 2021)

Defesa feita com dois pneus, sua vantagem é a facilidade de encontrar o material, foi instalado na lateral do cais, porém poderia ter sido no chão. Quando instalado na lateral não há correntes atrapalhando a movimentação, porém sua manutenção, remoção e instalação podem ser mais difíceis.

Figura 42. Defesa giratória.



FONTE: (Jerryborg Marine Machinery Co., 2021)

Mais utilizada em lugares que possuem pontas para guiar o navio.

Figura 43. Defesa solicitada por torsor.



FONTE: (Temur, 2020)

Correntes que resistem o esforço para que não se perda a defesa.

Figura 44. Painel da defesa com abas.



FONTE: (TrelleborgMarine&Infrastructure, 2020)

As abas ajudariam em caso de solicitação lateral, fazendo o painel rotacionar e a defesa trabalhar mais adequadamente.

Figura 45. Defesa parando um navio vindo de frente.



FONTE: (AB, 2021)

Defesa parando o impacto frontal de um navio, provavelmente para testes.

Figura 46. Defesa junto com sistemas de automação.



FONTE: (Group, 2020)

Defesa normal, resiste ao primeiro contato do navio.

O sistema automatizado é ativado após o contato inicial, segundo o fabricante ajuda na estabilização da embarcação, possui um sistema a vácuo.

2.3. Embarcações

Uma embarcação é definida como:

“

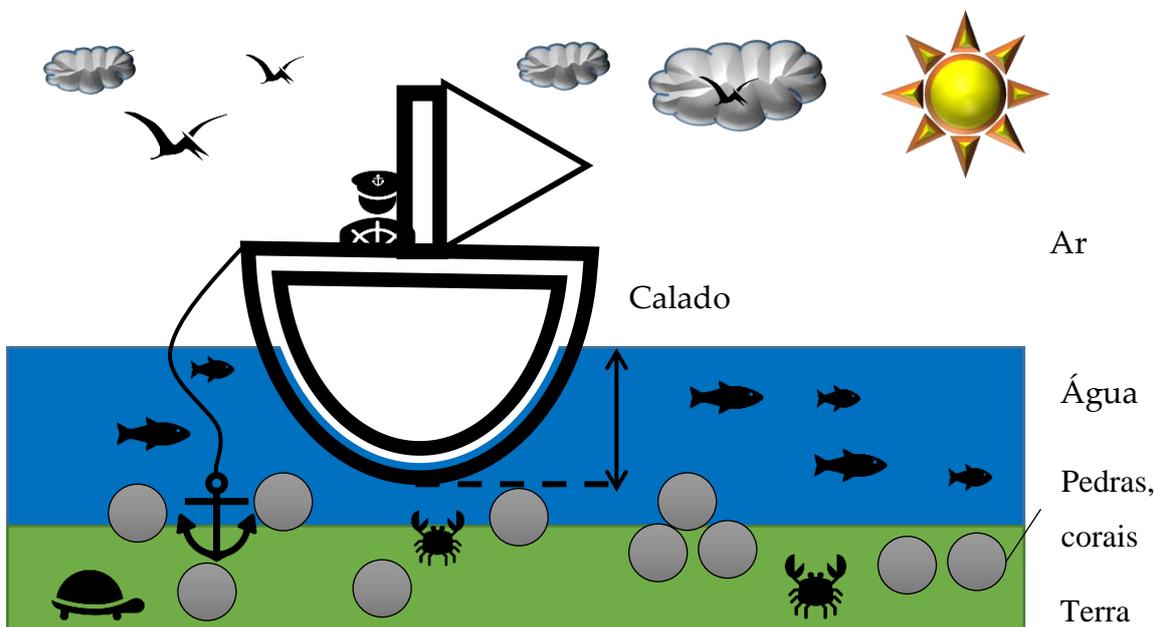
Embarcação - qualquer construção, inclusive as plataformas flutuantes e, quando rebocadas, as fixas, sujeita a inscrição na autoridade marítima e suscetível de se locomover na água, por meios próprios ou não, transportando pessoas ou cargas

” (BRASIL, 1997)

Navios se utilizam do princípio de ser mais leve do que a água para poder flutuar, algo que pode ser identificado pelo princípio de Arquimedes, pelo equilíbrio

de forças ou pela tentativa e erro. Normalmente os navios se utilizam do ar em seu interior para pesar menos do que a água, sendo ocos. A Figura 47 mostra a ilustração de um navio na água.

Figura 47. Navio na água.



FONTE: Autor

Seu casco tem que ser impermeável e deve ser projetado para resistir a colisão com o cais, as defensas, pedras e com o terreno. Um método para verificar a profundidade do terreno é a utilização de algum bastão ou a âncora pois o contato com o terreno daria um aviso a tripulação a bordo.

Ou seja, uma embarcação, em seu princípio fundamental, boia na água. A partir disso temos que ela precisa se mover e para isso há a necessidade de se usar o que está em sua volta.

Um barco parado seguirá a corrente marítima em que se encontra ou se equipado com uma vela seguirá o vento, ou seja, utilizará a água ou o ar. Para não depender do meio pode-se utilizar meios para vencer a natureza, como motores ou remos para movimentar a água ou ventiladores para deslocar o ar.

Com a locomoção garantida há de se pensar em como escolher o caminho a ser seguido e para isso é importante a intuição que um corpo gira em torno de seu centro

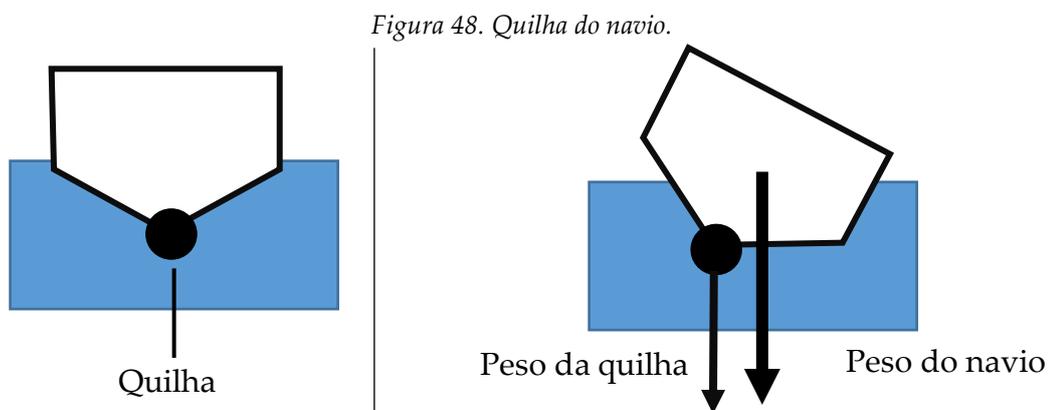
de massa e que a força exercida sobre o barco é igual a força exercida na água, porém em sentido oposto.

E com a direção acertada, tem que se garantir a estabilidade do barco para que o mesmo não tombe e para isso é necessário um equilíbrio entre as forças provenientes da água, do ar e do peso do navio, caso não haja esse equilíbrio pode-se utilizar de mecanismos para que impeçam o giro do navio, giro este que tende a ser em torno do seu centro de massa.

Mas temos que o navio não é só um centro de massa, este possui uma geometria e está definirá como o navio poderá girar, o navio então, provavelmente, girará em torno de seu eixo inércia com o menor valor, este eixo dependerá de como a carga está distribuída no navio.

A carga do navio, pode ser sólida, líquida, gasosa, estática ou dinâmica ou algo diferente e isto afeta a distribuição de massa do navio pois este está sempre a se mover e acelerar, uma análise precisa do comportamento e do movimento de objetos não presos ou engastados no navio e como isso afeta o movimento e estabilidade do próprio é algo que não será abordado, entretanto o barco deve ser capaz de manter seu equilíbrio sobre qualquer condição.

Uma das maneiras mais utilizadas para equilíbrio de um navio é a utilização da quilha e esta pode ser vista de maneira ilustrativa na Figura 48.

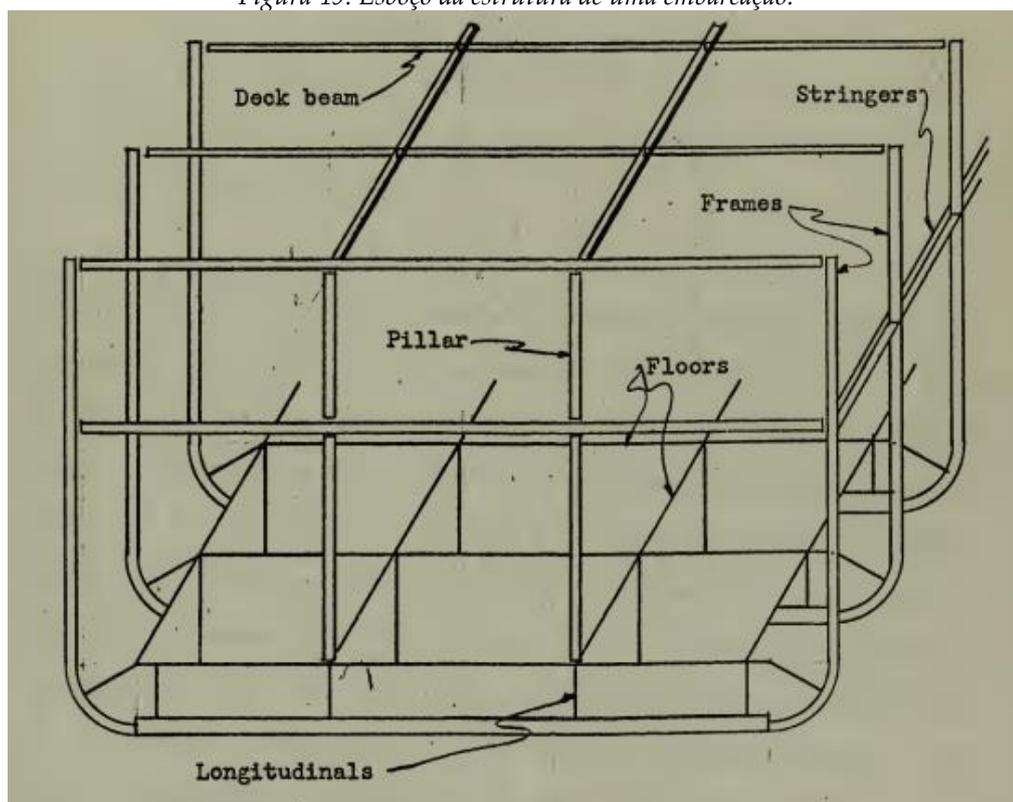


Fonte: Autor

Como pode ser visto a quilha gera uma força restauradora quando o navio rotaciona, tentando gerar um equilíbrio. Mas a quilha é só um exemplo usual do que é utilizado, poderia se utilizar até ar pressurizado para tentar restaurar o equilíbrio do navio, por exemplo.

A embarcação, com tudo o que se tem e todas as suas funções, há de possuir uma estrutura capaz de resistir todo o seu peso e um esboço de tal estrutura pode ser visto na Figura 49.

Figura 49. Esboço da estrutura de uma embarcação.

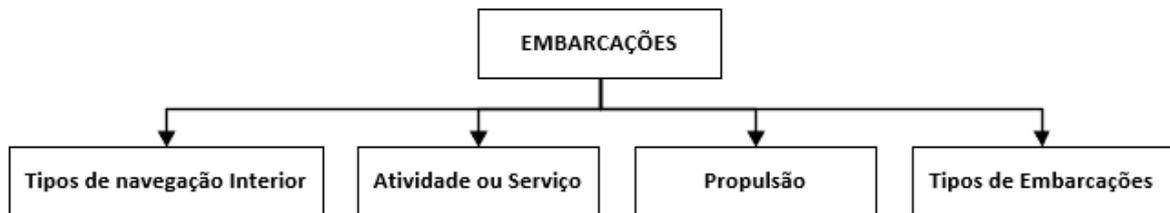


Fonte: (Lyod E. Stiffler, 1955).

De maneira geral, o formato é basicamente o de um quadrado, porém há a necessidade de curvar certos ferros e há a necessidade de chapas de aço ao redor do mesmo para evitar a entrada de água. Além disso, há as regiões próprias para armazenagem e para as pessoas que podem vir a ter cuidados especiais, tanto quanto na parte estrutural como em pontos que envolvam outros campos.

Para se ter uma noção dos navios que existem a Figura 50 mostra como as embarcações podem ser classificadas, conforme (BRASIL M. D., 2019).

Figura 50. Classificação da embarcação.

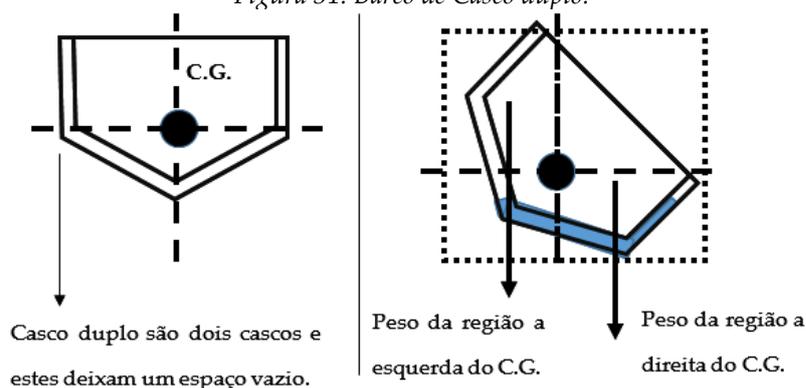


Fonte:: Adaptado de (BRASIL M. D., 2019).

Vale salientar que na seção de tipos de embarcações contém o nome da embarcação com a sua função / explicação. Por exemplo, a traineira é definida como “Embarcação de pesca pequena, com a popa reta destinada à utilização de redes (trainas) como instrumento para capturar peixes.”. Esta seção se encontra na fonte citada.

E em algum destes navios podem haver métodos que aumentam sua segurança, o “belting” é um reforço na região do casco para que o navio possa passar por situações mais adversas como, por exemplo, icebergs. Esse reforço se dá pela diminuição do espaçamento dos ferros na transversal e na longitudinal e o uso de ferros maiores, além de um aumento da espessura da casca. Outro método que pode ser utilizado é a utilização de mais de uma casca no navio, assim, mesmo que haja perfuração o navio não fica impossibilitado, a Figura 51 ilustra simplificada o que é um casco duplo.

Figura 51. Barco de Casco duplo.



FONTE: Autor

Como pode ser visto acima há um espaço entre os cascos e, muitas vezes, é preenchido com água, seja para incêndios, para limpeza ou uso ou até para ajudar no equilíbrio do barco, o problema que poderia ocorrer é que este peso de água contribua para um desequilíbrio do navio. Por exemplo, se os tanques do casco duplo forem todos conectados e este não estiver cheio, digamos que ele está pela metade, basicamente toda a água se concentrará a direita do centro de gravidade o que fará o navio tombar, isso se este não for projetado para tal situação.

2.4. Água

A água tem sua composição química representada por H_2O , sendo H_2 dois átomos de hidrogênio com um elétron “sobrando em cada” e O sendo o oxigênio, que lhe falta dois elétrons para atingir o equilíbrio, logo sua combinação dá o equilíbrio a molécula.

De um ponto de vista biológico, na água existe peixes, estes precisam respirar oxigênio, logo há oxigênio (O_2) dissolvido na água. O oxigênio por lhe faltar elétrons rouba os elétrons de outros átomos, normalmente materiais que conduzem bem a eletricidade pois estes possuem elétrons livres, metais; causando a corrosão. Porém nem todo metal ou material que conduz eletricidade sofre oxidação em situações normais, a temperatura é um dos fatores que influencia na oxidação dos objetos.

Nota-se a importância da água, uma das principais substâncias, se não a principal, que auxiliam no processo da vida. Sua captação, seu uso, sua armazenagem, sua distribuição e seu tratamento são pontos vitais para a sobrevivência da humanidade. Ela é encontrada e definida como doce ou salgada, doce vinda de rios e é mais apta ao consumo e uso, a salgada é a água do mar e seu consumo e uso requerem mais cuidados.

O uso da água está ligado aos minerais presentes na mesma, pois grande parte da vida possui água com uma certa quantidade de minerais, sais e substâncias, logo uma água com muito ou sem nenhum soluto é capaz de distorcer esse equilíbrio

natural de cada corpo e pode causar problemas químicos e biológicos, fisicamente o aumento de sais na água aumenta a sua capacidade de fazer objetos flutuarem e sua condutibilidade elétrica.

A capacidade da água de “absorver” sais e substância em geral a levou a ser chamada de solvente universal. Essa capacidade se dá ao fato da água conseguir envolver as substâncias, espalhando-as por igual dentro de si, fazendo com que a solução fique homogênea.

Para entender essa capacidade da água deve-se pensa-la como se fosse uma cola, com uma força que a mantém junto e uma força que a liga com os outros objetos e, no caso da água, a força que a liga com outros objetos, costuma ser mais forte do que a força que a mantém junto.

Com esse entendimento, é capaz de se ter uma intuição de porquê no ar há água e o porquê da água se comporta do jeito que se a observa. E é claro que a água pode se comportar como se fosse outro corpo para a própria água, pois um corpo de água pode ter características diferentes de outro corpo, tal como o seu movimento, temperatura, minerais, ou outros fatores.

O tema da água também pode ser abordado de outra maneira, em uma larga escala. Na Terra, a presença de água é definida por três (3) motivos:

- 1) Chuva: o local onde chove terá água;
- 2) Geometria: A geometria definirá onde a água será armazenada e por onde correrá;
- 3) Gravidade: A gravidade sempre fará a água cair para o ponto mais baixo e isto que forma os mares e os lençóis freáticos.

Um fator que afeta o comportamento dos mares na Terra é a Lua, a sua presença e rotação em torno do nosso planeta faz com que a água se move tentando acompanhá-la, isso ocorre devido a sua gravidade e proximidade com a Terra, o nome dado para tal fenômeno é maré alta e baixa.

Esses movimentos da água são capazes de alterar até mesmo como a terra gira em seu próprio eixo e como ela não está engastada na terra, logo seu movimento, assim

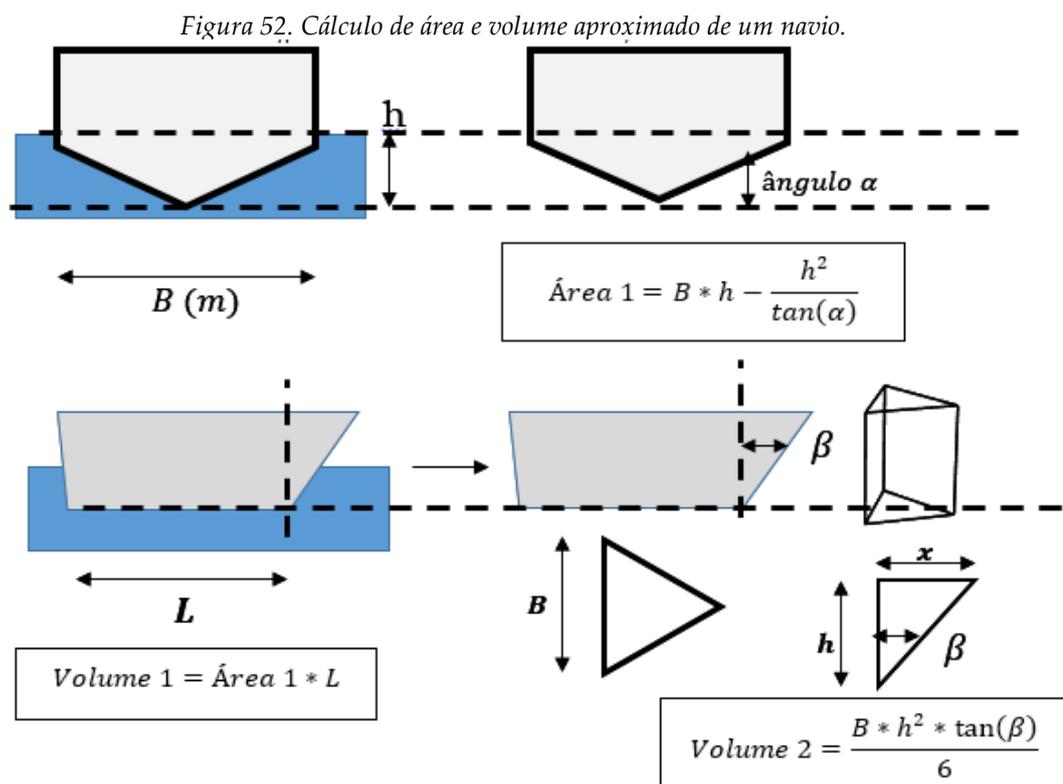
como movimento de não sólidos em navios, podem afetar o comportamento do nosso corpo celeste. E como num navio, a água poderia ser armazenada de tal modo que se pudesse controlar a rotação da terra, não que isso seja viável, somente uma situação hipotética.

E, por fim, para o cálculo da flutuabilidade do navio temos que a pressão de água a uma distância h do nível do mar é:

$$\text{pressão} = \text{densidade} * \text{gravidade} * h \quad (12)$$

A densidade da água varia de acordo com a quantidade de soluto dissolvido e sua temperatura, mas é normal adotar-se 1000 kg/m^3 . Já a gravidade é aproximadamente 10 m/s^2 , entretanto o valor mais correto seria cerca de $9,8 \text{ m/s}^2$ e é o que será utilizado.

A Figura 52 mostra algumas regiões e um cálculo aproximado de área e volume das mesmas.



FONTE: Autor

Com isso temos que o empuxo que é igual a:

$$E = \text{densidade} * \text{gravidade} * \text{volume} \quad (13)$$

$$E = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * h \left(B * L - \frac{h}{\tan(\alpha)} + \frac{B * h * \tan(\beta)}{6} \right) \quad (14)$$

E isso é igual ao peso do navio, que digamos tenha massa de 10.000 kg:

$$10.000 * 9,8 = 9800 * h \left(B * L - \frac{h}{\tan(\alpha)} + \frac{B * h * \tan(\beta)}{6} \right) \quad (15)$$

$$10 = h \left(B * L - \frac{h}{\tan(\alpha)} + \frac{B * h * \tan(\beta)}{6} \right) \quad (16)$$

Lembrando que não é só uma questão das forças se igualarem, mas o navio tem que flutuar, de fato.

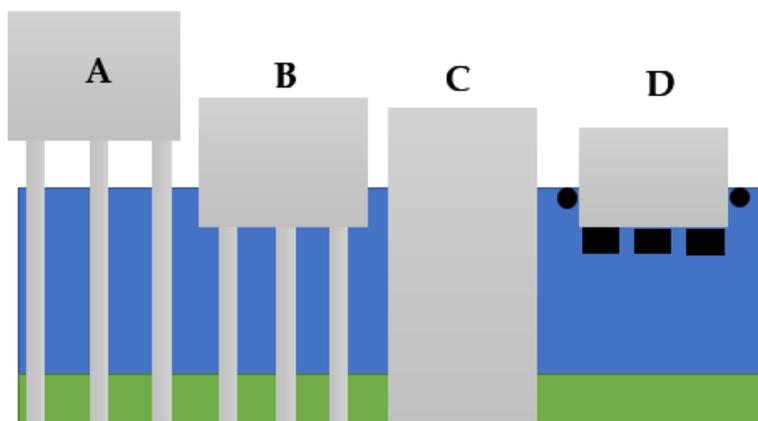
2.5. Considerações finais

Nesta seção será abordado como todos os tópicos anteriores podem se comportar em conjunto e poderá se ter opiniões do autor.

2.5.1. Cais e o ambiente

O cais, píer ou o “finger” é a estrutura que define um porto, não que navios possam navegar sem eles, eles podem sim, porém sua existência torna a chegada e saída muito mais fácil, além de possibilitar a utilização de barcos muito maiores, alguns tipos de estrutura podem ser vistos na Figura 53.

Figura 53. Possibilidade de um cais.



FONTE: Autor

Pode-se observar que as estruturas podem ser fincadas no solo ou não, se fincadas estas podem ter parte de sua laje (bloco de concreto) bloqueando parcialmente, totalmente ou não bloqueando a passagem de água, além disso as fixadas terão seu nível de água mudando de acordo com as marés.

Em casos que a laje não bloqueia a água, embaixo dela ficará uma área úmida e sujeita a respingos e terá o risco de objetos flutuantes ficarem presos entre os pilares, estes por estarem expostos podem sofrer danos se colidirem com embarcações.

No caso que a laje bloqueia parcialmente a água, tem-se a existência do empuxo de água nela e um aumento da pressão de água na lateral do bloco, aumentando os esforços que o pilar causa no solo, além disso a água que colide com o bloco pode se comportar como uma onda e refletir e difratar, além de refratar no ar, no solo e na estrutura.

Por último, quando o cais bloqueia totalmente a água, a estrutura receberá esforços muito maior da água e, provavelmente, não sofrerá empuxo de água, além disso se a estrutura for sólida, não oca, o seu peso será muito maior e o recalque (afundar no solo) será maior. O comportamento da água será igual ao dito acima, porém ela não passará por baixo do bloco de concreto, porém caso o solo for poroso, não impermeável, poderá se ter uma pressão de água exercida na base do bloco.

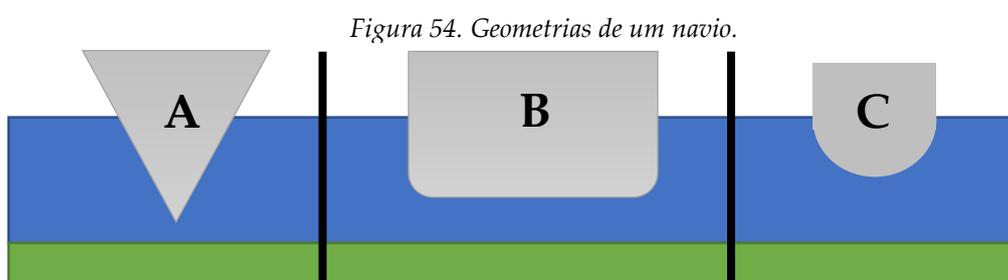
Enfim, o caso no qual a estrutura não está fincada no chão, ela sofre empuxo da água e seu nível de água não varia, sua parte submersa é proporcional ao seu peso e ainda tem a vantagem de não causar esforços no solo. Porém, ela ainda está submetida aos esforços da água e tentará se mover, como não há pilares a prendendo os esforços na laje serão muito maiores e por isso é recomendado botar guias presos no chão para evitar este movimento lateral, permitindo somente o subir e o descer.

Além disso, algo que pode ser discutido é que em função do provável aumento do nível do mar devido ao degelo, o cais pode ficar debaixo d'água e uma das soluções seria de um cais flutuante ou ajustável. O degelo tem sua origem na falta de chuva ou neve, aumento da temperatura ou deslocamento do gelo/neve.

Outro fator especulativo que pode ser considerado é que com a diminuição de superfícies brancas (claras, como a neve) e o aumento da superfície de água é de que haverá maior evaporação de água, logo a água irá para a atmosfera que possui a sua capacidade de armazenamento de água, com mais água a tendência é chover com mais intensidade ou com maior frequência, causando uma maior agitação nos mares que poderia afetar os navios no momento de atracação e navegação.

2.5.2. Navios, geometria e física

A geometria de um navio pode ter características triangulares, retangulares ou esféricas, como pode ser visto na Figura 54.



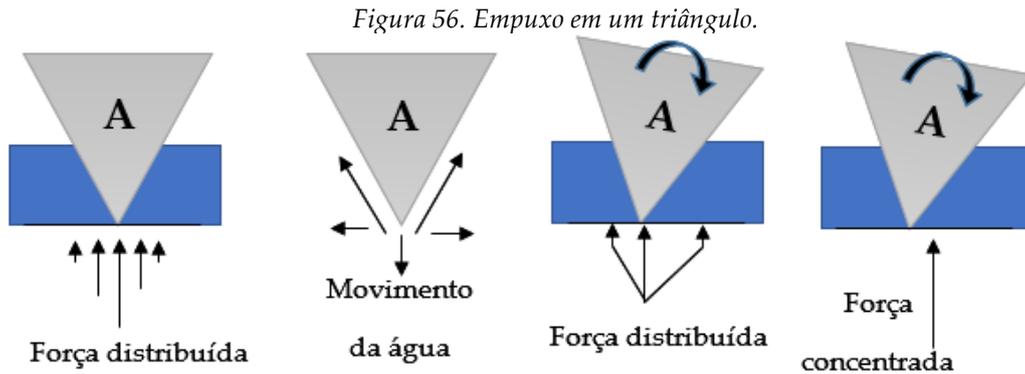
FONTE: Autor

Em partes triangulares ou em lugares de maior dimensão na parte superior, como uma figura de proa, podem causar uma invasão no cais que pode resultar em acidentes, visto Figura 55.

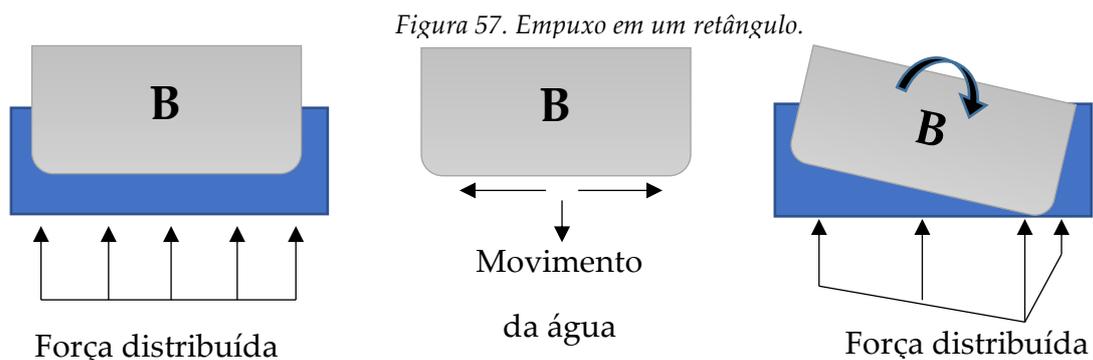


FONTE: Autor

Além disso, estas características afetam como o navio irá se equilibrar e o movimento/resistência de água que o navio gera. A Figura 56 e a Figura 57 mostram um esquema da força aplicada pela água e como a água pode se mover.



FONTE: Autor



FONTE: Autor

Percebe-se que para triângulos há uma força maior na região central, já para retângulos a força é distribuída igualmente, nota-se também que ao barco girar ele ficará mais imerso para o lado que girou, aumentando o empuxo e criando uma força restauradora. Já na questão do movimento da água, o triângulo faz a água percorrer uma menor distância do que o retangular, gerando menos resistência, logo para movimentos de subida e descida o barco triangular deve ter maior amplitude; o empuxo da água no navio também influenciará nessa amplitude, este definido pela geometria e profundidade imersa na água.

Além do empuxo, o centro de massa e o momento de inércia tem como a geometria e a massa do objeto como definidores de sua posição e valor, respectivamente.

O centro de massa é definido pelo somatório da multiplicação da massa pela distância, distância de um certo eixo, definido pela expressão $M_{total} * d_{CM} = \sum m_i * d_i$. Já o momento de inércia é definido pela multiplicação da massa pela distância ao

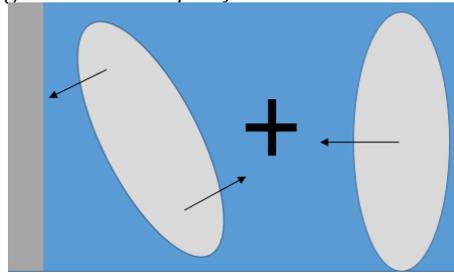
quadrado, definido pela expressão $I = \sum m_i * d_i^2$, distância essa do eixo de giro. Como os navios são sólidos livres em corpos resistivos (água e ar), o seu movimento rotacional é em torno da região do centro de massa que difere do centro geométrico. Logo, a força peso do navio pode ser aplicada ao seu centro de massa e o empuxo dependerá da geometria imersa do navio, a força peso e o empuxo tentarão encontrar o equilíbrio em seu valor absoluto, porém se estes não estiverem alinhados haverá um torque que fara o navio girar, pois o navio quer cair e a água também, o mais pesado ficará embaixo.

O torque é a força aplicada a um ponto multiplicado pela distância até o eixo de giro, definido por $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$. Outra definição é de que o torque é igual a aceleração angular vezes o momento de inércia, $\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$. Dado um corpo que recebe um torque, este começa a girar com uma velocidade angular, $\vec{\omega}$, e este corpo tende a permanecer em movimento a não ser que uma força aja sobre ele. Logo, ele vai ter um momento angular, $\vec{L} = I\vec{\omega}$, que pode ser alterado através de uma força, um torque, logo $\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$. Isso pode ser visto pelo lado da energia também, um objeto que gira tem sua energia, definido como $E_{rotacional} = \frac{1}{2}I\omega^2$ e se há energia há como altera-la com trabalho, $W = \tau\theta$, e se há trabalho existe potência, $P = \tau\omega$.

2.5.3. Atracagem do navio

A atracagem abordada será a que é feita com o navio se movendo lateralmente, em direção diferente a de navegação, que pode ser observado na Figura 58. A embarcação, ao se mover lateralmente, terá dois tipos de movimento, o linear, no qual o barco se move no sentido da força aplicada, e o rotacional, que ocorre em torno de um eixo de giro, normalmente situado no centro de massa para corpos livres. Porém, se houver um engastamento no navio, o que estiver engastado (transmitindo momento, rotação) também será considerado parte do navio e isso pode ficar complicado, além disso as condições para haver um “engastamento” dependeria da situação real.

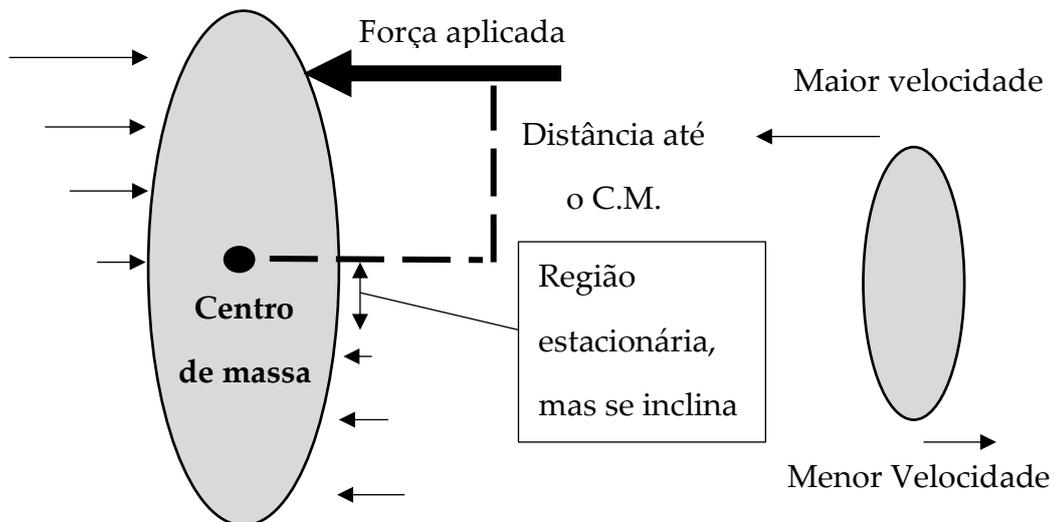
Figura 58. Decomposição do movimento do navio.



FONTE: Autor

Para fins de cálculo, tem-se que há uma força \vec{F} aplicada com uma certa excentricidade \vec{d} , logo o navio irá acelerar conforme a força e sua massa, $a = \frac{F}{m'}$, e irá acelerar rotacionalmente de acordo com o torque e sua inércia, $\alpha = \frac{F \cdot d}{I}$. E devido a aceleração o corpo ganhará uma velocidade e , com isso, haverá as forças resistivas da água e do ar que farão oposição ao movimento do navio. Para o comportamento do navio é possível separar os movimentos para analisá-lo, porém a reação da água ocorrerá com o fenômeno completo e o movimento do navio também. Logo, só haverá resistência da água para o sentido que o navio se move.

Figura 59. Navio girando.



FONTE: Autor.

Na figura acima, o navio se move para a esquerda, girando no sentido anti-horário, porém a velocidade de rotação é maior que a velocidade de translação,

fazendo com que a parte inferior se desloque para direita do centro de massa, relativo à posição inicial do centro de massa.

Para calcular a inércia do navio, considerando que o centro geométrico seja o mesmo que o de massa, pode-se utilizar a fórmula $I = \frac{ML^2}{12}$ se o comprimento do navio for maior que as outras dimensões, porém se as outras dimensões forem significativas haverá de ter um outro termo, esse termo para circunferências é $I = \frac{MR^2}{4}$. Estes valores podem ser achados com o teorema do eixo paralelo $I = I_{centro} + Md^2$. Com a inércia e a velocidade pode-se calcular a velocidade, a Tabela 4 calcula a velocidade angular do navio (rad/s) para uma velocidade linear na sua extremidade ($v = w r$), já a Tabela 5 tem os valores calculados com a fórmula $I = \frac{ML^2}{12}$, não considerando a espessura do navio, logo obtendo um valor menor. O resultado obtido está em função da massa $\left(\frac{E}{M}\right)$, ao multiplicar os valores pela massa do navio, obtém-se a energia cinética rotacional.

Tabela 4. Velocidade angular.

		VELOCIDADE ANGULAR (rad/s)							
		v (m/s)							
		0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64
Comprimento (m)	50	0,0032	0,0064	0,0096	0,0128	0,016	0,0192	0,0224	0,0256
	100	0,0016	0,0032	0,0048	0,0064	0,008	0,0096	0,0112	0,0128
	150	0,0011	0,0021	0,0032	0,0043	0,0053	0,0064	0,0075	0,0085
	200	0,0008	0,0016	0,0024	0,0032	0,004	0,0048	0,0056	0,0064
	250	0,0006	0,0013	0,0019	0,0026	0,0032	0,0038	0,0045	0,0051
	300	0,0005	0,0011	0,0016	0,0021	0,0027	0,0032	0,0037	0,0043
	350	0,0005	0,0009	0,0014	0,0018	0,0023	0,0027	0,0032	0,0037
	400	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016	0,002	0,0024	0,0028	0,0032

FONTE: Autor

Tabela 5. Energia cinética rotacional.

		ENERGIA CINÉTICA ROTACIONAL - EM FUNÇÃO DA MASSA (J/kg)							
		v (m/s)							
		0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64
Comprimento (m)	50	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	100	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	150	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	200	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	250	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	300	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	350	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	400	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683

FONTE: Autor

Percebe-se que a energia cinética rotacional do navio não dependerá de seu tamanho, mas sim da sua velocidade linear no extremo e de sua massa. Algo que pode ser notado é que para esse caso a energia cinética linear do navio seria três (3) vezes maior que a rotacional para a mesma velocidade, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6. Energia cinética linear e rotacional para a mesma velocidade.

V(m/s)	Energia		
	Rotacional	Linear	Linear/Rot
0,08	0,00107	0,0032	3
0,16	0,00427	0,0128	3
0,24	0,00960	0,0288	3
0,32	0,01707	0,0512	3
0,4	0,02667	0,08	3
0,48	0,03840	0,1152	3
0,56	0,05227	0,1568	3
0,64	0,06827	0,2048	3

FONTE: Autor

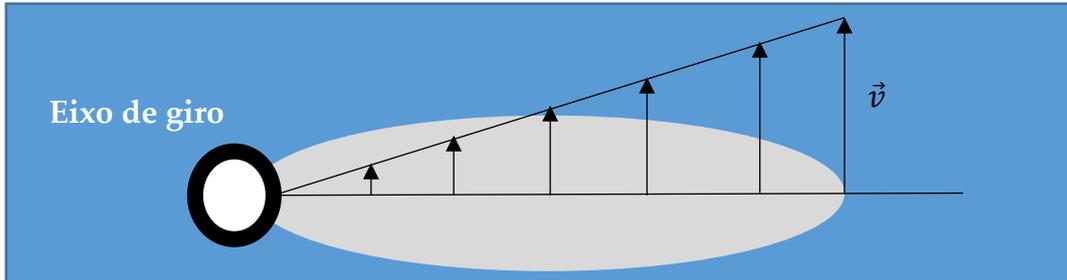
Para se ter uma noção de inércia considerando a espessura do navio, diga-se que um navio de contêiner tem 231 metros e 17,5 metros de raio e pesa 60.800.000 kg (comprimento e massa obtida pela PIANC, raio sendo metade da largura de um navio de 200 metros), tem-se que a inércia é igual a:

$$I = \frac{ML^2}{12} + \frac{MR^2}{4} = M \left(\frac{231^2}{12} + \frac{17,5^2}{4} \right) = M(4446,8 + 76,56) \quad (17)$$

A inércia dada pela espessura do navio é cerca de 1,72% da inércia longitudinal, como a fórmula da energia é $E_{rot} = \frac{I\omega^2}{2}$, a consideração da inércia devido a espessura pode ser obtida com a utilização de fatores de correção, neste caso multiplicar por 1,10 seria o suficiente. Por exemplo, um raio de 60 metros daria $\frac{60^2}{4} = 900 \text{ kg.m}^2$, cerca de 20% da inércia longitudinal, isto traria um barco de largura de 120 metros. Os cálculos acima consideram o navio sendo circular, porém em alguns casos a altura vai ser maior que a espessura (containers) e em outros a espessura irá ser maior, porém é de grande probabilidade que o coeficiente seja o suficiente para todos os casos.

Outro caso seria o de um navio fixado em uma ponta e o resto do corpo se movendo cuja inércia tem valor de $I = \frac{1}{3}ML^2$, visto Figura 60.

Figura 60. Navio rotacionando em torno de um ponto.



FONTE: Autor

O cálculo de velocidade angular, energia em função da massa e relação entre a energia rotacional e linear seguem na Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9.

Tabela 7. Velocidade angular para um fixado em um extremo.

		VELOCIDADE ANGULAR (rad/s)							
		v (m/s)							
		0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64
Comprimento (m)	50	0,0016	0,0032	0,0048	0,0064	0,0080	0,0096	0,0112	0,0128
	100	0,0008	0,0016	0,0024	0,0032	0,0040	0,0048	0,0056	0,0064
	150	0,0005	0,0011	0,0016	0,0021	0,0027	0,0032	0,0037	0,0043
	200	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016	0,0020	0,0024	0,0028	0,0032
	250	0,0003	0,0006	0,0010	0,0013	0,0016	0,0019	0,0022	0,0026
	300	0,0003	0,0005	0,0008	0,0011	0,0013	0,0016	0,0019	0,0021
	350	0,0002	0,0005	0,0007	0,0009	0,0011	0,0014	0,0016	0,0018
	400	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,0010	0,0012	0,0014	0,0016

FONTE: Autor

Tabela 8. Energia cinética rotacional de um navio fixado em uma ponta.

		ENERGIA CINÉTICA ROTACIONAL - EM FUNÇÃO DA MASSA (J/kg)							
		v (m/s)							
		0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64
Comprimento (m)	50	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	100	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	150	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	200	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	250	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	300	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	350	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683
	400	0,0011	0,0043	0,0096	0,0171	0,0267	0,0384	0,0523	0,0683

FONTE: Autor

Tabela 9. Relação entre energia linear e rotacional de um corpo girando em torno de seu extremo.

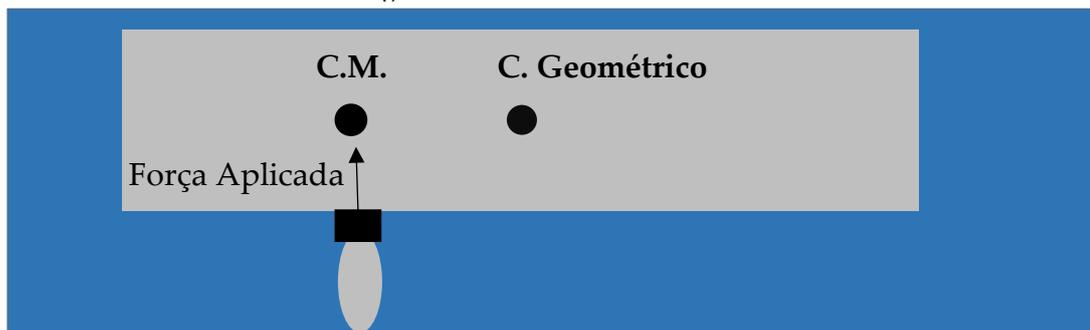
V(m/s)	Energia		
	Rotacional	Linear	Linear/Rot
0,08	0,00107	0,0032	3
0,16	0,00427	0,0128	3
0,24	0,00960	0,0288	3
0,32	0,01707	0,0512	3
0,4	0,02667	0,08	3
0,48	0,03840	0,1152	3
0,56	0,05227	0,1568	3
0,64	0,06827	0,2048	3

FONTE: Autor

Observa-se que um navio/objeto girando em torno de seu centro geométrico ou de seu extremo tem a mesma energia cinética se a velocidade no extremo for igual.

Outro fator a ser considerado é que, talvez, o centro de massa difira do centro geométrico, como pode ser visto na Figura 61.

Figura 61. Centro de massa deslocado.



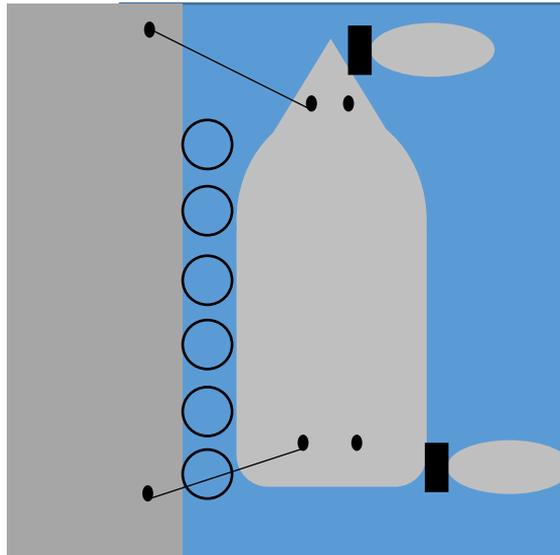
FONTE: Autor

É fácil notar que é impossível a força aplicada pelo reboque passar por um ponto infinitesimal, logo o navio sempre irá girar um pouco. É estranho pensar que a água não rotacionaria o navio, o autor também não tem certeza onde exatamente irá girar, mas acha que seria no centro de massa, o mesmo ocorre para situações em terra (com o atrito), embora o autor nunca tenha calculado precisamente, o centro de giro é deslocado, porém em situações que tenham força de atrito, a força de atrito estática tem que ser superada.

Além disso, poderia se pensar como navios com uma geometria assimétrica e centro de massa deslocado se moveria ou um objeto que desliza na terra em duas superfícies com coeficiente de atrito diferente. Também se poderia pensar como múltiplas forças atuariam em conjunto no objeto, visto que forças podem atuar como massas ou como meio de restrição do objeto, entretanto, tais casos não serão abordados.

Por fim, o movimento de atracamento, normalmente, é feito com ajuda de um ou mais navio reboque, este faz a aproximação do navio lateralmente e por fim empurra o navio para as defensas, este movimento terá energia rotacional e linear, ambas definidas pela velocidade do navio. A embarcação, ao ficar bem próxima do cais, assim ele irá encostar na defesa e será preso por cordas ao cais, estas podem ajudar a puxar o navio e posicioná-lo, visto Figura 62.

Figura 62. Embarcação encostada no cais.



FONTE: Autor

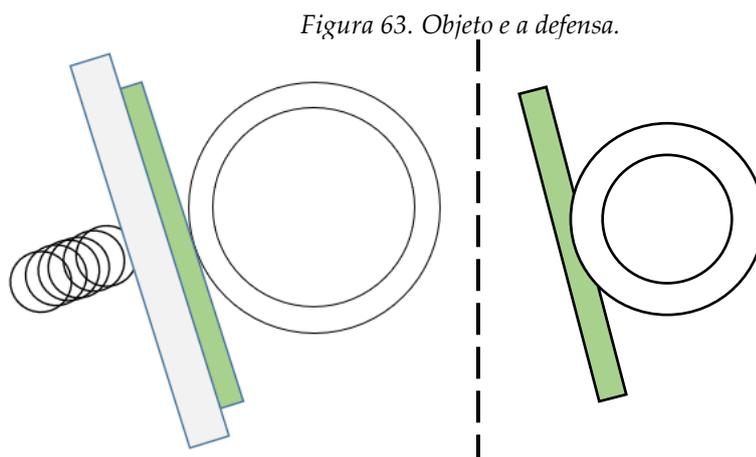
Observação: Não se deve esquecer que o giro no segundo eixo de inércia de um corpo é instável se as inércias dos outros eixos forem diferentes, algo que pode ser previsto com as fórmulas derivadas das leis de Newton, vide teorema da raquete de ténis. Coisas girando são complicadas, calculá-las com precisão requer muito cuidado

e ter certeza de seu comportamento em uma situação real pode ser um erro; os cálculos feitos são simplificados, mas podem dar uma boa noção.

2.5.4. Ponto de contato e os corpos envolvidos

O ponto de contato foi visto simplificadaamente na Região 3 e lá se diz que se o casco do navio é reforçado a defesa sofrerá mais esforços, para entender isso é necessário ter clareza sobre a diferença entre força e energia.

O objeto ao colidir com a defesa, deformará a defesa e se deformará, o material mais rígido/duro irá se deformar menos e o mais mole irá se deformar mais, o que se deve ter atenção é de que a força aplicada no objeto e na defesa serão sempre iguais (Isaac Newton). Com isso a energia no ponto de contato da defesa é de $E_1 = F_1 \cdot X_1$, já no objeto é $E_2 = F_2 \cdot x_2$, devido a força ser igual, a deformação definirá onde se absorverá mais energia elástica, logo $E_1 \gg E_2$ e isso pode ser visto com ajuda da Figura 63.

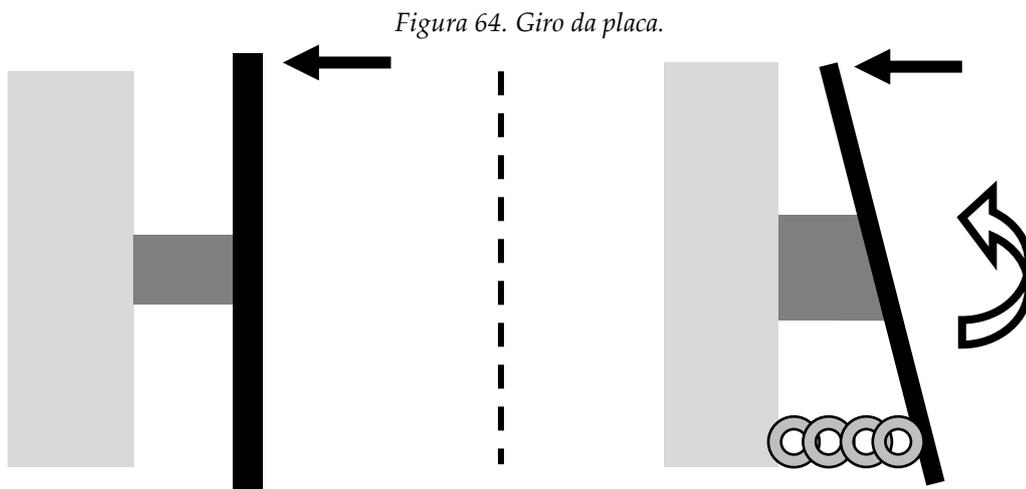


FONTE: Autor

A questão do ponto de contato também dependerá do material, por exemplo um material laminar é diferente de um mais contínuo, um material mais rugoso pode ter partes rompidas, visualmente, mais rapidamente do que um liso pois a pressão se acumula nos pontos mais elevados.

Mas para se entender melhor a questão do ponto de contato deve se pensar no que acontece dentro do material, quando um objeto toca em outro uma onda de pressão se propaga em cada um, com o material se deformando elasticamente e tentando voltar ao seu estado de equilíbrio (pode-se ter deformações permanentes também), porém mais ondas de pressão excitam o material já deformado, este se deformará mais e se este movimento interno for capaz de quebrar as ligações que mantêm o material junto ele se partirá. Outra possibilidade é de que os corpos se movam numa velocidade maior do que as ondas de pressão viajam, algo que não será abordado.

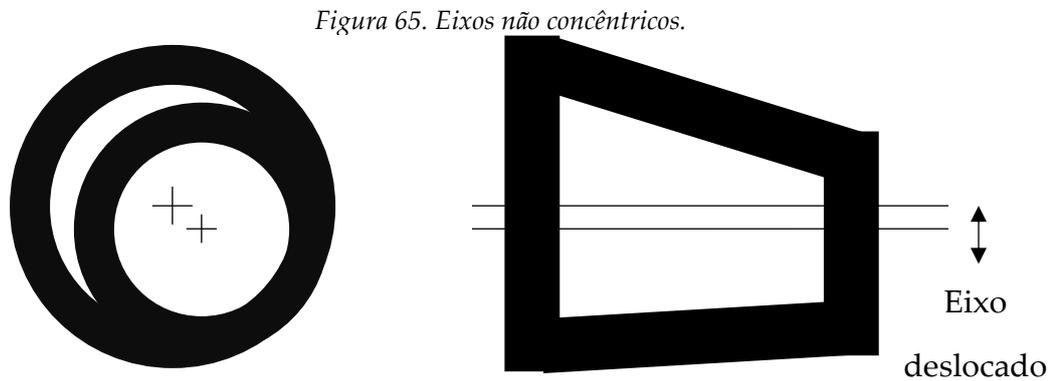
Outro ponto importante é se o ponto tocado for perto da extremidade da placa, isto faria com que a placa girasse o máximo o que poderia causar flambagem (entortar a defesa), fazendo com que ela se deforme mais, algo que deve ser planejado ao fazer a defesa. Um objeto que pode ajudar a impedir tal problema é a corrente, que limitaria o movimento e diminuiria o ângulo de giro. A Figura 64 mostra como isso poderia acontecer, se a flambagem for possível.



FONTE: Autor

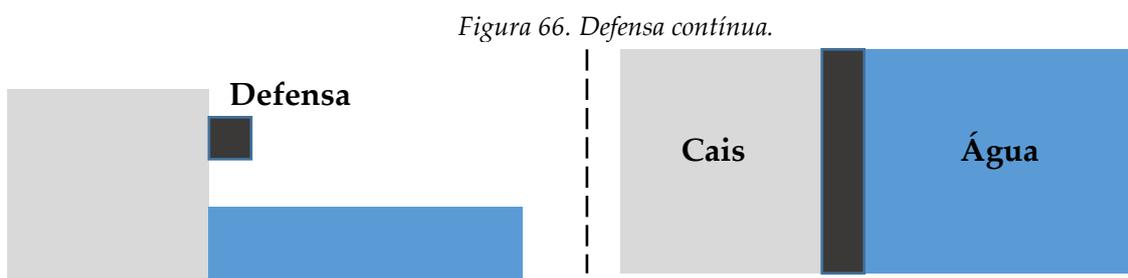
Algo que também pode acontecer é o caso de os eixos da defesa não estarem alinhados, Figura 65, isso ocorreria devido ao peso próprio ou por uma força de atrito

provocada pelo navio. Enfim, quando isso ocorrer a compressão não será centrada e poderia ter deformações não esperadas.



FONTE: Autor

Além das defensas discretas, como a vista acima, há também as contínuas como a mostrada na Figura 66. Se estas forem completamente sólidas, elas terão a vantagem que mesmo se rompendo, fissurando, rachando ou amassando ela não perderia sua função como defesa, porém perderia certa capacidade de distribuir cargas internamente.



FONTE: Autor

Dado as defensas, contínuas e discretas, pode-se argumentar que o uso das mesmas em todo o cais não seria necessário e que haverá uma região que as defensas nunca sofrerão o primeiro contato do navio, o que transmite mais energia, o que é algo possível.

2.5.5. Tempo, materiais e segurança

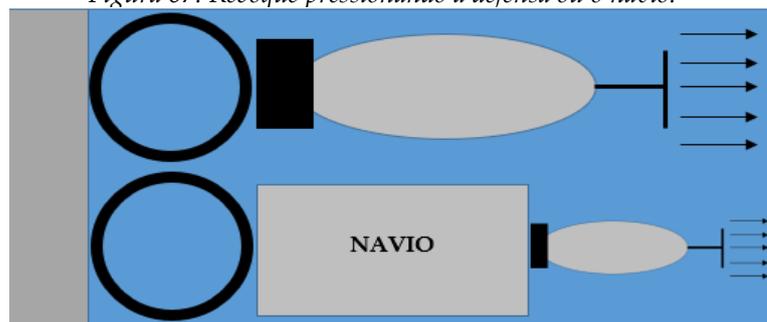
O tempo, tem seu sentido de futuro ou climático, o climático pode sempre mudar e os materiais devem ser capazes de cumprir o seu trabalho de forma segura, seja afundado na água, no gelo ou exposto ao sol ou todos juntos. Em cada situação os materiais podem se comportar de maneira diferente e diminuir a expectativa de vida útil do mesmo.

Já no sentido de futuro, este pode aguardar acidentes, conflitos ou guerras. Caso haja acidentes perto do cais ou no cais, deve ser pensado em como resolver estes acidentes, no caso seria a troca da defesa. Para conflitos e guerras o navio poderia ser o mais afetado, este podendo ser vítima de balas, foguetes ou mísseis, além de piratas que podem atuar mesmo em situações de paz, o interessante para estes casos seria a capacidade do navio se locomover mesmo com danos no casco e, posteriormente, realizar um reparo emergencial. E é claro que além dessas situações citadas poderia se ocorrer fenômenos dos mares, como super ondas, ou outros incidentes dignos de fabulas ou mitologias ou até mesmo dinossauros, muitas vezes contados por pessoas do ramo.

2.5.6. Algo proibido

Uma situação que pode ocorrer é que a defesa/navio possa ser pressionada, enquanto o reboque gasta energia para manter a força, o navio/defesa o fazem sem ter perda aparente de energia, tal ocorrência pode ser observada na Figura 67.

Figura 67. Reboque pressionando a defesa ou o navio.



FONTE: Autor

Dado a situação que um navio de 10.000 kg move-se a $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ou $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, tem-se que ele tem uma quantidade de movimento de $p = 100.000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sendo que na verdade ele é capaz de gerar uma quantia maior pois há as perdas devido à resistência da água e do ar, esta resistência tem certa proporção com a velocidade do navio.

Considerando que o navio atinge a velocidade de 10 m/s em 10 segundos, obtém-se que a força **resultante** média que ele gera é de:

$$I = F * t = p = 100.000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (18)$$

$$F = 10.000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10.000 \text{ N} \quad (19)$$

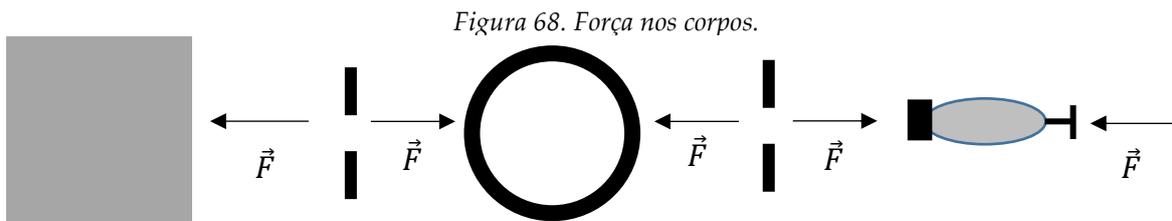
Então, sua potência:

$$P = F \cdot v = 10.000 * 10 \quad (20)$$

$$P = 100.000 \text{ Watts} \quad (21)$$

A potência do navio é algo intrínseco a ele, sendo capaz de gera-la em qualquer situação com o uso de combustível, pelo uso do motor que, por fim, desloca a água e gera uma força.

Analisando a situação, tem-se que o reboque irá encostar na defesa e essa irá se deformar e, depois de certo tempo, encontrar uma posição de equilíbrio de acordo com a potência e se obterá um equilíbrio de forças. Como o reboque não está se movendo, ele não perde energia devido à resistência ao movimento da água e do ar, tendo assim sua força real aplicada. A Figura 68 mostra como a força \vec{F} é aplicada nos corpos, a força gerada pelo deslocamento de água irá comprimir todos os corpos.



FONTE: Autor

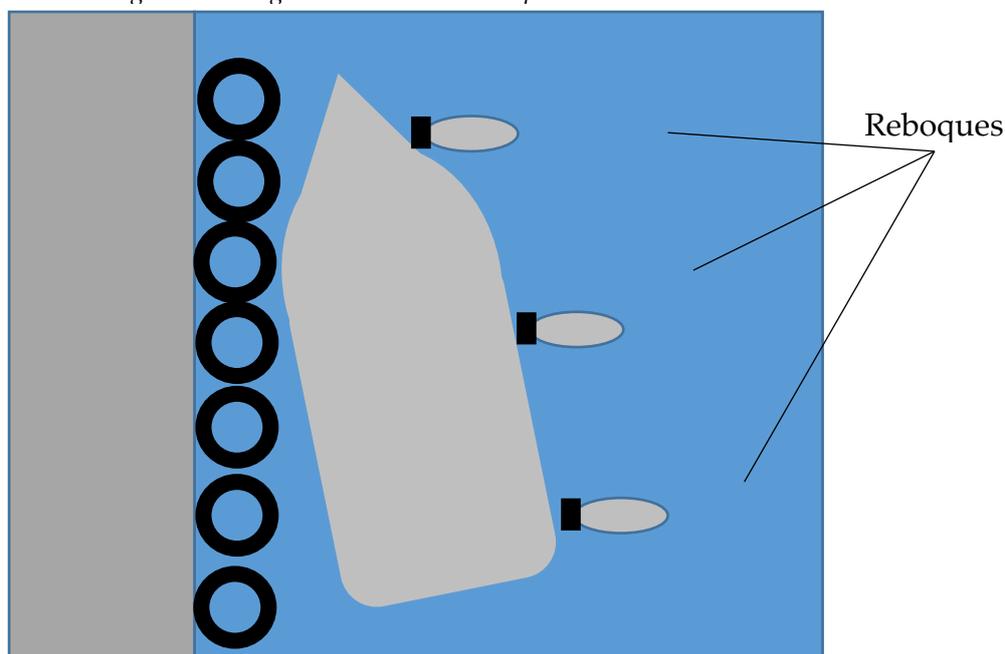
Enquanto o navio e a defesa se movem fica claro que a defesa tem sua potência, na qual ela absorve energia do navio, já no estado de equilíbrio, no qual não

há mais movimento e força resultante, pode-se pensar que a defesa precisará ter uma potência para contrariar o navio e, é claro, que o casco terá de gerar uma potência também para não se deformar. Mas sabe-se que para gerar potência há de ter trabalho, $\tau = F * d$, ou seja, tem que ter movimento. Não há discordância disso, entretanto, o material, seja o da defesa ou do navio, possui energia armazenada, essa energia se dá na forma do engaste molecular (sua energia de ligação química entre moléculas), o mesmo engaste realizado pela solda que gasta energia e eleva os materiais a uma alta temperatura para se reorganizarem. Esse engaste molecular com o tempo será desfeito e as moléculas serão reorganizadas para ficarem em um estado de menor energia. A energia liberada é devida as forças aplicadas pelo navio e as intemperes, este movimento de liberação de energia pelas moléculas pode ser observado na fluência do material que ocorre com o passar do tempo, um processo de decomposição.

3. Metodologia

O dimensionamento se dará para o caso no qual é utilizado o navio reboque, o tugboat, como pode ser visto na Figura 69.

Figura 69. Imagem ilustrativa do reboque encostando o navio.



FONTE: Autor

Como se pode ver na figura acima, o rebocador poderá pressionar a embarcação nas defensas, tanto no primeiro ponto de contato quanto com o navio totalmente encostado. O número de navios reboque utilizado pode variar, podendo ter até mesmo um reboque auxiliando o navio na atracação.

A metodologia seguirá a (PIANC, 2002) e o mestrado de (Leal), e grande parte das informações serão tiradas dos mesmos.

3.1. Energia do Navio

O dimensionamento consiste em achar a combinação de massa e velocidade do navio cuja o valor da energia cinética máxima seja o maior possível.

$$\text{Energia cinética} = E_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad (22)$$

A nomenclatura para a carga que o navio carrega pode se dar em DWT (Dead Weight Tonnage) que é a capacidade em toneladas que a embarcação pode carregar ou GRT (Gross Registred Tonnage) que é uma medida volumétrica equivalente a 100 ft³ ou 2,83 m³. Normalmente GRT se utiliza para os navios: Passenger Ships, Ferry e Gas Carrier, já DWT para: General Cargo Ship, Bulk Carrier, Contêiner Ship, Oil tanker e Ro/Ro Ship. O Quadro 3 tem as correlações aproximadas para cada tipo de navio.

Quadro 3. Relação entre GRT e DWT dos tipos de navio.

General Cargo	GRT= 0,712 DWT	Ro/Ro Ship	GRT= 1,217 DWT
Bulk Carrier	GRT= 0,538 DWT	Passenger Ship	GRT= 7,657 DWT
Contêiner Ship	GRT= 0,880 DWT	Ferry	GRT= 4,490 DWT
Oil Tanker	GRT= 0,553 DWT	Gas Carrier	GRT= 1,185 DWT

FONTE: Adaptado de (PIANC, 2002)

Já para cálculo da massa é utilizado a massa de água que o navio desloca (deslocamento) que deve ser igual ou próximo a sua própria massa (pelo princípio do empuxo), a massa indicada para cálculo é aquela que possui um “confidence” de 95%. No Quadro 4 há os valores máximos por tipo de embarcação considerados no (PIANC, 2002), porém pode se ter valores maiores.

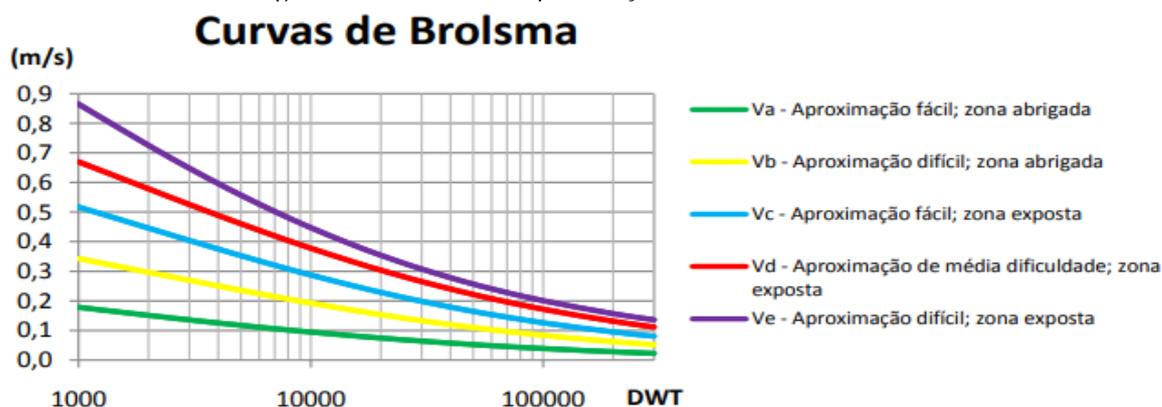
Quadro 4. DWT e Deslocamento máximo a 95% de “confidence”.

Tipo	DWT (t)	Deslocamento (t)	Tipo	DWT(t)	Deslocam. (t)
General Cargo	40.000	59.800	Ro/Ro	30.000	58.800
Bulk Carrier	250	291.000	Passenger	70.000	59.300
Contêiner Ship	60.000	89.400	Ferry	40.000	83.500
Oil Tanker	300.000	418.000	Gas Carrier	100.000	169.000

FONTE: Adaptado de (PIANC, 2002)

Já para a velocidade do navio será considerada apenas quando se há o navio rebocador (tugboat) empurrando o navio cargueiro para ajudar na atracação, casos no qual a embarcação faz a aproximação sozinha não será considerada. A Figura 70 traz indicação para as velocidades para regiões expostas e abrigadas e com seus níveis de dificuldade para aproximação de acordo com seu peso em DWT.

Figura 70. Velocidade de aproximação de acordo com DWT.



FONTE: Retirado de (Leal)

Outra indicação para a velocidade pode ser vista no Quadro 5, no qual a massa é dada em deslocamento e se tem distinções para condições de atracagem, a referência do quadro indica que para navios grandes os valores dados podem ser facilmente excedidos em situações adversas.

Quadro 5. Velocidade de acordo com as condições e o deslocamento.

Vessel displacement in tonnes	Favourable Condition	Moderate Conditions	Unfavourable Conditions
Under 10,000	0.2 - 0.16	0.45-0.30	0.6-0.40
10,000 - 50,000	0.12 - 0.8	0.3-0.15	0.45-0.22
50,000 - 100,000	0.08	0.15	0.20
over 100,000	0.08	0.15	0.20

FONTE: (PIANC, 2002)

No Quadro 6, se tem o resultado dos cálculos de energia cinética para algumas situações, o deslocamento de 291.000 e 418.000 toneladas são referentes a valores máximos indicados anteriormente, que podem estar obsoletos. As velocidades utilizadas foram as maiores indicadas pelo Quadro 5.

Quadro 6. Energia Cinética aproximada para deslocamentos diversos.

Deslocamento (1000kg = 1t)	Energia Cinética kN.m		
	Favorável	Moderada	Infavorável
10000	200	1012,5	1800
50000	360	2250	5062,5
100000	320	1125	2000
200000	640	2250	4000
291000	931,2	3273,75	5820
418000	1337,6	4702,5	8360

Fonte: Adaptado de (PIANC, 2002)

Como foi visto, para muitas situações a energia cinética de barcos menores podem exceder outros maiores, principalmente em situações infavoráveis. Conclui-se então que o dimensionamento mínimo também deve levar em consideração barcos de menor porte. Vale lembrar que a referência cita que as velocidades dadas para barcos grandes podem ser ultrapassadas, então o dimensionamento poderá levar em conta ações de atracagem não recomendadas.

Para o majoramento da energia a (PIANC, 2002) dá uma tabela com diversos coeficientes, porém é avisado que quanto menor for a velocidade de atracagem exigida no porto, maior terá que ser este coeficiente pois o erro seria mais fácil. É recomendado que esses coeficientes fiquem entre 1,1 e 2,0, só excedendo 2,0 em situações excepcionais.

Quadro 7. Coeficiente de impacto para a energia de dimensionamento.

Table No 4.2.5		
Type of Berth Impact	Vessel	Factor for Abnormal Impact Applied to Berthing Energy (Cab)
Tanker and Bulk Cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General Cargo		1.75
Ro-Ro and Ferries		2.0 or higher
Tugs, Work Boats, etc.		2.0

FONTES: (PIANC, 2002)

Percebe-se na tabela que a recomendação para navios do mesmo tipo, mas menores (smallest) possuem um coeficiente maior, talvez isso seja devido a maior facilidade de alterar a velocidade nesses navios de menor massa e dimensão.

3.2. Energia na Defesa

A energia na defesa se dá pela energia do navio reduzida por certas perdas. De uma maneira simplificada ela pode ser descrita da seguinte forma:

$$E_{defensa} = p * E_{navio} \quad (23)$$

Uma fórmula mais completa é fornecida pela PIANC:

$$E_d = \frac{1}{2} m * v^2 * C_e * C_m * C_c * C_s$$

Onde:

$\frac{1}{2} m * v^2$: É a energia do navio;

C_e : Fator de excentricidade, relacionado a geometria do navio e cais e também a rotação do navio;

C_m : Referente a massa de água que se move junto com o navio;

Cc: É sobre a topografia do terreno e por onde a água é capaz de se mover, se a água passa por baixo do cais ou do navio ou outras situações;

Cs: Referente ao ponto de contato do navio com a defesa, onde haverá perda de energia para o casco do navio.

Para fins de simplificação, se considerará que a multiplicação dos coeficientes é igual a 1, logo:

$$C_e * C_m * C_c * C_s = 1 \quad (24)$$

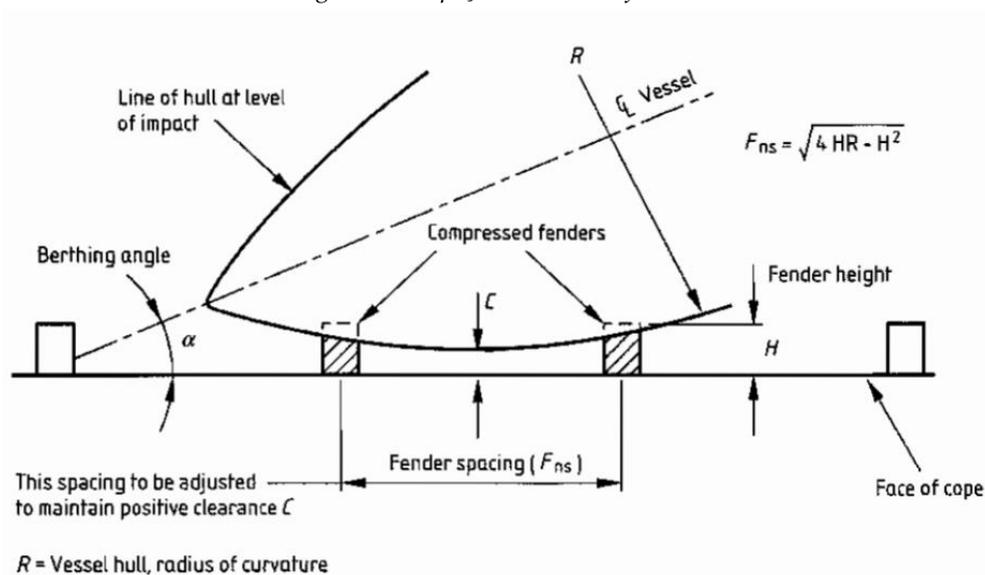
Além disso, a PIANC recomenda ajustar os valores achados pelo fator de velocidade e o fator de temperatura. O fato de velocidade necessita de testes em escala para a defesa com diversas velocidades iniciais a uma certa temperatura, já para o fator de temperatura pede-se o teste em várias; ambos os fatores não serão calculados, porém poderá ser considerado um coeficiente para tais.

E para o dimensionamento será utilizado a energia do navio multiplicado por seu coeficiente de impacto e um coeficiente de segurança relacionado aos fatores citados acima.

3.3. Distância entre as defensas

A distância entre as defensas serve para garantir que o navio sempre tenha contato com pelo menos uma defesa ao tentar atracar, evitando contato com a estrutura feita para a atracagem. A Figura 71 mostra o que é preciso e como achar a distância entre as defensas.

Figura 71. Espaçamento das defensas.



FONTE: (PIANC, 2002)

A fórmula dada é:

$$F_{ns} = \sqrt{4HR - H^2} \quad (25)$$

Tal que:

F_{ns} : Distância de eixo a eixo das defensas;

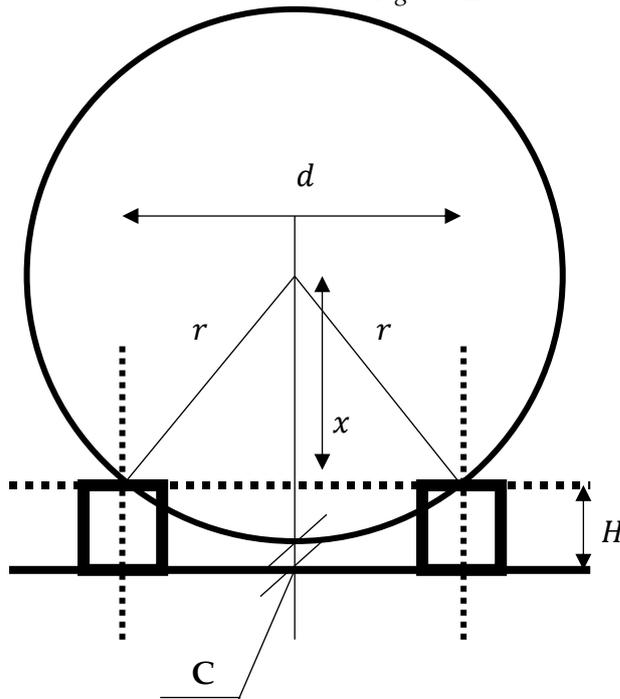
H : Tamanho da defesa, o comprimento dela que está projetado para a água;

R : Raio de curvatura da proa ou popa.

C : Menor distância do navio a estrutura terrestre.

Pode-se pensar nesta distância como a corda de um círculo, visto Figura 72.

Figura 72. Cálculo da distância das defensas.



Se C é igual a H/3

$$r = x + \frac{2H}{3} \rightarrow x = r - \frac{2H}{3}$$

$$r^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 - \frac{4Hr}{3} + \frac{4H^2}{9}$$

$$d = \sqrt{\frac{16Hr}{3} - \frac{16H^2}{9}}$$

$$r^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + x^2$$

$$r = x + H - C$$

A questão é a definição da distância C.

Se C é igual a 0, há um toque no cais:

$$r = x + H \rightarrow x = r - H$$

$$r^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + r^2 - 2rH + H^2$$

$$\frac{d^2}{4} = 2rH - H^2$$

$$d = \sqrt{8rH - 4H^2}$$

Se C é igual a H/2

$$r = x + \frac{H}{2} \rightarrow x = r - \frac{H}{2}$$

$$r^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 - rH + \frac{H^2}{4}$$

$$\frac{d^2}{4} = rH - \frac{H^2}{4}$$

$$d = \sqrt{4rH - H^2}$$

FONTE: Autor

Percebe-se que para o cálculo feito na PIANC a distância C foi de $H/2$, ou seja, a defesa pode se deformar em metade da sua distância. A mesma recomenda que o valor de C seja ajustado de acordo com o necessário. Há de se notar que o ponto de contato considerado pelo navio é no centro das defensas e a distância entre elas e medida pelo seu centro.

Na Tabela 10 tem a fórmula e os coeficientes para o cálculo da distância das defensas com o ajuste de C.

Tabela 10. Distância das defensas com ajuste de C.

C= n*H	Termo A	Termo B
1	0	0
0,9	0,8	-0,04
0,8	1,6	-0,16
0,7	2,4	-0,36
0,6	3,2	-0,64
0,5	4	-1
0,4	4,8	-1,44
0,3	5,6	-1,96
0,2	6,4	-2,56
0,1	7,2	-3,24
0	8	-4

$$d = \sqrt{A * HR + B * H^2}$$

FONTE: Autor

Para C=H obtém o valor de zero (0) pois é uma situação limite e não é válido para a análise. Conforme o valor de C fica menor em relação a H consegue-se valores maiores para o coeficiente até o momento no qual C=0 que seria aquele em que o navio toca no cais, algo não desejável. Ou seja, o termo **n** dado pela tabela é a deformação máxima da defesa em relação ao seu tamanho original. Por exemplo, se a defesa tem 1 metro e ela se deforma 70 centímetros seria necessário escolher um coeficiente **n** maior que 0,7.

Chama-se atenção ao fato de que só foi utilizado a circunferência como guia, enquanto na realidade haveria o navio e o ângulo que este faz, porém se a circunferência encostaria em uma defesa, um navio, que é maior que a circunferência, também encostaria em pelo menos uma defesa.

3.4. Pressão no casco

Para o cálculo da pressão no casco será utilizado os valores dados para cada tipo de navio pela (PIANC, 2002), visto Quadro 8.

Quadro 8. Pressão permitida no casco do navio.

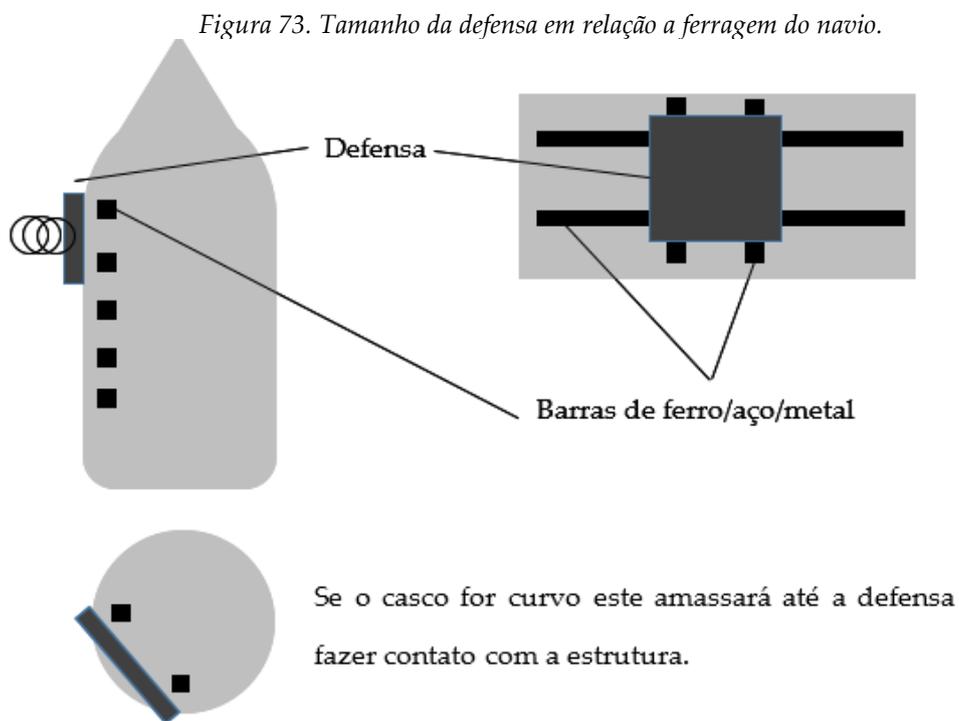
Table 4.4.1. Hull Pressure Guide	
Type of vessel	Hull Pressure kN/m ²
Container vessels 1st and 2nd generation	<400
3rd generation (Panamax)	<300
4th generation	<250
5th and 6th generation (Superpost Panamax)	<200
General cargo vessels	
=/< 20.000 DWT	400-700
> 20.000 DWT 40	<400
Oil tankers	
=/< 60.000 DWT	<300
> 60.000 DWT	<350
VLCC	150-200
Gas carriers (LNG /LPG)	<200
Bulk carriers	<200
SWATH	} these vessels are usually belted
RO-RO vessels	
Passenger Vessels	

FONTE: (PIANC, 2002).

Percebe-se que para navios mais recentes e para navios maiores como “Oil Tankers” e “Bulk carriers” (navios tanque e de granel sólido) há uma recomendação de uma pressão menor do que para os outros navios. Ou seja, navios mais modernos ou aqueles carregam mais cargas são a princípio menos seguros. O navio de passageiros tem uma certa blindagem, algo correto. Se tratando de cascos, o principal pensamento deve ser a colisão de navios e como os navios seriam afetados, esses podem rotacionar (girar), ter seu casco perfurado, afundar ou apenas mudar de caminho ou algo não citado.

Para as defensas, algo que pode ser levado em conta é o espaçamento da estrutura do navio, teria se que no melhor dos casos a defesa ficará apoiada em um polígono fechado, com auxílio da Figura 73 que mostra a defesa e a estrutura do navio, isto pode ser observado. Para se ter uma noção numérica a (PIANC, 2002)

informa que a distância dos ferros na transversal costumava ser de 3,14 metros e agora é de 6,18 metros, já na longitudinal costuma ser de 0,86 a 0,90 metros.



FONTE: Autor

3.5. Precisão do dimensionamento

A questão abordada neste tópico não será sobre os resultados numéricos, estes podem estar corretos ou ser corrigidos por fatores, e sim sobre a utilização do método de energia cinética linear inicial para o cálculo da energia da defesa.

O método de energia cinética linear inicial seria mais adequado para um navio que se move na sua direção de navegação, tendo assim o menor esforço de resistência de água possível, sendo que é o que é entendido ao se ler a fórmula. Além disso, o navio é deslocado com ajuda de um reboque, o que torna a situação um movimento propulsionado, seja pela água, ar ou pelo reboque, o que faz com que a energia não se conserve, porém em problemas de dimensionamento na engenharia é difícil se obter uma análise teórica válida para todos os casos e, talvez, para esse caso, essa abordagem seja o suficiente.

4. Estudo de caso – Porto de Paranaguá

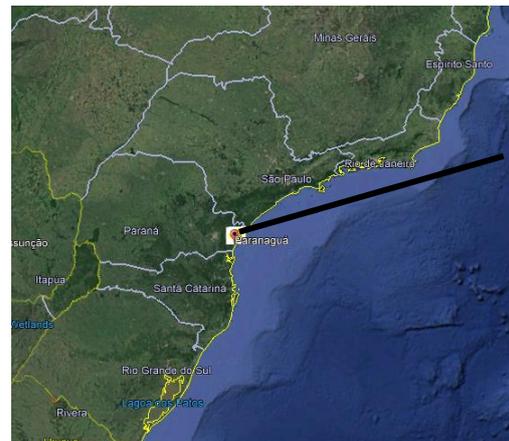
O porto de Paranaguá fica situado no estado do Paraná, na cidade de Paranaguá, sua localização em referência ao resto do Brasil pode ser vista na Figura 74 e na Figura 75.

Figura 74. Localização da cidade de Paranaguá.



Porto de Paranaguá

Figura 75. Porto em relação aos estados próximos



Porto de Paranaguá

FONTE: Adaptado do (Earth)

A cidade de Paranaguá encontra-se junto a sua baía e segundo (Litoral, 2021) o lugar é banhado pela água do mar diretamente, porém percebe-se a alteração da coloração que pode ser a diversos fatores, um deles seria a presença da floresta local e tem entrada de água devido à chuva, pode haver algum que a alimenta, essa alteração é percebida até a costa que dista cerca de vinte (20) quilômetros, medido pelo Google Earth, isso pode ser visualizado na Figura 76.

Figura 76. Cidade de Paranaguá.

Cidade de
Paranaguá



FONTE: Adaptado do (Earth)

A estrutura do porto de Paranaguá pode ser vista na Figura 77, este contém dois píeres e um cais.

Figura 77. Porto de Paranaguá.



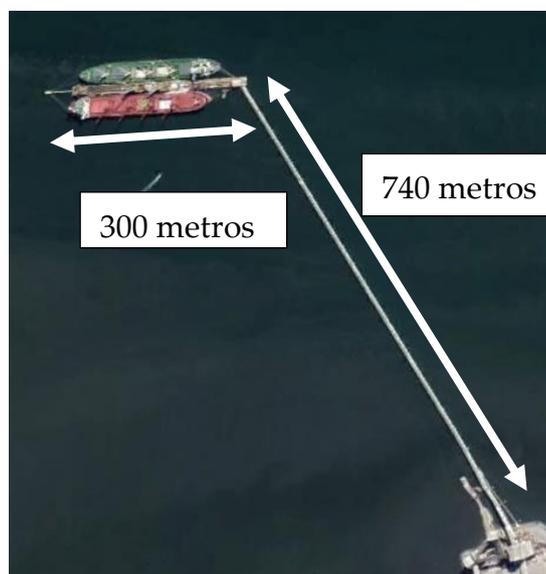
FONTE: (Earth)

A necessidade dos píeres aparenta ser por causa da profundidade da água, já que se pode ver uma coloração diferenciada, indicando presença de terra.

4.1. Análise do cais

O primeiro píer, da esquerda para direita, possui um “finger” que tem espaço para dois navios, seu comprimento é cerca de 300 metros, já o comprimento do píer é de cerca de 740 metros, isso pode ser visto na Figura 78.

Figura 78. Primeiro píer.

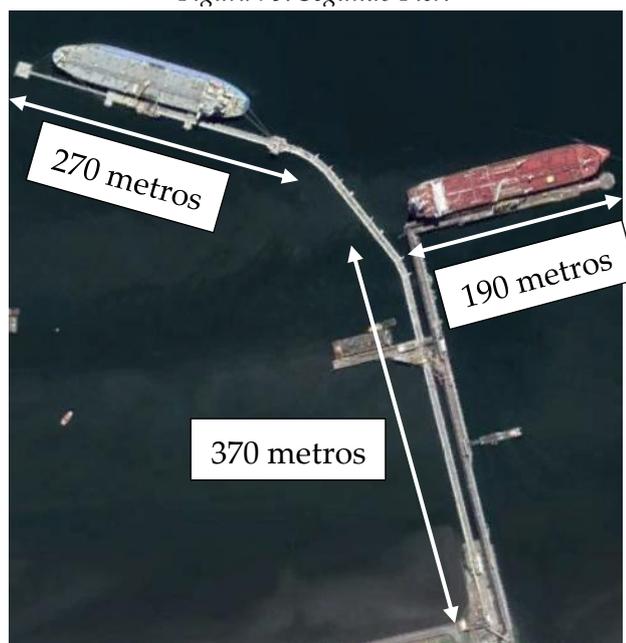


FONTE: Adaptado do (Earth)

Observa-se nesse píer que ele não possui uma infraestrutura muito aparente, pode-se opinar que neste terminal não se atracam navios com contêineres.

Já o segundo píer é na verdade um píer duplo e cada um dá origem a um “finger” onde se atracam navios. Dentre esses dois, o mais à esquerda possui aproximadamente 270 metros e o da direita 190 metros. Isso pode ser visto na Figura 79.

Figura 79. Segundo Píer.



FONTE: Adaptado de (Earth).

Assim como no primeiro píer, este possui uma estrutura que não indica o transporte de contêineres, podendo ser para líquidos, gases ou até mesmo granéis, o último com a utilização de esteiras e os primeiros utilizando dutos, não excluindo outro tipo de transporte não contínuo como caminhões.

A Figura 80 mostra a região abaixo dos píeres, estes numerados pelo número 1 e 2, e percebe-se que perto do píer 1 há o que se parece esteiras e armazéns, já para o píer 2 se percebe a presença de vários tanques e alguns galpões, o indicado pode não revelar a função real de cada píer, somente um palpite. A distância entre os dois píeres é de aproximadamente 600 metros, para se ter uma noção de dimensões.

Figura 80. Estrutura de armazenagem dos píeres.



FONTE: Adaptado de (Earth).

O cais que está mais à direita possui capacidade para vários navios e este possui dois lados consecutivos, um de 1200 metros e outro de 2260 metros, totalizando 3460 metros aproximadamente, isto pode ser visto na Figura 81.

Figura 81. Cais do porto de Paranaguá.



FONTE: Adaptado do (Earth)

Pode ser visto acima que a região mais à direita possui um terminal de contêineres e no resto parece se ter mais armazéns, provavelmente para grãos ou qualquer outra carga, o autor não identificou a presença de tanques para produtos líquidos ou gases, mas eles podem existir.

4.2. Análise das defensas

Nesta parte, dado a qualidade de imagem, as distâncias podem ter um erro percentual significativo.

Começando do píer mais à esquerda, que pode ser visto na Figura 82, suas defensas distam trinta e cinco (35) metros aproximadamente e são instaladas em blocos de concreto projetados para fora do cais, o bloco com aproximadamente 2,5 metros e a defesa com 1,5 metros, totalizando 4 metros de para fora do cais, aproximadamente.

Figura 82. Defensas do píer mais a esquerda.



FONTE: (Earth)

Já para o segundo píer, o “finger” à esquerda possui setenta e cinco (75) metros de distância entre suas defensas mais projetadas, sua defesa mede dois (2) metros e a parte projetada do bloco 5 metros.

Figura 83. Defesa do segundo píer, “finger” à esquerda.

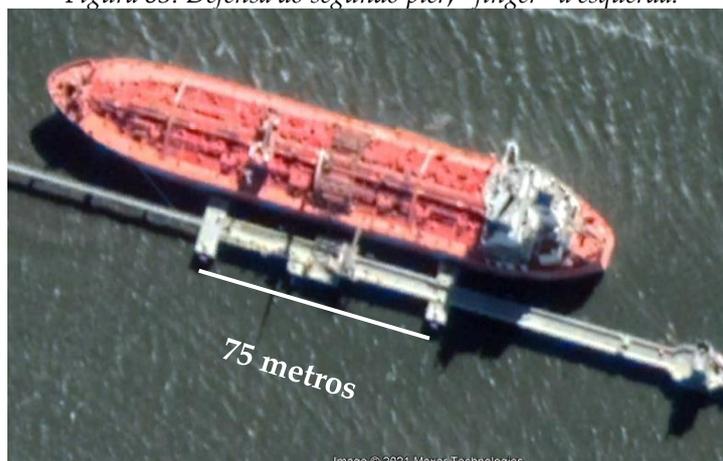


Image © 2021 Maxar Technologies

FONTE: Adaptado de (Earth)

O último “finger”, suas defensas distam cerca de 45 metros entre si, porém o tamanho dela e do bloco não serão medidos dado a confiabilidade da medição.

Figura 84. Defesa do segundo píer, “finger” á direita.



FONTE: (Earth)

Percebe-se a utilização de blocos nos píeres e fingers, estes podem ajudar a aumentar a distância entre as defensas e dar maior rigidez estrutura, entretanto a estrutura deveria resistir aos esforços mesmo sem essa estrutura.

No cais, nele parece que todas as defensas são iguais e igualmente espaçadas, seu espaçamento é de 13 metros e suas defensas possuem 1,4 metros, aproximadamente.

Figura 85. Defensas no cais.



FONTE: (Earth)

Para verificar a distância das defensas, primeiramente, foi verificado os raios dos navios atracados em um dia, para se ter uma noção geral do que se pode encontrar. Essa aferição, não muito precisa, as vezes com mais de vinte (20) metros de diferença para a medição do mesmo navio, pode ser vista na Figura 86, Figura 87, Figura 88, Figura 89, Figura 90, Figura 91 e na Figura 92, já a Tabela 11 contém todos os valores aferidos junto com sua média e mediana.

Figura 86. Raio de 70 metros.



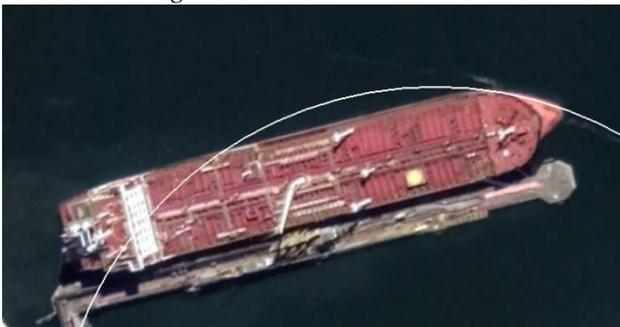
FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 87. Raio de 94 metros.



FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 88. Raio de 140 metros.



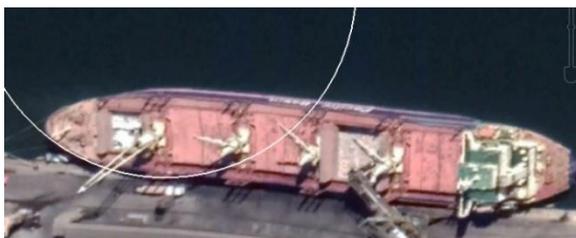
FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 89. Raio de 40 metros.



FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 90. Raio de 65 metros.



FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 91. Raio de 95 metros.



FONTE: Adaptado do (Earth).

Figura 92. Raio de 32 metros.



FONTE: Adaptado do (Earth).

Tabela 11. Média e mediana dos raios.

Raio (m)	
Valores	32
	95
	65
	40
	140
	94
	70
Soma	536
Média	76,57
Mediana	70

FONTE: Autor

Com os dados obtidos, o tamanho da defesa $H = 1,4$ metros e um raio mínimo de 30 metros pode-se utilizar a Tabela 12 para encontrar a distância das defensas.

Tabela 12. Distância das defensas em relação ao R e H com 50% de deformação.

		H=									
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
R=	20	4,0	5,6	6,9	8,0	8,9	9,7	10,5	11,2	11,9	12,5
R=	40	5,7	8,0	9,8	11,3	12,6	13,8	14,9	15,9	16,9	17,8
R=	60	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	16,9	18,3	19,5	20,7	21,8
R=	80	8,0	11,3	13,8	16,0	17,9	19,6	21,1	22,6	23,9	25,2
R=	100	8,9	12,6	15,5	17,9	20,0	21,9	23,6	25,2	26,8	28,2
R=	120	9,8	13,9	17,0	19,6	21,9	24,0	25,9	27,7	29,3	30,9
R=	140	10,6	15,0	18,3	21,2	23,6	25,9	28,0	29,9	31,7	33,4

FONTE: Autor

A distância ficaria entre 10,5 metros e 14,9 metros, considerando uma variação linear:

$$D = \frac{10,5 + 14,9}{2} = 12,7 \text{ metros} \quad (26)$$

Se a defesa se deforma no máximo 50% de seu tamanho, a distância se encontra perto do valor calculado, dado as simplificações dos cálculos e as aferições não tão precisas pode-se dizer que a distância está no limite do estipulado pela metodologia de cálculo.

4.3. Dimensionamento da energia

Para o dimensionamento de energia é necessário identificar a massa e a velocidade dos navios no momento de atracação. A escolha da velocidade é obtida com ajuda do “Quadro 5. Velocidade de acordo com as condições e o deslocamento.” e da “Figura 70. Velocidade de aproximação de acordo com DWT.” e a massa é de acordo com o tipo navio que irá atracar, isso pode ser obtido no “Quadro 4. DWT e Deslocamento máximo a 95% de “confidence”.”.

Com a metodologia e a descrição da região, pode-se indicar que a região do porto é uma zona abrigada pois está a mais de 20 km da costa e de fácil acesso pois, aparentemente, não há nenhum rio principal que alimenta a região, isso tornaria as **condições do local favoráveis a atracagem**. Porém, em caso de chuvas e tempestade, essa realidade pode mudar rapidamente, então para fins de segurança e para momentos de necessidade e desespero, **será considerado a velocidade indicada para situações moderadas** que é igual a $0,15\text{ m/s}$ para navios grandes, $0,30\text{ m/s}$ para navios médios e $0,45\text{ m/s}$ para navios pequenos.

Já para a definição da massa tem que se considerar qual tipo de navio atracaria em cada região do porto, a Figura 93 demarca essas regiões.

Figura 93. Regiões do Porto.



FONTE: Adaptado do (Earth)

Com a descrição referente à “Figura 80. Estrutura de armazenagem dos píeres.” e à “Figura 81. Cais do porto de Paranaguá.” é possível determinar qual barco vai em atracar em cada região. A **primeira e terceira** região terão barcos de **granel sólido** (bulk carrier) que possuem **291.000 toneladas**, já a **segunda** possivelmente terá **navios tanque** (oil tankers) que pesam **418.000 toneladas**, a última região, a **quarta**, é o local das embarcações de **contêineres** que tem o seu deslocamento de **89.400 toneladas**, estes valores são os máximos dados pela (PIANC, 2002) e foram apresentados na metodologia. Os valores máximos foram usados pois o porto é tido como um dos maiores do Brasil.

Os coeficientes de impacto anormal indicado para os navios de granel sólido e tanque grandes é de 1,25 e para o de contêiner grande é de 1,5. Já para o fator de temperatura e de velocidade será adotado o valor de 1,10 para cada, esse sendo adotado pelo autor e sem uma explicação baseada em medições, o autor acha justo o valor para tais coeficientes serem um pouco menor que o coeficiente de impacto, mas é algo que pode ser argumentado contra. Mas vale notar que para a borracha temperaturas baixas demais podem fazê-la se tornara quebradiça, algo que não aconteceria no clima local.

Com todos esses valores, obtém-se a energia de dimensionamento que pode ser visto na Tabela 13.

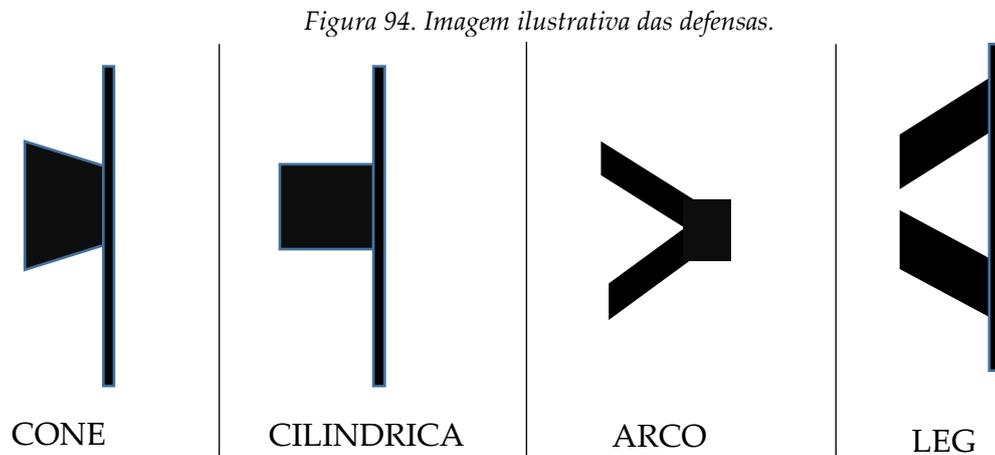
Tabela 13. Cálculo da energia de dimensionamento.

	Granel Sólido	Tanque	Contêiner
Massa (kg)	291.000.000	418.000.000	89.400.000
Velocidade (m/s)	0,15	0,15	0,15
Energia (J)	3.273.750	4.702.500	1.005.750
Impacto Anormal	1,25	1,25	1,5
Fator Velocidade	1,10	1,10	1,10
Fator Temperatura	1,10	1,10	1,10
Energia (J)	4.951.547	7.112.531	1.825.436
Energia (kJ)	4.952	7.113	1.825

FONTE: Autor e alguns dados de (PIANC, 2002).

4.4. Dimensionamento da defesa

Para a escolha das defensas será analisado as defensas tipo: cone, cilíndrica, arco e leg, essas podem ser vistas na Figura 94 e no subcapítulo 2.2.4 Defensas portuárias reais.



FONTE: Autor

Cada tipo de defesa tem uma deformação máxima recomendada e há um intervalo de energia e reação mínima e máxima fornecidos, esses dados podem ser vistos no Quadro 9, Quadro 10, Quadro 11 e no Quadro 12.

Quadro 9. Dados da defesa em cone com painel.

Size	Height	Minimum		Maximum	
		Reaction Force	Energy Absorbed	Reaction Force	Energy Absorbed
		kN	kNm	kN	kNm
70% deflection					
ESC-TCF500	500	170	38	340	80
ESC-TCF600	600	230	76	490	160
ESC-TCF700	700	315	120	660	240
ESC-TCF800	800	410	180	900	370
ESC-TCF900	900	520	260	1100	500
ESC-TCF1000	1000	640	360	1360	680
ESC-TCF1100	1100	820	420	1460	850
ESC-TCF1150	1150	850	540	1800	1050
ESC-TCF1200	1200	910	570	1880	1120
ESC-TCF1300	1300	1150	760	2170	1620
ESC-TCF1400	1400	1170	875	2300	1720
ESC-TCF1600	1600	1450	1260	3080	2470
ESC-TCF1800	1800	1950	1840	3820	3610
ESC-TCF2000	2000	2360	2690	4630	4800

FONTE: (Escpile, 2021)

Quadro 10. Dados da defesa cilíndrica com painel.

Size	Height mm	Minimum		Maximum	
		Reaction Force	Energy Absorbed	Reaction Force	Energy Absorbed
		kN	kNm	kN	kNm
52.5% deflection					
ESC-TCL400	400	52	9	110	19
ESC-TCL500	500	89	18	190	41
ESC-TCL630	630	140	39	300	82
ESC-TCL800	800	215	77	470	166
ESC-TCL1000	1000	355	155	750	330
ESC-TCL1150	1150	470	240	995	500
ESC-TCL1250	1250	555	305	1170	645
ESC-TCL1450	1450	750	475	1585	1005
ESC-TCL1600	1600	915	640	1930	1350
ESC-TCL1700	1700	1030	770	2170	1620
ESC-TCL2000	2000	1430	1250	3000	2640
ESC-TCL2250	2250	2130	2100	4230	4175
ESC-TCL2500	2500	2630	2880	5220	5730
ESC-TCL3000	3000	3750	5000	5800	5600

FONE: (Escpile, 2021)

Quadro 11. Dados da defesa em arco.

Size	Height mm	Minimum		Maximum	
		Reaction Force	Energy Absorbed	Reaction Force	Energy Absorbed
		kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
55% deflection					
ESC-TAR150	150	80	4	180	8
ESC-TAR200	200	105	6	240	14
ESC-TAR250	250	210	18	390	41
ESC-TAR300	300	250	25	460	45
ESC-TAR400	400	335	44	610	79
ESC-TAR500	500	420	67	765	120
ESC-TAR600	600	500	97	915	180
ESC-TAR800	800	670	170	1220	320
ESC-TAR1000	1000	835	270	1530	500

FONTE: (Escpile, 2021)

Quadro 12. Dados da element / leg fender.

Size	Height mm	Minimum		Maximum	
		Reaction Force	Energy Absorbed	Reaction Force	Energy Absorbed
		kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
57.5% deflection					
ESC-TEV300	300	94	11	165	22
ESC-TEV400	400	113	21	220	40
ESC-TEV500	500	140	32	275	62
ESC-TEV550	550	157	40	300	75
ESC-TEV600	600	175	46	330	90
ESC-TEV750	750	212	73	410	140
ESC-TEV800	800	225	83	440	160
ESC-TEV1000	1000	285	130	545	250
ESC-TEV1250	1250	340	185	680	390
ESC-TEV1450	1450	400	255	790	525
ESC-TEV1600	1600	453	335	875	640

FONTE: (Escpile, 2021)

Para fins de dimensionamento, sendo a favor da segurança, será utilizado a energia mínima absorvida (minimum energy absorbed) e a maior força de reação (maximum reaction force), se o seu uso for necessário.

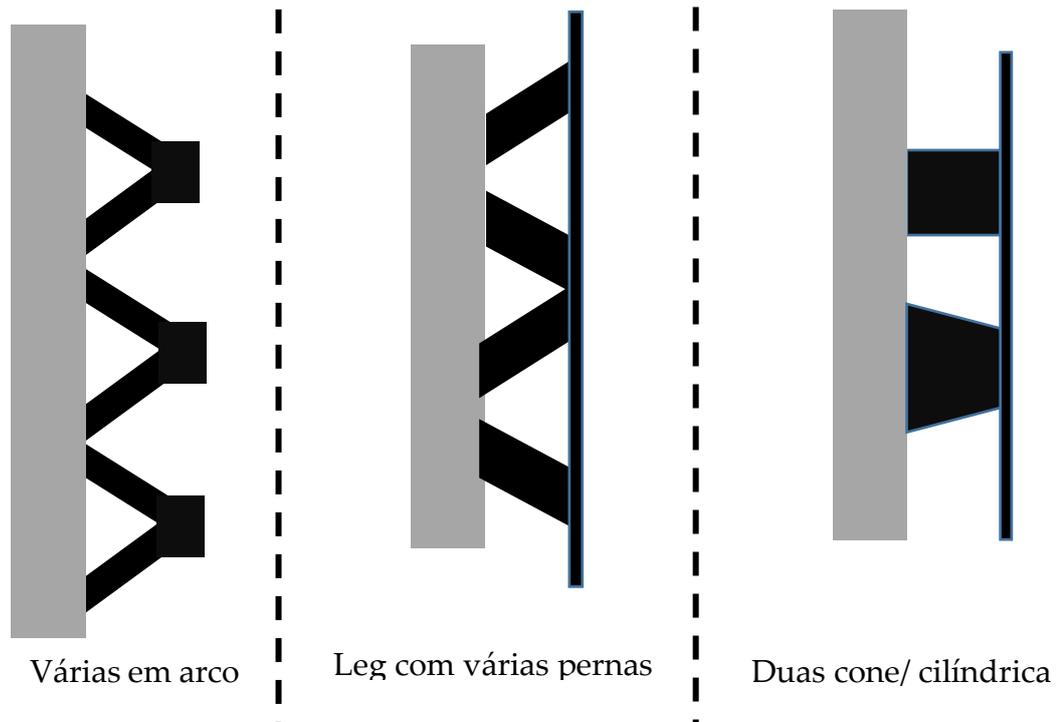
A defesa para o navio de **granel sólido** tem que resistir uma energia maior que 4.952 kJ, usando somente uma defesa existe somente um tipo de defesa cilíndrica (ESC-TCL3000) que suporta 5000 kJ. Utilizando duas defensas existem mais possibilidades, duas defensas de cone (ESC-TCF2000) resistiriam 5.380 kJ e duas defensas cilíndricas (ESC-TCL2500) resistiriam 5.760 kJ. As defensas em arco e a leg fender tem seus valores dados por metro e seus valores são consideravelmente mais baixos, logo não serão utilizados.

Já para o **navio tanque** é necessário de uma defesa que resista 7.113 kJ, com as defensas apresentadas não há nenhuma que resista, utilizando duas defensas cilíndricas (ESC-TCL3000) é obtido 10.000 kJ e isso resolve a inequação.

O **navio contêiner** é o que precisa de uma menor energia, somente algo maior que 1.825 kJ. A defesa em cone (ESC-TCF1800) resiste 1.840 kJ e a defesa cilíndrica (ESC-TCL2250) resiste 2.100 kJ, ambas são capazes de realizar o trabalho.

Para que as defensas em arco fossem utilizadas, de acordo com a metodologia, precisaria da utilização de várias da mesma, já para a leg fender seriam necessárias mais pernas e, conseqüentemente, um painel maior. Já as defensas em cone e cilíndricas podem ser utilizadas isoladamente ou em conjunto, horizontalmente ou verticalmente, visto Figura 95.

Figura 95. Defensas trabalhando juntas.



FONTE: Autor

Caso haja necessidade de cálculo individual do esforço em cada peça, este pode ser feito aproximadamente, tendo que levar em consideração a rigidez dos elementos (placa e defesa) e a região de aplicação da carga, a força aplicada no navio causaria a rotação do mesmo, porém tal cálculo não é necessário visto que tal consideração diminuiria a energia que seria transferida para a defesa.

4.5. Distância das defensas

Para o cálculo da distância, como foi visto na metodologia, será necessário o raio da proa do navio, o tamanho da defesa e o quanto ela pode se deformar.

Para o raio da proa será utilizado 25 metros, sendo esses 5 metros a menos do que o medido no menor dos navios atracados. O tamanho da defesa será de acordo com as escolhidas na tabela, já a deformação será de 70% para as de cone e 52,5% para as cilíndricas.

Enfim, com o raio definido e as deformações definidas, falta somente a altura de cada defesa. Para o cálculo da distância pode se utilizar a “Figura 71. Espaçamento das defensas.”, “Figura 72. Cálculo da distância das defensas.” e a “Tabela 10. Distância das defensas com ajuste de C.” ou as fórmulas abaixo, mesma fórmula que foi usada anteriormente.

$$r^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + x^2 \quad (27)$$

$$x = r - h + ah \quad (28)$$

$$x^2 = r^2 - 2rh + 2ahr - 2ah^2 + h^2 + a^2h^2 \quad (29)$$

$$r^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 + h(-2r + 2ar - 2ah + h + a^2h) \quad (30)$$

$$d = \sqrt{-4h(-2r + 2ar - 2ah + h + a^2h)} \quad (31)$$

A equação para a definição de "x" pode ter a soma de um valor aleatório "C", esse C pode ser uma porcentagem de "H" como foi feito acima, ou o termo " - h + ah" pode ser escrito como "n * H" no qual "n" será a porcentagem de deformação da defesa, como foi utilizado em “Tabela 10. Distância das defensas com ajuste de C.”

$$x = r - nh \quad (32)$$

$$x^2 = r^2 - 2rnh + n^2h^2 \quad (33)$$

$$r^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 - 2rnh + n^2h^2 \quad (34)$$

$$d = \sqrt{8rnh - 4n^2h^2} \quad (35)$$

Com todas as informações anteriores e as que serão apresentadas é possível montar a Tabela 14 que dá como resultando a distância entre a defesa.

Tabela 14. Distância para a defesa em cone e cilíndrica com um raio de 25 metros.

Deformação	Tamanho da defesa (m)				
	1,8	2	2,25	2,5	3
Cilíndrica (52,5%)	13,6	14,3	15,2	16,0	17,5
Cone (70%)	15,7	16,5	17,5	18,4	20,1

FONTE: Autor

4.5.1. Distância para os navios de granel sólido

Para este navio, foi definido uma defesa cilíndrica ESC-TCL 3000 que tem 3,0 metros ou duas cones ESC-TCF2000 que possui 2,0 metros ou duas defensas cilíndricas (ESC-TCL2500) que tem 2,5 metros. A Figura 96 mostra a escolha das distâncias.

Figura 96. Distância das defensas para granel sólido.

Deformação	Tamanho da defesa (m)				
	1,8	2	2,25	2,5	3
Cilíndrica (52,5%)	13,6	14,3	15,2	16,0	17,5
Cone (70%)	15,7	16,5	17,5	18,4	20,1

FONTE: Autor

Para uma cilíndrica é preciso 17,5 metros, para duas cilíndricas é necessário 16,0 metros, já para duas cones é requerido 16,5 metros.

4.5.2. Distância para os navios tanque

Já para esse, foi utilizado duas defensas cilíndricas ESC-TCL 3000 que tem 3,0 metros. A Figura 97 mostra a escolha das distâncias.

Figura 97. Distância das defensas para navio tanque.

Deformação	Tamanho da defesa (m)				
	1,8	2	2,25	2,5	3
Cilíndrica (52,5%)	13,6	14,3	15,2	16,0	17,5
Cone (70%)	15,7	16,5	17,5	18,4	20,1

FONTE: Autor

Será necessário 17,5 metros.

4.5.3. Distância para os navios contêiner

O navio contêiner precisará de uma defesa cone ESC-TCF1800 que tem 1,8 metros ou uma cilíndrica ESC-TCL2250 que tem 2,25 metros. A Figura 98 mostra a escolha das distâncias.

Figura 98. Distância das defensas para navio contêiner.

Deformação	Tamanho da defesa (m)				
	1,8	2	2,25	2,5	3
Cilíndrica (52,5%)	13,6	14,3	15,2	16,0	17,5
Cone (70%)	15,7	16,5	17,5	18,4	20,1

FONTE: Autor

Para a cilíndrica será preciso 15,2 metros e para a cone 15,7 metros.

4.6. Dimensionamento do painel da defesa

As defensas utilizadas e seus respectivos valores de reação máxima podem ser vistos no Quadro 13. Observa-se que a terminação “TCL” vale para defensas cilíndricas e “TCF” para defensas em cone.

Quadro 13. Reação máxima das defensas escolhidas.

TCL 3000	TCL 2500	TCL 2250	TCF 2000	TCF 1800
5800 kN	5220 kN	4230 kN	4630 kN	3820 kN

FONTE: Adaptado de (Escpile, 2021)

Já a pressão máxima permitida no casco para navio contêiner das últimas gerações é de 200 kN/m^2 , para navio tanques pesados é de 350 kN/m^2 e para granel sólido é de 200 kN/m^2 . Com isso temos que a área do painel é igual a $A = F/P$. A área calculada pode ser vista no Quadro 14, já na Tabela 15 há algumas áreas de quadrados para se ter uma noção da dimensão da placa.

Quadro 14. Área do painel.

	TCL 3000	TCL 2500	TCL 2250	TCF 2000	TCF 1800
Granel Sólido	29,0	26,1	21,2	23,2	19,1
Tanque	16,6	14,9	12,1	13,2	10,9
Contâiner	29,0	26,1	21,2	23,2	19,1

FONTE: Autor com dados de terceiros.

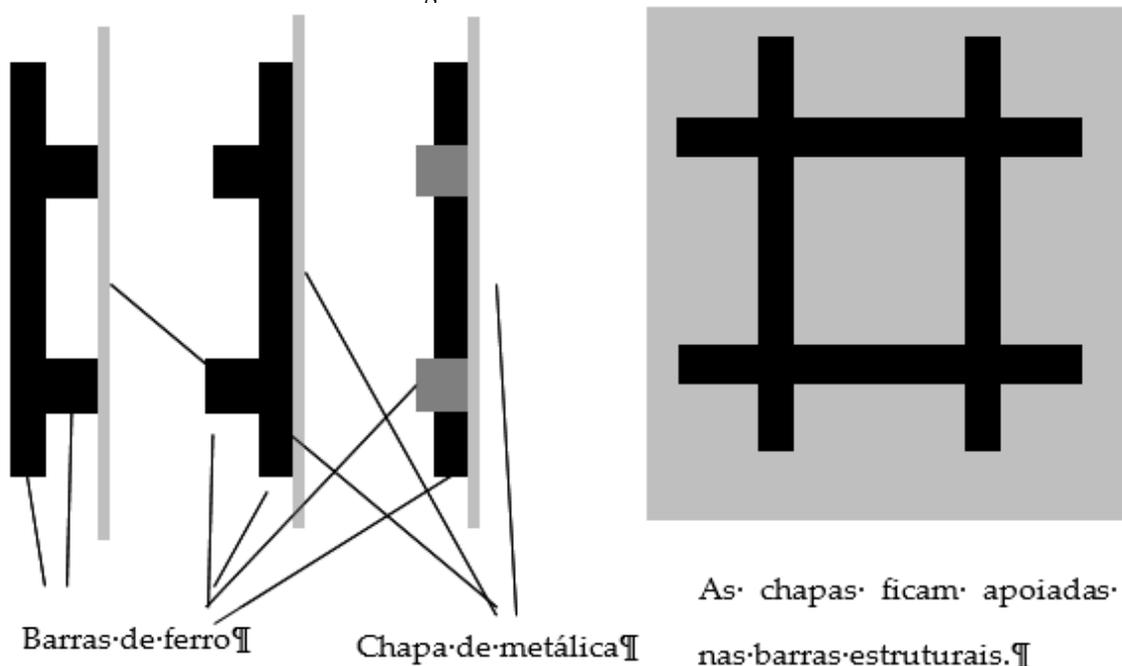
Tabela 15. Área de quadrados.

Lado (m)	Lado ² (m ²)	Lado (m)	Lado ² (m ²)	Lado (m)	Lado ² (m ²)
3,0	9,0	4,0	16,0	5,0	25,0
3,2	10,2	4,2	17,6	5,2	27,0
3,4	11,6	4,4	19,4	5,4	29,2
3,6	13,0	4,6	21,2	5,6	31,4
3,8	14,4	4,8	23,0	5,8	33,6

FONTE: Autor

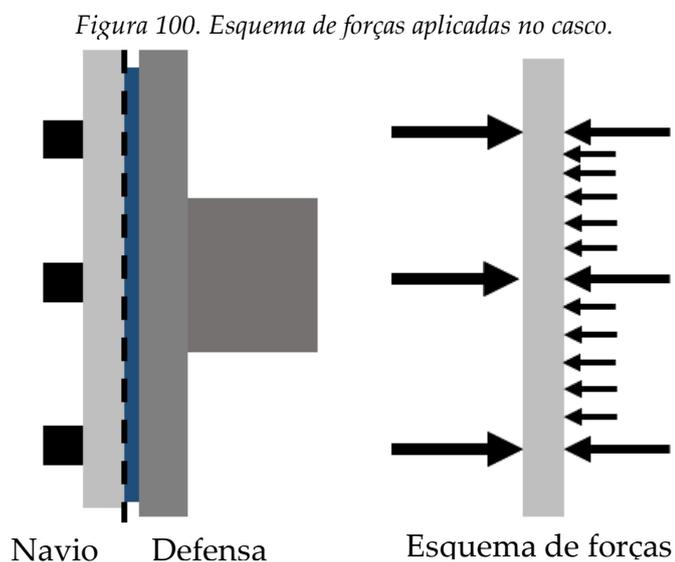
Percebe-se que a placa haveria de ter mais de 3 metros de lado, no caso de navio de granel com a defesa TCL 3000 se teria 5,4 metros de lado, algo não comum e que poderia vir causar outros problemas. Além disso o casco está apoiado na estrutura e devido a isso a força, logo a pressão, é concentrada nessa região, fazendo com que a noção de pressão do casco não seja tão precisa. A Figura 99 mostra o casco a estrutura do navio.

Figura 99. Casco e sua estrutura.



FONTE: Autor

Já a Figura 100 mostra um esquema ilustrativos de como as forças seriam aplicadas no casco. Nota-se que dependendo da espessura e do material da região do ponto de contato ajudará a definir a pressão aplicada na chapa na região não apoiada. Se esta região tiver materiais bem rígidos haverá somente força aplicada nas regiões apoiadas.



FONTE: Autor

O método de cálculo utilizado pode dar valores exagerados, mas é uma linha de pensamento que pode ser viável dado as circunstâncias corretas.

4.7. Cálculo da velocidade e massa máxima

A Tabela 16 contém a velocidade e massa máxima para cada combinação de defesa e navios abordados anteriormente.

Tabela 16. Velocidade e massa máxima.

	Granel Sólido	Tanque	Container
Energia 1 (kJ)	5.000	10.000	1.840
Energia 2 (kJ)	5.380	-	2.100
Energia 3 (kJ)	5.760	-	-
Impacto Anormal	1,25	1,25	1,5
Fator Velocidade	1,10	1,10	1,10
Fator Temperatura	1,10	1,10	1,10
Massa	291.000.000	418.000.000	89.400.000
Velocidade	0,15	0,15	0,15
Massa Máxima 1 (kg)	293.847.567	587.695.133,15	90.113.253,75
Massa Máxima 2 (kg)	316.179.982	-	102.846.648,30
Massa Máxima 3 (kg)	338.512.397	-	-
Velocidade Máxima 1 (m/s)	0,151	0,178	0,151
Velocidade Máxima 2 (m/s)	0,156	-	0,161
Velocidade Máxima 3 (m/s)	0,162	-	-

FONTE: Autor e dados de terceiros.

Foram utilizados os fatores de impacto anormal, velocidade e temperatura nos cálculos. Percebe-se que a massa consegue variar muito mais para pouca diferença de velocidade.

Nota-se que para todos os cálculos feitos até aqui em relação a energia que a defesa suporta e a reação dada pela mesma não consideram a variação do resultado na manufatura que poderia dar um fator de segurança do material, este valor não foi dado pelo fabricante, logo ele é dispensável ou já está embutido nos valores.

5. Conclusão

Os resultados obtidos foram de acordo com a filosofia e metodologia, além dos dados, fornecidos pela PIANC e pelo arbítrio e decisões tomadas que foram apresentadas no texto, também foram utilizados dados sobre defensas fornecidos por uma fabricante que os expunha em seu website. Houve três situações para o dimensionamento, uma para navio de granel sólido, uma para navio tanque e uma para navios de contêiner.

Para o navio de granel sólido, foi calculado uma energia de 4.952 *kJ*, para esta energia pode-se utilizar uma defesa cilíndrica, duas cilíndricas ou duas de cone. Para uma cilíndrica, essa resistindo 5.000 *kJ* e tendo três (3) metros de comprimento e requererá 17,5 metros de espaçamento ou menos. Com duas cilíndricas se obteria um valor resistido de 5.760 *kJ*, essas medindo 2,5 metros e requerendo um espaçamento máximo de 16 metros. As duas de cone suportam 5.380 *kJ* e medem dois (2) metros, com um espaçamento de 16,5 ou menos.

Já para o navio tanque a energia calculada foi de 7.113 *kJ*, sendo requerido duas defensas cilíndricas juntas, cada uma resistindo 5.000 *kJ*, dando um total de 10.000 *kJ*, sendo que cada uma tem três (3) metros o que resultaria em um espaçamento de 17,5 metros de distância ou menos.

Por fim, o navio contêiner teve como energia a quantidade calculada de 1.825 *kJ* que pedirá uma defesa cone ou uma defesa cilíndrica. Há uma defesa em cone que resiste 1840 *kJ* e mede 1,8 metros, isto pediria um espaçamento de 15,7 metros ou menos. Já a defesa cilíndrica resiste 2.100 *kJ*, mede 2,25 metros requer um espaçamento de 15,2 metros ou menos.

Para os cálculos de energia feitos acima foram utilizados dados sobre os navios, velocidade e coeficientes. Para os navios foram utilizadas as embarcações de maior massa em sua função, disponibilizado pela PIANC em 2012. Para a velocidade foi considerado um lugar de fácil atracagem, porém para situações de um nível maior de estresse se escolheu a velocidade de um lugar de atracagem mediana. Já os coeficientes

foram definidos que $C_e * C_m * C_c * C_s = 1,0$. Já o fator de velocidade e o fator de temperatura foram definidos em 1,10 cada sem justificativa forte, o valor escolhido foi dado em relação comparativa ao coeficiente de impacto anormal que possui um valor de 1,25 para o navio de granel sólido e tanque e 1,5 para o navio contêiner, no qual se estimou que os fatores deviam ser menores que os coeficientes citados.

Para próximos trabalhos se recomenda aprofundar nos coeficientes e fatores além disso uma abordagem econômica também é viável, na qual se poderia calcular quanto se paga por joule em cada sistema de defesa ($Joule/R\$$). No fim, cada ponto abordado no trabalho pode ser aprofundado.

Já relativo ao texto, tem-se que um navio que somente gira possui a energia equivalente a $1/3$ de um navio que se desloca por completo, para a velocidade do extremo sendo igual a velocidade do deslocamento. Este fato poderia ser utilizado em algum coeficiente ou no cálculo da energia, porém o resultado final da energia trará como resultado final o tempo de vida útil da defesa, algo que pode ser difícil analisar no presente.

6. Referências bibliográfica

- AB, T. M. (22 de Maio de 2021). *TTS Marine AB Stop Fender test in Port of Karlskrona 170206*. Fonte: Site do Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=Le4czYajpTc>
- AbsolutWreck. (25 de Maio de 2021). *Wooden Marine Fenders*. Fonte: Site do Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=Dd8sesR-Fyk>
- Antwerp, P. o. (24 de Outubro de 2019). *Imagem*. Fonte: Site do Port of Antwerp:
https://www.portofantwerp.com/sites/portofantwerp/files/201605_luchtfoto_-_%C2%AEsachaJennis-12_0.jpg
- Bateaux, S. (23 de Setembro de 2020). *Fender System Yachts*. Fonte: Site do Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=MKkYxTHPBpc>
- BRASIL. (11 de Dezembro de 1997). *Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997*. Fonte: Site do Planalto: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9537.HTM
- Brasil. (24 de Outubro de 2019). *Segurança e Saúde no Trabalho*. Fonte: Site do ENIT:
<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu?view=default>
- BRASIL, M. D. (18 de Setembro de 2019). *NORMAM-02/DPC - NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA EMBARCAÇÕES EMPREGADAS NA NAVEGAÇÃO INTERIOR*. Fonte: Site da Marinha do Brasil:
https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br.dpc/files/NORMAM-02_DPC%20Mod18.pdf
- Construction, K. (23 de Outubro de 2019). *Pouring a concrete boat ramp*. Fonte: Site do YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=Y6NaK3oR3Do>
- Corporation, N. C. (26 de Maio de 2021). *Carrying on the Tradition: Rope Fenders*. Fonte: Site do Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=LGfEBF7vZeY>
- Earth, G. (s.d.).
- Earth, G. (24 de Outubro de 2019). *Marina da Glória. 22°55'5.27"S 43°10'15.86"O*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Earth, G. (24 de Outubro de 2019). Newport. $41^{\circ}29'18.96''N$ $71^{\circ}19'3.90''O$. Newport, Rhodes Island, Estados Unidos da América.

Earth, G. (24 de Outubro de 2019). Porto de Xangai. $31^{\circ}19'38.88''N$ $121^{\circ}39'52.71''L$. Xangai, Yangtze, China.

Escpile. (31 de Maio de 2021). *Marine Fenders*. Fonte: Site da Escpile:

<https://www.escpile.com/marine-fenders>

Gayatin, E. (27 de Maio de 2021). *Yokohama Fenders / STS operation*. Fonte: Site do

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=LM4EUSuv1E4>

Group, C. (23 de Setembro de 2020). *MoorMaster™ automated mooring at a container terminal*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=CZreelrGPng>

Janeiro, R. d. (08 de setembro de 2013). *Licenciamento Ambiental de Estruturas de Apoio Náutico*. Fonte: INEA RJ:

<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde0/~edisp/inea0014273.pdf>

Jerryborg Marine Machinery Co., L. (28 de Maio de 2021). *All Types of Marine Rubber Fender*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=CrVwk1AkQ00>

Leal, M. d. (s.d.). *Dimensionamento de Defensas Marítimas: Aplicação ao caso do terminal portuário Tecondi do porto de Santos, Brasil*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Life, C. (25 de Maio de 2021). *DIY Dock Protector*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=l4Y8b0KUW0Y>

Litoral, F. d. (6 de Maio de 2021). *A Baía de Paranaguá*. Fonte: Site da Folha do Litoral:

<https://folhadolitoral.com.br/instituto-historico-e-geografico-de-paranagua/a-baia-de-paranagua>

Lyod E. Stiffler, J. (1955). *Fender and Fender Systems: A Study of Devices used to protect berthing structures against the impact of ships*. Princeton.

Malaysia, M. (23 de Setembro de 2020). *Marine Fenders*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=OBZLNmvikfA>

Maltman!, D. S. (22 de Maio de 2021). *Sea Doo Fender Installation Kit on 2021 Fish Pro*.

Fonte: Site do Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=13__hOwCO3M

MANAOKAUAI. (24 de Setembro de 2020). *NAWILIWILI HARBOR NEW FENDER SYSTEM II 27 SEPT 2011*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=qx1ZMbG0TzA>

Merlin, L. (11 de Novembro de 2019). Fonte: Site da Leroy Merlin:

<https://www.leroymerlin.com.br/>

Nanjing Deers Industrial Co., L. (22 de Maio de 2021). *The fender system is an indispensable part of the port and the ship*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=4ivfRwM3Urc>

Nanjing Deers Industrial Co., L. (22 de Maio de 2021). *The Singapore client visits the fenders at Jiangyin Port*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=wx7W8ikDpww>

Naval, P. (29 de Fevereiro de 2020). *Glossário - Principais Equipamentos*. Fonte: Site do Portal Naval: <https://portalnaval.com.br/glossario/9/D/#g-D>

PIANC. (2002). *Guidelines for the Design of Fender Systems*. International Navigation Association.

Ramp, H. . (23 de Outubro de 2019). *ROLL-N-GO® PONTOON BOAT RAMP*. Fonte:

Site do Handi - Ramp: <https://www.handiramp.com/product/pontoon-boat-ramp/>

seaworksqatar. (23 de Setembro de 2020). *Doha Port Fenders Project*. Fonte: Site do

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=jnK42YjUMRw>

Seron, A. (25 de Maio de 2021). *TIRES MARINE FENDER / DEFENSA MARINA DE NEUMÁTICOS*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=pD5lRh41yE>

ShibataFenderTeam. (22 de Maio de 2021). *New berth at Frederikshavn Port equipped with SFT Element Fenders*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=5nUMKdqtDXU>

Spellman, F. R. (s.d.). *The Science of Water: Concepts and Applications*. CRC Press.

Temur, B. (23 de Setembro de 2020). *Crashing to fender - Fender avoid to crash to berth*.

Fonte: Site do Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=BttrndqIJ5E>

TrelleborgMarine&Infrastructure. (24 de Setembro de 2020). *End to End Video - Part Three - Fender Manufacture*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=v8l8BOJrAgo>

TV, G. (25 de Maio de 2021). *Ship mooring operation*. Fonte: Site do Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=HRXvhXWF7U4>

Vracking. (25 de Maio de 2021). *Dock or Quay fenders from aircraft tyres*. Fonte: Site da

Vracking-tires: <https://vracking-tires.com/aircraft-tyre-boatfender/389-dock-or-quay-fenders-from-aircraft-tyres.html>