

DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS MARÍTIMAS

Aplicação ao caso do terminal portuário Tecondi do
porto de Santos, Brasil

MIGUEL DE MIRA GODINHO GREGO LEAL

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

Co-Orientador: Professor Doutor Levi Salvi

FEVEREIRO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Auto

Às minhas sobrinhas, minhas irmãs e meus Pais

Não tentes ser bem sucedido, tenta antes ser um homem de valor

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus Pais, pela experiência que me proporcionaram ao permitirem que realizasse este trabalho no Rio de Janeiro, que se revelou um processo de aprendizagem a todos os níveis, e à minha família, pelo interesse que demonstraram pelo trabalho que estive a realizar.

Quero também expressar todo o meu agradecimento ao Professo Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto, pela orientação e pela prontidão com que me ajudou sempre que precisei.

Agradeço também ao Professor Doutor Levi Salvi, pelo acompanhamento, orientação e simpatia enquanto estive no Rio de Janeiro.

Tenho também uma palavra de agradecimento para o Doutor Paulo Jorge Rosa Santos, pelas grande ajuda que me forneceu na fase final desta dissertação.

Agradeço também à Maria Luísa de Melo e Castro Barbosa Girão, toda a ajuda, apoio e paciência durante a realização deste trabalho.

Agradeço por fim aos meus colegas da FEUP e aos meus companheiros de casa durante a minha estadia no Brasil, por todo o apoio e amizade.

RESUMO

No âmbito desta tese foi efectuado o dimensionamento de um sistema de defensas marítimas e elaborada uma ferramenta informática de cálculo para a aplicação ao terminal portuário Tecondi do porto de Santos no Brasil.

Para efectuar o dimensionamento foi necessário compreender o funcionamento das defensas como elemento de dissipação de energia e de protecção dos cais de acostagem e de navios, assim como os factores que intervêm no seu dimensionamento.

Numa primeira abordagem foi feito um resumo e descrição dos principais tipos de defensas e seus critérios de selecção, de forma a entender os principais factores intervenientes num projecto deste tipo. Posteriormente foi efectuado um estudo do método de dimensionamento, avaliando as recomendações da Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), e avaliando também o método definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Numa fase final desta tese foi feita uma breve descrição do porto de Santos e do terminal Tecondi e foi feito o dimensionamento das defensas marítimas para este terminal. O dimensionamento das defensas foi feito também contando com o apoio de uma ferramenta de cálculo automático, elaborada no decorrer deste trabalho, que pode ser utilizada em projectos de dimensionamento de defensas para diversos tipos de cais de acostagem, facilitando o método de cálculo.

PALAVRAS-CHAVE: Defesa, Navio, Cais, Energia, Acostagem

ABSTRACT

As part of this thesis, it was made the design of a marine fender system, also being elaborated a software calculation tool, to apply at the Tecondi terminal of the Santos port in Brazil.

In order to design properly, it was necessary to understand the behavior of fenders, as an energy dissipation and berthing quays protection element, as well as the other factors regarding the design.

On a first approach, it was made a summary and description of the main types of fenders and their selection criteria, as a way to perceive the main factors intervening in this type of project. After this, it was made a study of the design method, evaluating the Permanent International Association of Navigation Congresses(PIANC), also evaluating the method which was defined by the Brazilian Association of Technical Standards.

At a final phase of this thesis it is present a brief description of the Santos port and the Tecondi terminal, and it was done the design of the marine fenders for this case. The fender design was also supported by an automatic calculation tool, developed in this paper, that can be used in similar cases, facilitating the calculation method.

KEYWORDS: Fender, Ship, Quay, Energy, Mooring.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1.INTRODUÇÃO 1

2.DEFENSAS..... 3

2.1. Introdução 3

2.2. Principais fabricantes e diferentes tipos de defensas 4

2.2.1. PRINCIPAIS FABRICANTES DE DEFENSAS..... 4

2.2.2. PRINCIPAIS TIPOS DE DEFENSAS 4

2.2.2.1. Defesa cilíndrica 5

2.2.2.2. Defesa em arco (Tipo V) 6

2.2.2.3. Defesa modular (Tipo PI) 6

2.2.2.4. Defesa de rodas..... 7

2.2.2.5. Defesa cônica..... 8

2.2.2.6. Defesa cilíndrica axial 8

2.2.2.7.Defesa pneumática e de espuma 9

2.3. Critérios de selecção de defensas 10

2.3.1. ESPECIFICAÇÕES DAS EMBARCAÇÕES 10

2.3.1.1. Navios militares 10

2.3.1.2.Navios comerciais..... 11

2.3.1.3. Navios industriais 14

2.3.1.4. Navios auxiliares 15

2.3.1.5. Navios de recreio 15

2.3.2. PRINCIPAIS MODELOS DE NAVIO (TIPOS DE CASCO)..... 16

2.3.2.1. Embarcações com proa arredondada 16

2.3.2.2. Embarcações com cascos com bulbos 17

2.3.2.3. Embarcações com cinto de lastro quadrado ou circular..... 17

2.3.2.4. Embarcações com bordo baixo 18

2.3.2.5. Embarcações com bordo alto..... 18

2.3.2.6. Embarcações com porta na popa 19

2.3.2.7. Embarcações com reservatórios	19
2.3.2.8. Embarcações com saliências	20
2.3.3. TIPOS DE ESTRUTURA DE ACOSTAGEM	20
2.3.3.1. Estrutura de Paramento Fechado - cais de gravidade.....	20
2.3.3.2. Estrutura de Paramento Fechado - Cais em cortina de estacas-prancha	22
2.3.3.3. Estrutura de Paramento Aberto - Duques d'alba de acostagem e amarração.....	23
2.3.3.4. Estrutura de Paramento Aberto - Cais com fundação em estacas	24
2.3.4. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA PORTUÁRIA	25
2.3.5. FACTORES AMBIENTAIS	25
2.3.5.1. Acção do vento.....	26
2.3.5.2. Acção das Correntes.....	27
2.3.5.3. Acção das ondas.....	27
2.3.5.4. Acção das marés.....	29
2.3.6. TIPOS DE ACOSTAGEM	30
2.3.6.1. Acostagem Lateral	30
2.3.6.2. Acostagem com ângulo	31
2.3.6.3. Acostagem pela popa	32
2.3.6.4. Acostagem em duques d'alba.....	33

3.DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS E NORMA BRASILEIRA PARA ACÇÕES

DE ACOSTAGEM	35
3.1. Dimensionamento de defensas	35
3.2. Cálculo de energia de acostagem	36
3.2.1. COEFICIENTE DE MASSA VIRTUAL	37
3.2.2. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE	38
3.2.3. COEFICIENTE DE CONFIGURAÇÃO DO CAIS	40
3.2.4. COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO	41
3.2.5. VELOCIDADE DE ACOSTAGEM	41
3.2.6. FACTOR DE SEGURANÇA	42
3.2.7. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS.....	42
3.2.8. PAINÉIS DE PROTECÇÃO DE DEFENSAS	44
3.3. Norma Brasileira	45
3.3.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS	45

3.3.2. ENERGIA DE ACOSTAGEM.....	45
3.3.3. MASSA DE ÁGUA DESLOCADA PELO NAVIO	46
3.3.4. MASSA DE ÁGUA ADICIONAL	46
3.3.5. VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO DO NAVIO.....	46
3.3.6. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE.....	46
3.3.7. COEFICIENTE DE RIGIDEZ.....	46

4.CASO DE ESTUDO - TERMINAL TECONDI DO

PORTO DE SANTOS

4.1. Terminal Tecondi do porto de Santos

4.1.1. PORTO DE SANTOS.....	47
4.1.2. TERMINAL TECONDI	49
4.1.2.1. Equipamentos de apoio ao terminal.....	51
4.1.2.2. Expansão do terminal.....	52

4.2. Dimensionamento de defensas para o terminal

4.2.1. VELOCIDADE DE ACOSTAGEM.....	54
4.2.2. COEFICIENTE DE MASSA VIRTUAL	54
4.2.3. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE.....	55
4.2.4. COEFICIENTE DE CONFIGURAÇÃO DO CAIS	56
4.2.5. COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO.....	56
4.2.6. FACTOR DE SEGURANÇA.....	56
4.2.7. CÁLCULO DE ENERGIA DE ACOSTAGEM.....	57
4.2.8. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS	58
4.2.8.1. Defensas em cone	59
4.2.8.2. Defensas do tipo PI:.....	60
4.2.8.3. Defensas do tipo V.....	62

4.3. Dimensionamento com recurso a aplicação informática

4.3.1. TIPO DE NAVIO E VELOCIDADE DE ACOSTAGEM.....	63
4.3.2. COEFICIENTES DE CÁLCULO.....	65
4.3.3. FACTOR DE SEGURANÇA.....	66
4.3.4. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS	67
4.3.5. RESULTADOS.....	68
4.3.6. DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS	70

4.4. Comentários Finais	71
--------------------------------------	-----------

5.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
------------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	75
---------------------------	-----------

ANEXOS	
---------------	--

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Exemplo de sistema de defensas cilíndricas.....	5
Figura 2.2 - Exemplo de defesa cilíndrica.....	5
Figura 2.3 - Exemplo de defesa em arco (tipo V).	6
Figura 2.4 - Exemplo de colocação de sistema de defensas em arco.	6
Figura 2.5 - Exemplo de defesa modular (tipo PI).	7
Figura 2.6 - Exemplo de colocação de sistema de defensas modulares.....	7
Figura 2.7 - Exemplo de defesa de rodas num canto exposto de um cais.....	7
Figura 2.8 - Exemplo de uma defesa cônica.....	8
Figura 2.9 - Exemplo de defesa cilíndrica axial.	8
Figura 2.10 - Exemplo de defesa pneumática flutuante	9
Figura 2.11 - Exemplo de defesa pneumática revestida por pneus e correntes	9
Figura 2.12 - Navio Aeródromo São Paulo	11
Figura 2.13 - Exemplo de carga de um navio graneleiro	12
Figura 2.14 - Superpetroleiro "Mont"	12
Figura 2.15 - Navio porta-contentores "Emma Maersk".....	13
Figura 2.16 - Exemplo de um navio plataforma	15
Figura 2.17 - Exemplo de um navio quebra-gelo	15
Figura 2.18 - Exemplo de navio de recreio	16
Figura 2.19 - Exemplos de navios com proa arredondada	17
Figura 2.20 - Embarcação com bulbo na proa.....	17
Figura 2.21 - Embarcações com cinto de lastro.....	18
Figura 2.22 - Embarcações com bordo baixo	18
Figura 2.23 - Navio Ro-Ro com bordo alto	19
Figura 2.24 - Exemplos variados de navios com portas laterais e na popa	19
Figura 2.25 - Embarcação com reservatório.....	20
Figura 2.26 - Exemplos de navios com saliências na popa.....	20
Figura 2.27 - Caixão de betão armado	21
Figura 2.28 - Caixões flutuantes de betão armado no porto de Valência/Espanha	21
Figura 2.29 - Grua a transportar aduela de betão armado no porto de Leixões	22
Figura 2.30 - Cravação de estacas-prancha metálicas.....	22
Figura 2.31 - Representação de um cais do tipo Dinamarquês.....	23
Figura 2.32 - Duques d'alba de acostagem	23
Figura 2.33 - Duques d'alba de acostagem e amarração	23
Figura 2.34 - Estacas cravadas no solo no porto de Leixões	24
Figura 2.35-Camisas metálicas.....	25

Figura 2.36 - Exemplos dos possíveis danos causados no cais de acostagem e no navio devido à acção do vento	26
Figura 2.37 - Paramento acostável do novo terminal multiusos do porto de Leixões, em blocos NOREF.....	28
Figura 2.38 - Registo de ondas obtido através de bóia ondógrafo ao largo do porto de Leixões	29
Figura 2.39 – Variação significativa do nível de marés entre a baixa-mar e a preia-mar.....	29
Figura 2.40 - Mapa de variação de marés no porto de Santos entre o dia 1/11/2010 e o dia 13/11/2010.....	30
Figura 2.41 - Exemplo de acostagem lateral.....	30
Figura 2.42 - Exemplo de acostagem com ângulo	31
Figura 2.43 - Exemplo de danos provocados por uma colisão frontal de um navio com o cais no porto de Oakland nos Estados Unidos da América.....	32
Figura 2.44 - Grande ruptura no casco após colisão frontal de um navio com o cais de acostagem ..	32
Figura 2.45 - Esquema de acostagem pela popa	33
Figura 2.46 - Esquema de acostagem em duques d'alba.....	33
Figura 3.1 - Esquema de acostagem e valores necessários para a determinação do coeficiente de excentricidade.....	38
Figura 3.2 - Tabela de Brolsma para a determinação da velocidade de acostagem de um navio	41
Figura 3.3 - Esquema pormenorizado de acostagem, com definição dos valores necessários para o cálculo do espaçamento entre as defensas	43
Figura 4.1 - Localização do porto de Santos no litoral Brasileiro	47
Figura 4.2 - Vista por satélite da Barra do porto de Santos	48
Figura 4.3 - Localização dos principais troços de navegação do porto de Santos	49
Figura 4.4 - Localização do terminal Tecondi no porto de Santos.....	50
Figura 4.5 - Terminal Tecondi e zona de ampliação do cais.....	50
Figura 4.6 - Instalações para a colocação de contentores refrigerados	51
Figura 4.7 - Guindaste móvel Fantuzzi-Reggiane e spreader BROMMA	51
Figura 4.8 - Reach-Stacker CVS-Ferrari	52
Figura 4.9 - Cravação de estacas e execução dos trabalhos para a expansão do terminal Tecondi ..	52
Figura 4.10 - Fundação em estacas e parte da nova plataforma do terminal Tecondi.....	52
Figura 4.11 - Planta do projecto de expansão do terminal Tecondi.....	53
Figura 4.12 - Determinação da velocidade de acostagem através das curvas de Brolsma	54
Figura 4.13 - Esquema de excentricidade de aproximação	55
Figura 4.14 - Características e dimensões de referência de defensas do tipo cone	59
Figura 4.15 - Curva de energia-deformação das defensas tipo cone	60
Figura 4.16 - Características e dimensões de referência das defensas do tipo PI.....	60
Figura 4.17 - Curva de energia-deformação de defensas do tipo PI	61
Figura 4.18 - Características e dimensões de referência de defensas do tipo V	62

Figura 4.19 - Curva de energia-deformação de defensas do tipo V	63
Figura 4.20 - Valores intervenientes no dimensionamento de defensas	69

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Classificação de navios graneleiros quanto ao material transportado	11
Quadro 2.2 - Classificação de navios graneleiros quanto ao porte	12
Quadro 2.3 - Classificação dos navios petroleiros quanto ao porte	13
Quadro 2.4 - Classificação dos navios porta-contentores quanto à carga (TEU's)	14
Quadro 2.5 - Valores de referência para navios porta-contentores	14
Quadro 3.1 - Valores do coeficiente de bloco segundo as British Standards e PIANC.....	38
Quadro 3.2 - Valores de coeficiente de configuração do cais para as situações mais comuns.....	40
Quadro 3.3 - Factores de segurança definidos pela PIANC	42
Quadro 3.4 - Pressões admissíveis para cascos de navios porta-contentores	44
Quadro 4.1 - Principais medidas do navio de projecto	53
Quadro 4.2 - Valores de referência do coeficiente de configuração do cais	56
Quadro 4.3 - Valores do factor de segurança definidos pela PIANC.....	57
Quadro 4.4 - Valores necessários para ao cálculo da energia cinética.....	57
Quadro 4.5 - Características físicas das defensas do tipo cone.....	59
Quadro 4.6 - Características mecânicas das defensas do tipo cone.....	59
Quadro 4.7 - Características físicas das defensas do tipo PI	61
Quadro 4.8 - Características mecânicas das defensas do tipo PI	61
Quadro 4.9 - Características físicas das defensas do tipo V	62
Quadro 4.10 - Características mecânicas das defensas do tipo V	62
Quadro 4.11-Tabela de selecção do tipo de navio para o dimensionamento	64
Quadro 4.12 -Tabela de selecção da velocidade de acostagem.....	64
Quadro 4.13 - Definição das velocidades de acostagem para os principais casos.....	64
Quadro 4.14 - Definição dos vários valores possíveis de coeficiente de bloco	65
Quadro 4.15 - Coeficiente de massa virtual	65
Quadro 4.16 - Coeficiente de excentricidade	66
Quadro 4.17 - Coeficiente de configuração do cais	66
Quadro 4.18 - Coeficiente de amortecimento	66
Quadro 4.19 - Factor de segurança	67
Quadro 4.20 - Raio de proa do navio	67
Quadro 4.21 - Espaçamento entre defensas	68
Quadro 4.22-Resultados do dimensionamento de defensas	69
Quadro 4.23 - Resultados do dimensionamento para defensas cone	70
Quadro 4.24 - Resultados do dimensionamento para defensas do tipo V	70

Quadro 4.25 - Resultados do dimensionamento para defensas do tipo PI.....	70
---	----

Símbolos e abreviaturas

A - Área sujeita à acção do vento (m^2)

a - Distância entre o centro de gravidade do navio e o ponto de impacto, medido ao longo do eixo deste (m)

α - Ângulo de acostagem (graus)

γ - Ângulo de excentricidade (graus)

B - Boca do navio (m)

C - Calado do navio (m)

C' - Distância entre o casco do navio e a estrutura de acostagem quando a defesa se encontra comprimida (m)

C_m - Coeficiente de massa virtual

C_c - Coeficiente de configuração do cais

C_a - Coeficiente de amortecimento

C_e - Coeficiente de excentricidade

C_b - Coeficiente de bloco

C_d - Coeficiente de arrasto

D - Profundidade (m)

δ_F - Deflexão da defesa quando comprimida (m)

E_A - Energia de acostagem do navio (kNm)

E_D - Energia transmitida a cada defesa (kNm)

F_s - Factor de segurança

F - Acção do vento (kN)

g - Aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)

H - Altura do painel (m)

K - Raio de giração do navio

K_c - Folga soba quilha do navio (m)

L - Comprimento total do navio (m)

L_{BP} - Comprimento entre perpendiculares do navio (m)

ρ_a - Peso específico do ar (kg/m^3)

P - Pressão transmitida ao casco do navio (kN/m^2)

P_U - Projecção em planta da defesa e painel de protecção (m)

R - Distância entre centro de gravidade do navio e ponto de impacto (m)

R_B - Raio de proa do navio (m)

R' - Reacção transmitida ao casco do navio (kN)

S - Espaçamento entre defensas (m)

u - Velocidade do vento (m/s)

V_A - Velocidade de acostagem (m/s)

W - Peso do navio (kN)

W' - Largura do painel (m)

PIANC- Permanent International Association of Navigation Congresses

BS.- British Standards

TEU - “Twenty-Foot Equivalent Unit”(Unidade de dimensão dos contentores de transporte, que geralmente têm 20 pés de comprimento, por 8 de largura e 8 de altura)

DWT - “Deadweight tonnage”(Tonelagem de porte bruto de um navio)

Ro-Ro - “Roll on-Roll off”

OBO - “Ore, Bulk, Oil” (Classificação dos graneleiros que transportam minérios, derivados do petróleo e graneis variados)

OO - “Ore, Oil”(Classificação dos navios graneleiros que transportam minérios e derivados do petróleo)

VLCC - “Very large crude carrier”

ULCC - “Ultra large crude carrier”

UHMW-PE - Polietileno de peso molecular ultra elevado

1

INTRODUÇÃO

As defensas marítimas requerem um dimensionamento específico, que tem de ser feito de forma diferente para cada caso. As diferenças entre cada estrutura de acostagem, assim como a sua localização e o tipo de navio que irá atracar em cada estrutura, definem o método de cálculo. Dessa maneira, o objectivo desta tese é demonstrar o método de dimensionamento, de forma a que este possa servir como base de cálculo para trabalhos semelhantes. Foi também desenvolvida uma ferramenta informática de cálculo automático, que permite executar o dimensionamento de um determinado sistema de defensas através do conhecimento das características dos cais e do navio tipo que efectua a acostagem no cais estudado.

Outro dos principais objectivos deste trabalho é a possibilidade de aplicar este método de dimensionamento a um caso real, neste caso foi estudado o terminal de contentores Tecondi do porto de Santos, no estado de São Paulo, Brasil.

No 2º capítulo deste trabalho é feita uma descrição das defensas enquanto equipamento de protecção de cais de acostagem e de navios e também dos principais tipos de defensas que são produzidos hoje em dia. Neste capítulo foram também definidos os principais critérios de selecção que intervêm no método de dimensionamento estudado.

No 3º capítulo é explicado o método de dimensionamento que foi posto em prática. Nesta parte do trabalho são estudados os principais coeficientes que afectam o resultado, assim como a definição da velocidade de acostagem dos navios para os quais é feito o dimensionamento. Uma vez que o terminal em estudo se situa num porto Brasileiro, é também estudada a norma Brasileira para acções em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais (NBR 9782) da associação Brasileira de normas técnicas.

O 4º capítulo inicia-se com uma descrição do porto de Santos e do terminal Tecondi, servindo como ponto de partida para a explicação do dimensionamento de defensas para este terminal, definindo numa primeira abordagem os coeficientes de cálculo e critérios utilizados para os definir e a velocidade de acostagem. Neste capítulo fica definida a escolha do tipo de defesa, assim como o seu espaçamento no cais de acostagem. É ainda demonstrado neste capítulo o funcionamento da ferramenta de cálculo automático e os resultados do dimensionamento através da utilização desta.

O 5º capítulo, de considerações finais, é uma abordagem de uma forma geral às dificuldades sentidas e também daquilo que foi aprendido durante a realização desta tese. Neste capítulo são também descritas algumas conclusões que foram tomadas no decorrer do trabalho.

Embora o método de dimensionamento estudado neste trabalho não assente em equações ou fórmulas de dificuldade acrescida, a definição dos valores que devem ser utilizados no cálculo pode ter variadas interpretações. Objectivamente procura-se que esta dissertação seja também uma compilação dos principais factores intervenientes no método, recorrendo para isso ao estudo das principais normas internacionais e à opinião dos principais fabricantes de defensas.

2

DEFENSAS

2.1. INTRODUÇÃO

As defensas marítimas são uma parte integrante e de importância preponderante das instalações portuárias. Os sistemas de defensas são a primeira fronteira entre um navio e a estrutura de acostagem.

Existem vários tipos de defensas, tais como as defensas de madeira, defensas gravíticas, defensas hidráulicas e defensas de borracha. Os diferentes tipos de defesa funcionam de formas distintas, e dissipam energia de diferentes maneiras. Enquanto as defensas de borracha dissipam a energia através de deformação elástica, as defensas hidráulicas dissipam energia sob a forma de calor. As defensas gravíticas dissipam a energia cinética do impacto através de forças gravíticas. As defensas de madeira apesar de estarem a cair em desuso e de serem gradualmente substituídas por soluções mais modernas, são uma solução bastante económica e podem ser utilizadas em locais onde as condições o permitam, [8]. Hoje em dia, com os avanços tecnológicos, vão sendo concebidos novos tipos de defensas, no entanto as defensas de borracha são as mais utilizadas, pelo que são o tipo de defesa estudado neste trabalho.

Estes elementos garantem não só a segurança dos navios que atracam nos portos, como das próprias estruturas portuárias, uma vez que permitem que a grande energia com que os navios se deslocam e fazem o processo de acostagem, seja quase totalmente dissipado. As defensas são elementos presentes em portos e marinas, assim como instalações privadas, militares e comerciais, tanto marítimas, fluviais ou lacustres.

Os pilares de pontes, assim como os pilares de fundação de plataformas petrolíferas, uma vez que podem estar sujeitas à acostagem e choque de navios, podem também estar equipadas com sistemas de defensas.

O estudo prévio de dimensionamento de um sistema de defensas deve obedecer a vários critérios de cálculo, que permitam uma selecção criteriosa tanto do sistema como do tipo de defensas mais adequado a ser colocado. O fabricante de defensas deve também ser criteriosamente escolhido, uma vez que cada fabricante pode produzir um tipo diferente de material, e dessa forma ser mais adequado ao cais em questão, tanto pela capacidade e comportamento do sistema como também por motivos orçamentais, [12].

As condições das defensas aplicadas devem ser verificadas ao longo da sua vida útil, uma vez que estas podem ser desgastadas por diversos factores, tais como o clima, o tipo de sistema e a frequência e gama de navios que o utilizam. As inspecções devem ser feitas regularmente, de forma a detectar falhas no sistema que possam causar problemas graves ao funcionamento normal dos portos e dos cais em questão, [12].

Os diferentes tipos de cais podem ter tipos diferentes de defensas, uma vez que a aplicação destas depende essencialmente do tipo predominante de carga que é descarregado. Por exemplo, um cais “Ro-Ro” deverá ter um sistema de defensas diferente de um cais de pesca. Isto acontece porque a

energia cinética transportada pelo navio depende não só da sua velocidade de aproximação, mas também do seu deslocamento, ou massa, como se verá mais à frente, [11].

2.2. PRINCIPAIS FABRICANTES E DIFERENTES TIPOS DE DEFENSAS

2.2.1. PRINCIPAIS FABRICANTES DE DEFENSAS

Existem espalhados pelo Mundo um grande número de fabricantes de defensas, sendo que alguns têm maior expressão no volume de produção e de vendas do que outros. Estas empresas estão principalmente concentradas na Europa, Ásia (China e Japão) e América (principalmente E.U.A e Brasil).

Algumas das principais empresas fabricantes de defensas são:

- ANDINO (BRASIL/MINAS GERAIS)
- COPABO (BRASIL/SÃO PAULO)
- TRELLEBORG (SUÉCIA)
- MARITIME INTERNATIONAL (E.U.A.)
- YANTAI TAIHONG RUBBER CO. LTD (CHINA)
- IRM OFFSHORE & MARINE ENGINEERS PVT. LTD. (INDIA)
- BATTLE MARINE, LTD. (REINO UNIDO)
- DOCKGUARD (REINO UNIDO)
- DURAMAX MARINE LLC. (E.U.A. E CANADÁ)
- FENDER CARE MARINE SOLUTIONS (REINO UNIDO)
- KATRADIS MARINE ROPES S.A. (GRÉCIA)
- MARINE FENDERS INTERNATIONAL (E.U.A)
- JIANGSU SANHUI MACHINERY CO., LTD (CHINA)

2.2.2. PRINCIPAIS TIPOS DE DEFENSAS DE BORRACHA

O tipo de defesa difere de acordo com o fabricante, tanto na forma como na capacidade de absorção de energia. Por outro lado podem-se enumerar alguns tipos de defensas que são produzidos por quase todos os fabricantes anteriormente mencionados:

- Defesa cilíndrica;
- Defesa em arco (Tipo V);
- Defesa modular (Tipo PI);
- Defesa de rodas;
- Defesa cônica;
- Defesa cilíndrica axial;
- Defesa pneumática e de espuma.

As duas últimas são defensas utilizadas preferencialmente em transferências entre navios em mar aberto, ou como defensas móveis, utilizadas em portos.

Geralmente admite-se que um porto de pesca não necessita de ter um sistema de defensas demasiado sofisticado uma vez que estes navios por não terem uma grande tonelagem, não possuem uma grande energia cinética. Por outro lado, projectar um sistema de defensas para um terminal “Roll on-Roll off” ou para um terminal petroleiro apresenta um maior desafio, devido à enorme massa deste tipo de navios e à maior energia cinética com que estes se podem deslocar. No caso da acostagem dos navios ser feita em duques d'alba ou no caso de protecção de pilares de ponte é necessário avaliar não só a capacidade de absorção de energia do sistema de defensas como a sua forma de colocação, ou seja, as dimensões e a capacidade de colocar as defensas em diferentes orientações deve ser avaliada, [11].

No caso do cais em questão ser um cais multi-função a escolha do sistema de defensas a ser colocado torna-se ainda mais complicada, uma vez que existem navios de transporte de vários tipos de carga a acostar e o equipamento fica sujeito a vários ciclos de carga e descarga de diferentes gamas de energia. Nestes casos têm também de ser feitas inspeções periódicas ao material uma vez que a acostagem de vários tipos de navios faz com que ocorra um grande desgaste, [12].

As figuras a seguir apresentadas foram retiradas dos sites da Internet das empresas Trelleborg e da Maritime International.

2.2.2.1. DEFENSA CILÍNDRICA

As defensas cilíndricas, como as representadas na Figura 2.1 e Figura 2.2, são fáceis de instalar uma vez que não têm de estar totalmente fixas ao paramento do cais, podendo estar suspensas por uma corrente. A facilidade de instalação faz com que as defensas cilíndricas apresentem grande versatilidade, sendo por isso ideais para a colocação em locais de difícil instalação, ou áreas onde não seja possível colocar defensas com sistemas de apoio que ocupem muito espaço. Na Figura 2.1 observa-se que o sistema de fixação da defesa ao cais assenta em apenas dois pontos, onde terá de ser presa a corrente de apoio, não ocupando assim muito espaço no paramento do cais.



Figura 2.1 - Exemplo de sistema de defensas cilíndricas.

A simplicidade da sua colocação, assim como a facilidade da sua manutenção, faz com que estes sistemas sejam uma solução muito boa do ponto de vista orçamental.



Figura 2.2 - Exemplo de defesa cilíndrica.

Este tipo de defensas apresenta uma grande capacidade de deformação, tornando-as assim ideais para a colocação em terminais graneleiros, de pesca, carga geral, Ro-Ro e ainda cais para navios rebocadores.

2.2.2.2. DEFENSA EM ARCO (TIPO V)

As defensas em arco podem ser instaladas com qualquer orientação, como se pode verificar observando a Figura 2.3 e 2.4, sendo mais usualmente utilizadas com o seu eixo na vertical. Estas podem ser utilizadas para uma grande variedade de navios, sendo especialmente indicadas para embarcações que apresentam uma boa capacidade de deformação no casco.



Figura 2.3 - Exemplo de defesa em arco (tipo V).



Figura 2.4 - Exemplo de colocação de sistema de defensas em arco.

Estes equipamentos apresentam uma grande resistência ao corte, podendo ainda funcionar em conjunto com uma placa de metal, fazendo com que a pressão da acostagem seja distribuída por uma maior área.

Estas defensas são de funcionamento simples e são principalmente apropriadas para a acostagem de navios Ro-Ro, carga geral, navios auxiliares, barcas e rebocadores.

2.2.2.3. DEFENSA MODULAR (TIPO PI)

As defensas modulares são peças de fácil manutenção e colocação. Podem apresentar variadas configurações de instalação.

São elementos de alto desempenho, uma vez que são constituídos por elementos individuais e são recomendados para espaços limitados de instalação. Nas Figuras 2.5 e 2.6 podem ser observados dois exemplos da possível colocação deste tipo de defensas em cais de acostagem.



Figura 2.5 - Exemplo de defesa modular (tipo PI).



Figura 2.6 - Exemplo de colocação de sistema de defensas modulares.

Este tipo de sistemas devido ao seu elevado desempenho, são aplicáveis em terminais de contentores e terminais graneleiros, assim como a duques d'alba de acostagem, plataformas offshore, cais de carga geral e navios de cruzeiro.

2.2.2.4. DEFENSA DE RODAS

As defensas de rodas são essencialmente utilizadas não para minimizar as reacções no cais mas para conduzir os navios em zonas estreitas, geralmente em direcção a docas secas ou eclusas. Este tipo de defesa apresenta geralmente uma baixa resistência à compressão, pelo que a sua principal função não é a de protecção para as acções de acostagem, mas devido à sua muito baixa resistência à rotação tem grande utilidade em zonas de manobras difíceis.

As defensas de rodas são usualmente instaladas em pontos mais expostos dos portos. Na Figura 2.7 está demonstrado um exemplo de uma defesa de rodas, colocada para auxiliar as manobras de mudança de direcção de um navio numa zona exposta.



Figura 2.7 - Exemplo de defesa de rodas num canto exposto de um cais

2.2.2.5. DEFENSA CÓNICA

As defensas cónicas, como a do exemplo apresentado na Figura 2.8, apresentam uma grande capacidade de absorção de energia sem uma grande transferência de forças às embarcações. Este tipo de defesa é de muito elevado desempenho, apresentando uma excelente relação energia-deformação, sendo hoje em dia as defensas que apresentam a maior capacidade de absorção de energia.

A sua forma cónica permite que estes equipamentos resistam até elevadas pressões e ângulos de compressão.



Figura 2.8 - Exemplo de uma defesa cónica.

Devido às excelentes capacidades deste tipo de defensas, são uma boa solução para terminais de contentores, graneleiros, petroleiros, carga geral e duques d'alba. Em zonas onde existam grandes amplitudes de maré podem ser colocadas duas defensas associadas, de forma a poder absorver a energia dos impactos dos navios durante as oscilações de marés.

2.2.2.6. DEFENSA CILÍNDRICA AXIAL

Este tipo de defesa, representado na Figura 2.9, é um dos mais utilizados devido à sua simplicidade e aos bons resultados que evidencia. A simplicidade da sua colocação faz com que estas sejam uma boa solução para terminais multifunções. São equipamentos de grande durabilidade e apresentam uma grande fiabilidade.



Figura 2.9 - Exemplo de defesa cilíndrica axial.

Estes elementos podem ainda suportar grandes painéis metálicos e apresentam bons níveis de segurança ao corte assim como um bom desempenho nas acções de acostagem.

São soluções muito utilizadas em vários tipos de estruturas de acostagem como terminais graneleiros, de contentores e Ro-Ro.

2.2.2.7. DEFENSA PNEUMÁTICA E DE ESPUMA

Este tipo de defesa é utilizado de forma diferente das já mencionadas uma vez que funciona em contacto directo com a água, funcionando como uma defesa flutuante, podendo ser preenchida com ar ou espuma, como está representado na Figura 2.10.



Figura 2.10 - Exemplo de defesa pneumática flutuante

Estas defensas são muito úteis para funcionar como equipamento de cariz temporário devido à facilidade do seu transporte e colocação.

Podem ter uma superfície composta com pneus e correntes, utilizados como protecção, de forma a aumentar a sua durabilidade. Na Figura 2.11 está demonstrado o revestimento de protecção de uma defesa pneumática.



Figura 2.11 - Exemplo de defesa pneumática revestida por pneus e correntes

Este tipo de defensas são muito utilizadas em transferências entre navios e também em locais onde haja grandes amplitudes do nível das marés.

2.3. CRITÉRIOS DE SELECÇÃO DE DEFENSAS

A selecção das defensas a serem colocadas num determinado terminal deve obedecer a vários critérios desde factores intrínsecos às características dos navios até factores relacionados com as características dos portos e locais onde estes estão situados.

Como já foi referido anteriormente, a capacidade de absorção de energia da defesa é um factor muito importante para garantir a segurança do navio e do cais de acostagem. A força que o navio transmite à obra também deve ser quantificada, uma vez que é necessário saber a força que este exerce na obra de acostagem para se proceder à selecção do equipamento de segurança a ser colocado. No caso do terminal ser um terminal multifunções, é fundamental saber quais são as tonelagens máximas e mínimas dos navios que podem acostar, assim como a frequência de acostagem no cais em questão. Estes factores são de conhecimento imprescindível devido ao elevado desgaste que o sistema de defensas sofre, [12].

Outro factor muito importante no estudo das soluções a utilizar é o ângulo de impacto do navio durante a acção de acostagem, uma vez que diversos tipos de defensas não são compatíveis com a ocorrência de elevados ângulos de impacto, [9]. Esta susceptibilidade dos sistemas de defensas deve-se aos esforços tangenciais a que estes sistemas ficam sujeitos, no momento de acostagem, e que podem provocar a rotura por corte das defensas de borracha.

A amplitude das marés também afecta a escolha das defensas a utilizar, uma vez que pode não permitir que sejam colocadas várias fileiras de defensas no cais, situação que força a colocação de defensas flutuantes.

Um factor que não é de ordem técnica, mas que também tem grande importância no projecto é a relação custo/vida útil do material, assim como as despesas de manutenção e aquisição. Isto obriga a uma selecção criteriosa não só do sistema de defensas como também do fabricante, uma vez que em qualquer obra, como as marítimas, as restrições orçamentais são uma questão central do projecto, [3].

As características do porto, tais como as condições de manobra, a profundidade e características do cais (estrutura sólida ou aberta, contínua ou descontínua) também afectam a escolha do sistema mais adequado a aplicar. Os contactos prolongados entre os navios e defensas, por acções exteriores tais como ventos, correntes e marés, não devem retirar qualidades ao equipamento utilizado, [12].

2.3.1. ESPECIFICAÇÕES DAS EMBARCAÇÕES

Existem diversos tipos de navios, todos com especificações diferentes. Entre os principais destacam-se os navios utilizados para fins militares, comerciais, industriais, de recreio e navios auxiliares. No entanto, estas classes são muito abrangentes e dentro de cada uma delas existem vários tipos de navios, que devido à especificidade da carga que transportam, torna-se importante distingui-los, uma vez que estas diferenças podem ter repercussões no processo de acostagem e amarração.

2.3.1.1. NAVIOS MILITARES

Os navios militares, por serem material bélico, não ficam atracados em portos comerciais, logo não serão amplamente estudados neste trabalho. Por outro lado não deixa de ser importante referir os principais tipos de navios de guerra e algumas das suas especificações, [6].

O maior navio de natureza bélica existente é o porta-aviões. Estes navios são geralmente de muito grandes dimensões e transportam, como o nome indica, aviões de guerra, assim como um grande número de militares e armamento. O Brasil tem um porta-aviões na sua frota militar, o navio Aeródromo São Paulo (A12), representado na Figura 2.12. Este navio tem 266 m de comprimento e 51 m de boca, com um deslocamento em plena carga de 33.673 t, [13].



Figura 2.12 - Navio Aeródromo São Paulo

Dentro da frota militar existem ainda as fragatas, as corvetas e os contratorpedeiros, assim como os navios tanque e de transporte de pessoal. Estes navios são geralmente muito menos tripulados e não têm deslocamentos tão elevados como os navios porta-aviões.

2.3.1.2. NAVIOS COMERCIAIS

Dentro desta classe existem vários tipos de navios para transporte de várias espécies de mercadoria. Destacam-se os navios graneleiros, os navios petroleiros, os navios porta-contentores, os navios Ro-Ro e ainda os navios de transporte de passageiros.

Dentro dos navios graneleiros podem-se destacar os navios de transporte de granéis sólidos, granéis líquidos, químicos, gases liquefeitos e os navios petroleiros.

Estes navios destacam-se por terem vários porões selados, que permitem o transporte de vários tipos de material em bruto. Estes navios foram desenvolvidos para melhorar as condições de transporte de grandes quantidades, principalmente do ponto de vista da estabilidade. Os porões são também desenvolvidos de forma a que a descarga seja feita de forma relativamente simples.

Os navios graneleiros podem distinguir-se por porte e especialização. Os principais tipos de navios graneleiros especializados são os navios minareiros, os navios cimenteiros, os navios Conbunker (transporte de granéis e contentores), os navios OBO (designação Ore/Bulk/Oil, transportam minerais, granéis e derivados do petróleo) e ainda os navios OO (designação Ore/Oil, transportam minerais e granéis de vários tipos). A classificação dos navios graneleiros quanto ao material transportado está definida no Quadro 2.1, [6].

Quadro 2.1 - Classificação de navios graneleiros quanto ao material transportado

Navios graneleiros	
Classificação	Material Transportado
MINERALEIRO	Minerais em bruto
CIMENTEIRO	Cimento
CONBULKER	Contentores e granéis
OBO	Minerais, granéis e crude
OO	Minerais e crude

Analisando a classificação em função do porte destes navios, observa-se que há quatro principais tipos de navios, e estes diferenciam-se na massa de água deslocada. No Quadro 2.2 é possível observar os valores de referência destas classes de navio, [5].

Quadro 2.2 - Classificação de navios graneleiros quanto ao porte

Navios graneleiros	
Classificação	Porte (dwt)
HANDYSIZE	15.000-50.000
HANDYMAX	35.000-50.000
PANAMAX	60.000-80.000
CAPE SIZE	120.000-170.000

Estes navios, por permitirem o transporte de grandes quantidades de material em bruto, tornam-se cada vez mais comuns hoje em dia e transportam materiais para todos os sectores da indústria. Na Figura 2.13 pode ser observado um exemplo de carga de um navio graneleiro enquanto este está atracado.



Figura 2.13 - Exemplo de carga de um navio graneleiro

Os navios petroleiros correspondem a cerca de 48% do porte da frota Mundial, [6]. Estes navios são a maior classe de navios do mundo, e o título de maior navio continua a pertencer ao superpetroleiro “Mont”, ilustrado na Figura 2.14, com 458 m de comprimento, 69 m de boca e 24,5m de calado, com um deslocamento de 564.763 t. Este petroleiro foi utilizado para transporte e hoje em dia é utilizado como unidade de armazenamento flutuante.



Figura 2.14 - Superpetroleiro "Mont"

Os petroleiros podem ser classificados pelo tipo de produto transportado e ainda pelo seu porte.

A classificação destes navios quanto ao porte, observada no Quadro 2.3, é extremamente importante, uma vez que ajuda a definir as rotas possíveis e portos que abrigam navios destas dimensões, [6].

Quadro 2.3 - Classificação dos navios petroleiros quanto ao porte

Navios petroleiros	
Classificação	Porte (dwt)
HANDYSIZE	15.000-50.000
PANAMAX	60.000-80.000
AFRAMAX	80.000-120.000
SUEZMAX	120.000-170.000
VLCC	200.000-300.000
ULCC	>300.000

Esta classificação permite definir as rotas que os grandes navios petroleiros podem utilizar, uma vez que há vários canais de navegação que não podem ser utilizados por navios de classe superior à classe PANAMAX, tais como o canal do Panamá, que faz a ligação entre o Oceano Atlântico e o Oceano Pacífico, ou SUEZMAX, que corresponde à máxima dimensão de um navio que possa ultrapassar o canal do Suez, [6].

O estudo dos navios porta-contentores é de extrema importância para este trabalho, uma vez que o terminal Tecondi, que irá ser estudado mais à frente, é um terminal de carga e descarga de mercadorias transportadas em contentores. Na Figura 2.15 pode ser visto o navio porta-contentores “Emma Maersk”, que é um dos maiores navios porta-contentores do mundo.



Figura 2.15 - Navio porta-contentores “Emma Maersk”

Este tipo de navio pode transportar diversos tipos de mercadorias, principalmente devido à grande variedade de contentores que existem actualmente. Os contentores hoje em dia são uniformizados e têm geralmente o comprimento de vinte ou quarenta pés, podendo transportar desde peças de vestuário, mobiliário, animais vivos, mercadorias refrigeradas, automóveis e café.

Os navios porta-contentores têm geralmente meios próprios para proceder à carga e descarga dos contentores, no entanto estas acções podem também ser realizadas pelas empresas que controlam os terminais portuários, e que têm meios próprios de movimentação de cargas. Desta maneira a descarga dos navios é feita de forma rápida e quase totalmente automatizada, sem ser necessário grande número de homens. Normalmente a movimentação das cargas deve ser feita perpendicularmente e ao longo do comprimento do navio, de forma a que o armazenamento seja feito o mais próximo possível do cais.

Os navios porta-contentores podem ser classificados por tipo quanto à capacidade de carga, e esta relação pode ser vista no Quadro 2.4, [6].

Quadro 2.4 - Classificação dos navios porta-contentores quanto à carga (TEU's)

Navios porta-contentores	
Classificação	Capacidade (TEU's)
FEEDER	100-499
FEEDERMAX	500-999
HANDY	1.000-1.999
SUB-PANAMAX	2.000-2.999
PANAMAX	3.000-4.500
POST-PANAMAX	>4.500

Existem também alguns valores de referência dos navios porta-contentores cujo conhecimento é necessário para o dimensionamento de defensas como pode ser visto no Quadro 2.5. Estes valores são definidos pela P.I.A.N.C. (2002) (limite de confiança de 50%).

Quadro 2.5 - Valores de referência para navios porta-contentores

Navios porta-contentores					
Porte (dwt)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
7.000	10.200	116	108	19,6	6,9
10.000	14.300	134	125	21,6	7,7
15.000	21.100	157	147	24,1	8,7
20.000	27.800	176	165	26,1	9,5
25.000	34.300	192	180	27,7	10,2
30.000	40.800	206	194	29,1	10,7
40.000	53.700	231	218	32,3	11,7
50.000	66.500	252	238	32,3	12,5
60.000	79.100	271	256	35,2	13,2

2.3.1.3. NAVIOS INDUSTRIAIS

Os navios industriais são aqueles que são especificamente desenhados para fins industriais, tais como navios de sondagem e perfuração, dragas, lança-cabos, navios de armazenamento ou navios plataforma. Devido à sua grande especificidade, este tipo de navios nem sempre podem estar atracados nos portos mais próximos, principalmente no caso dos navios plataforma. No entanto, a partir do momento em que a acostagem destes é definida, tem de ser verificada a sua segurança, tanto do cais como do próprio navio, uma vez que qualquer falha pode acarretar graves danos. Na Figura 2.16 está representado um navio plataforma, onde se pode verificar um grande número de saliências que podem causar problemas nas manobras de acostagem, [6].



Figura 2.16 - Exemplo de um navio plataforma

2.3.1.4. NAVIOS AUXILIARES

Existem diversos tipos de navios auxiliares, logo é difícil definir características comuns. Vários tipos de navios como rebocadores, navios quebra-gelo, como o representado na Figura 2.17, navios de pesquisa, combate a incêndios e salvamento inserem-se nesta categoria.



Figura 2.17 - Exemplo de um navio quebra-gelo

De entre os vários navios auxiliares o que necessita de um maior cuidado na acostagem é o navio quebra-gelo, uma vez que estes navios são construídos com cascos de elevada rigidez, de forma a poderem navegar por zonas geladas. Isto faz com que a deformação do casco durante o contacto com o cais seja muito reduzida, sendo por isso necessário que o sistema de defensas e o próprio cais sejam mais resistentes e que possam suportar estas condições, [6].

2.3.1.5. NAVIOS DE RECREIO

Os navios de recreio, com o ilustrado na Figura 2.18, em geral não precisam de um sistema de defensas de alto desempenho porque devido à sua relativa baixa tonelagem não causam grandes efeitos nos cais.



Figura 2.18 - Exemplo de navio de recreio

Existem alguns navios de recreio de muito grandes dimensões, com capacidade de transportar um grande número de passageiros. Nestes casos é necessário que o sistema de defensas seja criteriosamente dimensionado de forma a que não ocorram danos graves em nenhum dos equipamentos.

2.3.2. PRINCIPAIS MODELOS DE NAVIO (TIPOS DE CASCO)

O casco de um navio representa o seu elemento principal, e apesar de não ter uma forma específica, o casco tem de ser projectado de acordo com a finalidade de uso desse navio.

O casco de um navio tem um plano de simetria, que deve ser definido pela sua quilha.

Existem diversos tipos de casco, que podem variar de acordo com o tipo de navio de transporte e também com a maior modernidade deste. Uma vez que hoje em dia se assiste a grandes avanços técnicos, vão sendo descobertas formas mais adequadas e mais eficazes para melhorar as características das embarcações. Os tipos de embarcação mais comum são os seguintes:

- Embarcações com proa arredondada;
- Embarcações com cascos com bulbos;
- Embarcações com cinto de lastro quadrado ou circular;
- Embarcações com bordo baixo;
- Embarcações com bordo alto;
- Embarcações com porta na popa;
- Embarcações com reservatórios;
- Embarcações com saliências.

Estes modelos são geralmente mais utilizados para uma finalidade específica de cada navio. A estabilidade, resistência mínima à propulsão e mobilidade dependem da forma e características hidrodinâmicas do casco do navio, facto pelo qual o dimensionamento e projecto deste elemento é uma parte extremamente importante da construção dos navios, [3]. A flutuabilidade e estanqueidade são também factores com grande influência no projecto, de forma a que seja garantida a segurança e estabilidade de navegação. Os navios devem também resistir aos esforços produzidos pelo peso da carga, assim como ao balanço produzido pela agitação. O ângulo máximo de oscilação deve ser estimado no projecto de um navio, de forma a que o seu casco seja dimensionado de forma a resistir com estabilidade, regularizando as oscilações.

2.3.2.1. EMBARCAÇÕES COM PROA ARREDONDADA

Geralmente as embarcações que têm esta configuração de proa são os grandes navios de cruzeiro assim como os navios porta-contentores, como os que se podem ver na Figura 2.19.



Figura 2.19 - Exemplos de navios com proa arredondada

Devido à elevada curvatura da proa é necessário ter atenção quando é executado o dimensionamento das defensas, de forma a que o convés do navio fique afastado dos guindastes que eventualmente estejam próximos do muro do cais. Sendo assim, as defensas devem ter o tamanho apropriado, para que não ocorram acidentes, [3].

2.3.2.2. EMBARCAÇÕES COM CASCOS COM BULBOS

Este tipo de embarcações apresenta um bulbo na proa, tal como se observa na Figura 2.20. Este bulbo é colocado abaixo da linha de água na proa e é uma característica que foi utilizada mais frequentemente a partir dos anos 60 do século XX. A principal vantagem da sua utilização é diminuir a resistência hidrodinâmica causada pela formação de ondas, com importante redução no consumo de combustível e diminuindo o efeito de arrasto.

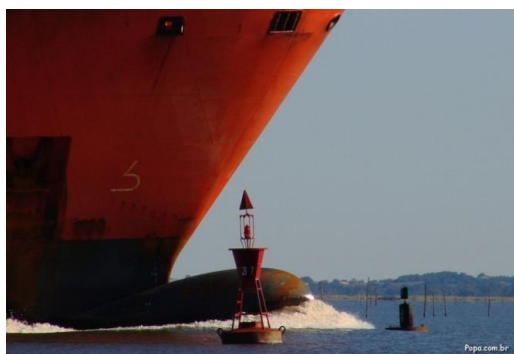


Figura 1.20 - Embarcação com bulbo na proa

Esta característica das embarcações obriga a que o dimensionamento do sistema de defensas seja feito de forma criteriosa, de forma a que não haja espaçamentos suficientemente grandes para que a proa bulbosa possa causar danos ao sistema de defensas ou às estacas dianteiras da estrutura do cais. Se este espaçamento não for controlado podem também ocorrer danos graves no casco dos navios, especialmente quando o ângulo de acostagem é elevado, [3].

2.3.2.3. EMBARCAÇÕES COM CINTO DE LASTRO QUADRADO OU CIRCULAR

Este tipo de embarcação tem geralmente um cinturão de lastro à sua volta, de forma a aumentar a sua estabilidade de navegação. No entanto este cinturão pode aumentar o deslocamento do navio, aumentando a sua resistência hidrodinâmica. São muito comuns em catamarãs e ferries. Na Figura 2.21 pode ser vista esta característica dos cascos dos navios.



Figura 2.21 - Embarcações com cinto de lastro

O cinturão que estas embarcações possuem pode ser segmentado e em vários níveis. Desta forma o dimensionamento deve ser feito de forma a que este elemento do casco não colida com violência com a parte inferior das defensas devido à variação da maré ou ondulação uma vez que pode causar sérios danos tanto à defesa como ao próprio navio, [3].

2.3.2.4. EMBARCAÇÕES COM BORDO BAIXO

Este tipo de modelos, como os representados na Figura 2.22, apresentam bordos muito baixos quando estão na sua capacidade máxima de carregamento. Geralmente as embarcações que apresentam esta configuração são petroleiros de cabotagem, cargueiros e algumas barcaças. A maioria dos navios fluviais apresenta esta configuração.



Figura 2.22 - Embarcações com bordo baixo

Quando existem níveis baixos do nível de maré e as embarcações apresentam o seu máximo carregamento podem ficar presas por baixo das defensas, devido a condições meteorológicas desfavoráveis, provocando sérios danos no navio e no sistema de defensas, [3].

2.3.2.5. EMBARCAÇÕES COM BORDO ALTO

Usualmente, navios Ro-Ro, navios de cruzeiro, ferries e alguns navios de contentores apresentam bordos altos, tal como pode ser visto na Figura 2.23. Esta característica torna as manobras de acostagem extremamente difíceis quando ocorrem condições atmosféricas desfavoráveis. Estes navios têm bordos altos de forma a criar mais espaço para transporte de mercadorias na vertical, mantendo a estabilidade de navegação.



Figura 2.23 - Navio Ro-Ro com bordo alto

A acostagem deste tipo de navios é extremamente susceptível à acção dos ventos, logo, em zonas onde a acção dos ventos é significativa, a velocidade de acostagem é maior do que o normal, obrigando a que o sistema de defensas seja dimensionado de forma a que não ocorram danos no navio e no cais, [3]. Geralmente quando as condições de acostagem são adversas, ou seja, no caso de existir uma significativa acção do vento, a acostagem dos navios deve ser feita com o auxílio de rebocadores durante a manobra.

2.3.2.6. EMBARCAÇÕES COM PORTA NA POPA

Estes modelos correspondem normalmente a navios Ro-Ro e a alguns navios de transporte militar. A presença de uma porta na popa obriga a que por vezes esteja também presente um cinturão de popa. Estas portas permitem um descarregamento do material transportado através de uma rampa. Estas portas podem existir também nas laterais do navio. Na Figura 2.24 podem ser observados vários exemplos de portas localizadas em diferentes pontos dos navios.



Figura 2.24 - Exemplos variados de navios com portas laterais e na popa

Este tipo de embarcações pode apresentar alguns problemas nas manobras de acostagem e amarração uma vez que os seus movimentos laterais podem causar danos ao sistema de defensas, [3].

2.3.2.7. EMBARCAÇÕES COM RESERVATÓRIOS

Este tipo de embarcação é geralmente destinado ao transporte de gás, ou petróleo. Estes materiais obrigam a que nas manobras de acostagem não sejam exercidas grandes pressões no casco dos navios. Na Figura 2.25 pode-se ver um navio como reservatórios para o transporte de gás.



Figura 2.25 - Embarcação com reservatório

Para que não ocorram grandes reacções no casco dos navios o sistema de defensas deve ser dimensionado contando com painéis de grandes dimensões, sendo também necessário algumas precauções em lugares com grandes amplitudes de maré e com um sistema de defensas oscilantes, [3].

2.3.2.8. EMBARCAÇÕES COM SALIÊNCIAS

Este tipo de navio, representado na Figura 2.26, apresenta saliências na proa ou na popa, tais como plataformas de mergulho ou de trabalho. Nas manobras de acostagem destes navios é importante que estas saliências não fiquem colocadas entre as defensas, sob o risco de causar grandes danos tanto a estas como também ao próprio navio.



Figura 2.26 - Exemplos de navios com saliências na popa

De forma a contornar estas situações deve-se optar por sistemas contínuos de defensas, minimizando assim os riscos de danos graves em ambos os equipamentos, [3].

2.3.3. TIPOS DE ESTRUTURA DE ACOSTAGEM

2.3.3.1. ESTRUTURA DE PARAMENTO FECHADO - CAIS DE GRAVIDADE

Um cais de gravidade é constituído por blocos que funcionam como suporte por acção do seu peso próprio. Este tipo de cais representa uma parede de acostagem contínua.

Podem ser de diversos tipos, desde blocos de betão, caixões de betão armado como os representados na Figura 2.27, e aduelas de betão armado (no caso das profundidades serem baixas). Estes blocos são solidarizados através de uma superestrutura, normalmente betonada “in situ”. Uma vez que as diferentes pilhas de blocos pré-fabricados têm assentamentos diferenciais, a superestrutura é realizada depois de estes assentamentos terem sido acelerados através de cargas estáticas.

Os equipamentos de apoio à acostagem e amarração são colocados na superestrutura, logo o dimensionamento deste tipo de estrutura portuária tem de contar com os casos mais desfavoráveis de acostagem e de amarração. Este dimensionamento terá também de contar com as juntas de dilatação da superestrutura, pelo que normalmente o projecto é feito contanto com as acções definidas entre juntas do cais.

Quando se opta por realizar a estrutura do cais em blocos de betão, procura-se que estes tenham a maior dimensão possível, de forma a que o equipamento de colocação destes blocos não apresente limitações, para minimizar o número de manobras de transporte e colocação, uma vez que estas manobras podem aumentar de forma bastante significativa o orçamento da obra.



Figura 2.27 - Caixão de betão armado em Porto Moniz/Madeira

A utilização de caixões flutuantes de betão armado permite uma grande poupança nos volumes de betão, visto que os espaços vazios dentro dos caixões são preenchidos com materiais menos dispendiosos, como blocos de enrocamento ou materiais mais finos, como areia ou brita. Estes caixões são produzidos geralmente num estaleiro fora da zona de construção, e de seguida são levados a flutuar até à zona onde irão ser colocados. Depois de definido o local de colocação são submersos e preenchidos com o material escolhido como enchimento. Na Figura 2.28 podem ser vistos uma série de caixões flutuantes de betão armado, antes da sua colocação em obra.



Figura 2.28 - Caixões flutuantes de betão armado no porto de Valência/Espanha

As aduelas de betão armado têm a mesma finalidade dos caixões de betão armado, ou seja, a poupança de material, no entanto estas são realizadas de forma diferente. Este tipo de peça é construída como uma secção de um caixão, que depois irá ser solidarizada com outras peças semelhantes, permitindo

assim que após esta solidarização seja feito o preenchimento das células. Estas peças, por não terem um fundo, não flutuam, logo têm de ser colocadas no local da obra através da ajuda de gruas ou cábreas flutuantes, como representado na Figura 2.29.



Figura 2.29 - Grua a transportar aduela de betão armado no porto de Leixões

2.3.3.2. ESTRUTURA DE PARAMENTO FECHADO - CAIS EM CORTINA DE ESTACAS-PRANCHA

Os cais de cortinas de estacas-prancha têm como uma das suas principais características o facto de serem estruturas leves.

Este tipo de cais é construído através da cravação de perfis metálicos ou de betão armado no solo. Estes elementos constituem células cilíndricas, cortinas ou caixões. Estas cortinas destinam-se à retenção de solos e à acostagem e amarração de navios.

Este tipo de estrutura é condicionada em larga escala pela especificidade da obra, uma vez que a cravação destes elementos depende da profundidade de perfuração no local onde estas vão ser colocadas, assim como das características geológicas e geotécnicas dos terrenos de fundação.

Este tipo de cais é normalmente constituído por uma cortina de estacas-prancha, unidas a uma placa de ancoragem no terraplino através de um tirante. Estes elementos suportam tanto o impulso hidrostático, como o do terreno. Uma vez que têm capacidade de se deformar, suportam assentamentos do terraplino, que podem não ser aceitáveis para os equipamentos de superfície. Na Figura 2.30 está demonstrado um exemplo da cravação de estacas-prancha metálicas em obra.



Figura 2.30 - Cravação de estacas-prancha metálicas

Por vezes opta-se por construir uma plataforma de alívio neste tipo de estrutura. Esta plataforma é fundada em estacas, permitindo assim suportar alguma carga na plataforma de operações assim como

o impulso activo do solo, não sobrecarregando a cortina. Este tipo de cais tem a designação de cais do tipo Dinamarquês e a sua configuração está ilustrada na Figura 2.31.

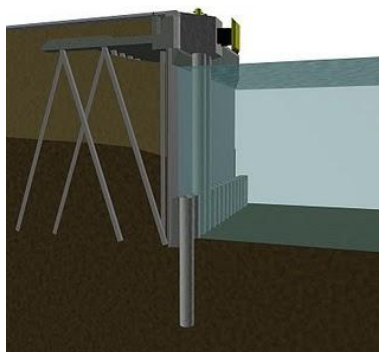


Figura 2.31 - Representação de um cais do tipo Dinamarquês

2.3.3.3. ESTRUTURA DE PARAMENTO ABERTO - DUQUES D'ALBA DE ACOSTAGEM E AMARRAÇÃO

Os duques d'alba representam um tipo de estrutura offshore, ou seja, sem ligação a terra, e descontínuas, para acostagem e amarração de navios. Estas estruturas são destacadas de terra devido à dificuldade inerente à ampliação dos terraplenos e cais e à inexistência de grandes profundidades junto à costa. Na Figura 2.32 está representado um exemplo do caso acima descrito.



Figura 2.32 - Duques d'alba de acostagem

Este tipo de estruturas podem ser isoladas ou ligadas entre si, permitindo um equilíbrio dos esforços gerados pelas acções de acostagem e amarração, como pode ser visto na Figura 2.33.



Figura 2.33 - Duques d'alba de acostagem e amarração

Quando este tipo de estrutura serve de acostagem para navios petroleiros, está geralmente ligado a terra por oleodutos e gasodutos, de forma a poder transportar o petróleo e seus derivados a instalações que possam processar esta matéria prima.

Este tipo de estruturas são geralmente menos dispendiosas do que outras soluções mais tradicionais, no entanto não são adequadas para todos os tipos de carga, como por exemplo o caso da movimentação de contentores ou cargas rolantes.

2.3.3.4. ESTRUTURA DE PARAMENTO ABERTO - CAIS COM FUNDAÇÃO EM ESTACAS

Quando as características do terreno não permitem a colocação de um cais gravítico, ou quando este tipo de solução é muito dispendiosa, podem ser colocadas estacas como elemento de fundação. A colocação de um grande número de estacas permite uma distribuição do peso próprio da superestrutura e dos equipamentos de superfície, como guindastes e gruas. Na Figura 2.34 pode ser observada a colocação de estacas de fundação do novo terminal de passageiros no porto de Leixões.



Figura 2.34 - Estacas cravadas no solo no porto de Leixões

Quando é necessário construir um cais em fundos aluvionares, os elementos maciços poderiam sofrer grandes assentamentos com o tempo, logo opta-se pela colocação de estacas.

A colocação de estacas é feita através da cravação de camisas metálicas, como as representadas na Figura 2.35, onde é colocada a armadura de aço. Posteriormente é feita a betonagem e colocação dos elementos que formam a superestrutura do cais. Uma vez que estas estruturas são de paramento aberto, a água pode circular livremente sob a superestrutura, reduzindo o amortecimento ao movimento dos navios durante a acostagem.



Figura 2.35-Camisas metálicas

2.3.4. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA PORTUÁRIA

A localização da bacia portuária tem uma grande influência na selecção do sistema de defensas mais adequado, uma vez que dependem desta os factores ambientais que têm influência directa no dimensionamento de defensas. [5]

Factores como a variação do nível das marés, correntes, temperatura da água, incidência de ventos e probabilidade de ocorrência de fenómenos naturais como tempestades, furacões e tufões podem causar graves problemas à acostagem e amarração de navios, sendo por isso necessário definir medidas de protecção contra estes factores, [5].

Um determinado porto pode também estar mais ou menos exposto a estes elementos naturais, fazendo com que as manobras possam ser mais ou menos complexas de executar.

Os portos podem ser interiores, exteriores ou localizados ao largo, e ter protecção natural ou artificial.

Consideram-se portos interiores os localizados em estuários, zonas lagunares ou deltas. Os portos exteriores estão localizados directamente na costa, geralmente protegidos através de quebramares e os portos localizados ao largo são geralmente destacados da costa, podendo nem necessitar de obras de protecção, [5].

Quanto à protecção, esta pode ser artificial, que é a mais comum, e é executada através de quebramares e guias de corrente, de forma a que o interior da bacia portuária esteja protegido dos fenómenos da agitação. Pelo contrário os portos com protecção natural não necessitam de melhoramentos, uma vez que a agitação não é suficiente para causar problemas às manobras no interior da bacia portuária.

O porto de Santos, que irá ser estudado mais à frente, pode ser considerado um porto interior, uma vez que se localiza no estuário de Santos e não necessita de obras de protecção.

2.3.5. FACTORES AMBIENTAIS

Existem diversos factores ambientais que afectam a selecção do melhor sistema de defensas.

Factores como a acção do vento, das correntes, ondas, marés e ainda ressonância devido às condições da bacia de manobra podem ter grande influência na acostagem.

Estes factores podem causar grandes problemas, sendo por isso necessário que a defesa seja dimensionada de forma a que não ocorram estragos na estrutura e nas embarcações.

Estes factores, uma vez que são intrínsecos à localização do porto, devem ser minuciosamente estudados de forma a entender a influência que podem ter nas manobras dos navios.

2.3.5.1. ACÇÃO DO VENTO

O efeito do vento pode ser decomposto em acções estáticas e acções dinâmicas. Pode ser considerado como acção estática a acção constante do vento, ou seja, ventos com alguma intensidade, de direcção constante. As variações rápidas de velocidade e de direcção, assim como rajadas de vento e tempestades são consideradas acções dinâmicas, [5].

O efeito do vento faz-se sentir especialmente em navios com superestruturas elevadas, uma vez que este é proporcional à área do navio sujeita a estas acções e ao quadrado da sua velocidade. Estas acções são em geral bastante prejudiciais para as manobras, tal como a acção das ondas e das correntes, se a direcção do vento tiver a mesma direcção do movimento do navio. A acção do vento pode fazer-se sentir com maior ou menor intensidade dependendo da altura da superestrutura do navio, [12].

Na Figura 2.36 é possível observar os estragos causados tanto ao navio como à plataforma de acostagem devido aos ventos fortes que se faziam sentir durante as manobras. Este factor dificulta a acostagem, uma vez que aumenta de forma significativa a velocidade de aproximação ao cais, sem serem utilizados os motores do navio. Sendo assim, a embarcação faz uma aproximação demasiado rápida, que escapa ao controlo do capitão, fazendo com que embata na plataforma de acostagem. Neste caso este embate dá-se na zona da popa.

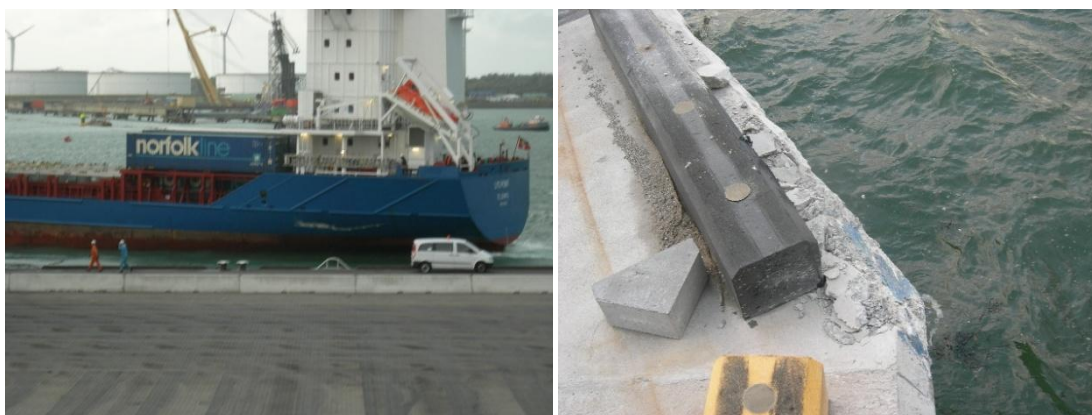


Figura 2.36 - Exemplos dos possíveis danos causados no cais de acostagem e no navio devido à acção do vento

Quando a intensidade do vento é elevada, é aconselhável que a acostagem seja feita com o auxílio de navios rebocadores de maneira a evitar acidentes.

Por norma os navios porta-contentores totalmente carregados, os grandes navios de passageiros e os navios Ro-Ro são os mais afectados por estas acções.

Segundo a PIANC(1995) a acção estática produzida pelo efeito do vento pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$F = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot u^2 \cdot A \quad (1)$$

em que, C_d representa o coeficiente de arrastamento do navio, ρ_a representa o peso específico do ar, u representa a velocidade do vento e A representa a área do navio sujeita à acção do vento, [11].

A acção dinâmica que o vento provoca nos navios nos momentos de acostagem deve ser determinada por aproximação estatística, sendo no entanto muito difícil de prever devido à imprevisibilidade dos fenómenos climáticos.

2.3.5.2. ACÇÃO DAS CORRENTES

As correntes provocam o arrastamento dos navios e esta acção é muito específica e diferente de local para local. Esta acção faz com que possam existir oscilações laterais que podem causar estragos. Por outro lado a acção das correntes pode ajudar à manobra de acostagem. A presença de correntes faz com que o navio tenha uma velocidade elevada em relação à água, mas baixa em relação ao solo. Para além disto pode ajudar na manobra, uma vez que um navio que esteja a navegar com a proa em direcção à corrente pode utilizar a força desta de forma a que não seja tão difícil deslocar-se em direcção ao cais, [5].

O efeito das correntes é mais nocivo em bacias portuárias localizadas em estuários ou rios, uma vez que as velocidades da corrente podem ser consideráveis. Se os portos estiverem localizados em zonas marítimas este efeito faz-se notar mais devido à influência dos ventos. Se a profundidade sob o navio for pequena a acção das correntes torna-se mais grave do que se a profundidade for muito elevada, [11].

A acção que a corrente produz sobre um navio acostado pode ser determinada de forma análoga à acção dos ventos, sendo necessário substituir na equação (1), a velocidade do vento pela velocidade do fluido, a massa volúmica do ar pela do fluido e a área é determinada pela área exposta na direcção normal ao escoamento, [9].

De forma a minimizar estes efeitos podem ser utilizados elementos como guias de corrente, facilitando as manobras de acostagem, conduzindo as correntes para locais onde não tenham efeitos tão nocivos para os navios atracados e para as próprias estruturas de acostagem.

2.3.5.3. ACÇÃO DAS ONDAS

A avaliação da acção das ondas num ambiente portuário é de fundamental importância devido à grande influência que este factor tem na interacção dos navios com as estruturas de acostagem e amarração. A acção das ondas pode dificultar as manobras de acostagem, mas também pode causar grandes oscilações em navios atracados, o que pode dificultar os trabalhos de carga e descarga.

Existem vários fenómenos hidrodinâmicos que podem ter influência no ambiente portuário. Fenómenos como a agitação marítima (vagas e ondulação), ondas infra-gravíticas, ondas de longo período, seichas portuárias e Tsunamis, podem causar grandes oscilações na superfície da água. Desta forma a interacção do navio com as estruturas de acostagem e amarração está dependente destes fenómenos, sendo necessário por vezes tomar medidas na concepção da própria bacia portuária de forma a que estas acções sejam minimizadas. As ondas com períodos muito pequenos (inferiores a 3-4 s) não são estudadas neste trabalho devido à pouca influência que têm nas condições de acostagem e amarração de um navio de transporte de mercadoria, [8]

A agitação marítima, tem a sua origem na acção do vento que actua de forma localizada na superfície das massas de água, e que produz estados de agitação irregular. Uma vez que este tipo de fenómeno apresenta grande variabilidade e irregularidade o seu estudo é feito através de espectros energéticos, de forma a poder quantificar a energia deste tipo de acções. Os períodos associados a este tipo de fenómeno são geralmente inferiores a 25s.

As ondas infra-gravíticas, pela transformação que sofrem em águas pouco profundas têm especial importância na avaliação das suas acções. Existem vários estudos que mostram que este tipo de ondas podem estar ligados à origem de fenómenos ressonantes em bacias portuárias. Este tipo de ondas têm geralmente períodos que variam entre os 20-30s até alguns minutos, pelo que podem ser consideradas ondas de longo período, [8].

Os Tsunamis, que são também ondas de longos períodos, geralmente situados entre os 10 e os 40 minutos, têm a sua origem principalmente em fenómenos sísmicos, deslizamentos de terra em zonas costeiras e de uma forma menos comum à queda de meteoritos em zonas oceânicas. Este tipo de ondas

são ondas de translação, que devido à sua elevada energia podem provocar grande destruição. Muitas vezes não têm grandes alturas, mas o seu deslocamento tem uma grande velocidade, [8]

As seichas portuárias, são ondas de longo período, com períodos geralmente os 30s e os 10 minutos, estacionárias, que estão muito associadas a fenómenos ressonantes nas bacias portuárias. Estes fenómenos originam-se uma vez que este tipo de onda tem períodos de oscilação semelhantes aos períodos naturais de oscilação das bacias portuárias. A associação dos períodos de oscilação deste tipo de onda com os períodos de oscilação naturais das bacias provocam para além de deslocamentos verticais, elevados deslocamentos horizontais, o que pode ser problemático para os dispositivos de acostagem e amarração. As seichas portuárias podem ocorrer durante estados de agitação calmos, pelo que existe ainda alguma dificuldade na sua caracterização, [8].

As ondas de longo período, são geralmente mais difíceis de dissipar porque os quebramares têm uma eficiência reduzida contra este tipo de ondas. A difracção nas barras dos portos faz com que este tipo de ondulação penetre nas bacias portuárias e seja reflectida nos seus contornos. Existem alguns elementos que já permitem diminuir e minimizar os efeitos da ondulação no interior das bacias portuárias. Elementos como os blocos NOREF produzem um paramento acostável descontínuo com cavidades que permite que a reflexão da ondulação não seja total, uma vez que parte da energia da onda é dissipada no interior destas cavidades. Isto permite uma possível melhoria nas condições de agitação nas bacias portuárias, fazendo com que os efeitos nocivos da oscilação portuária sejam minimizados. Na figura 2.37 está representado o paramento do novo terminal multiusos do porto de Leixões, realizado em blocos NOREF, [10].



Figura 2.37 – Paramento acostável do novo terminal multiusos do porto de Leixões, em blocos NOREF

O estudo da acção das ondas é feito recorrendo principalmente a modelos numéricos, estudos em modelo físico e avaliação estatística, feita através de medições e da avaliação das condições e características da bacia portuária em estudo. A avaliação da acção das ondas é um processo bastante complexo, uma vez que estas acções são diferentes de acordo com o local de implantação da bacia portuária e das condições atmosféricas e meteorológicas, o que torna a extrapolação de um método de cálculo muito difícil, uma vez que esta variação das condições pode-se traduzir em graves problemas na segurança de um navio amarrado, [8].

Os valores da altura de onda podem ser obtidos através de bóias ondógrafo, colocadas ao largo da costa, que registam a variação dos níveis de água. Este registo é contínuo e permite também saber o período das ondas nesse ponto. Através da relação entre a profundidade no local onde se encontra a bóia e a profundidade na barra do porto é possível saber a altura e velocidade de onda que se desloca contra as obras de protecção do cais. Na figura 2.38 pode observar-se um registo de alturas de onda máximas e significativas entre os dias 17/11/2010 e o dia 18/11/2010, ao largo do porto de Leixões, ilustrando uma variação significativa e irregular.

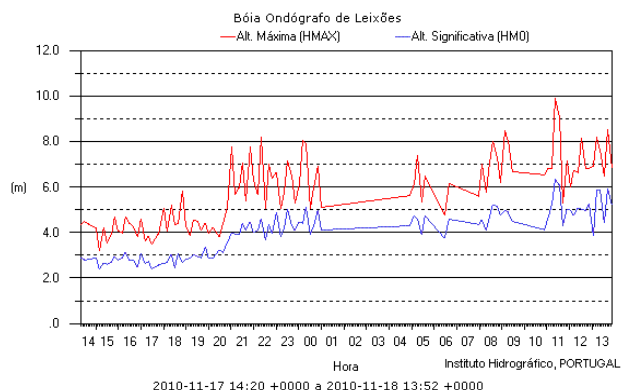


Figura 2.38 - Registro de ondas obtido através de bóia ondógrafo ao largo do porto de Leixões

2.3.5.4. ACÇÃO DAS MARÉS

A variação do nível das marés tem uma grande influência no dimensionamento de defensas.

A água pode ter efeitos nocivos no sistema de defensas, uma vez que o meio pode ser extremamente agressivo para os materiais, diminuindo de forma muito acentuada a durabilidade dos equipamentos e aumentando a necessidade de medidas de manutenção, [12].

Em algumas zonas do mundo ocorrem variações de maré extremamente significativas, como a representada na Figura 2.39, e que trazem grandes problemas à concepção e dimensionamento de portos e cais.

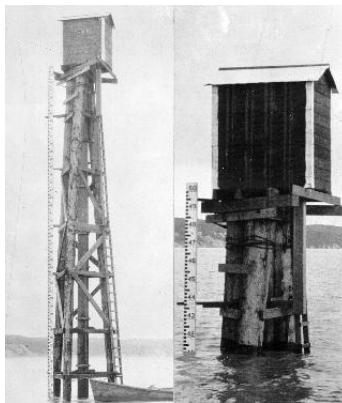


Figura 2.39 – Variação significativa do nível de marés entre a baixa-mar e a preia-mar

Observa-se na Figura 2.40 que a variação do nível de marés no mês de Janeiro de 2010 porto de Santos foi entre os 0,0m e 1,6m em relação ao zero hidrográfico. Estes dados foram obtidos através do Centro de Hidrografia Marinha Brasileiro. Em anexo encontram-se os registos mensais de variação de marés no porto de Santos para o ano de 2010. A variação máxima da altura da água registada no ano de 2010 foi de 1,7m. Esta variação não chega a ser significativa, uma vez que a variação de altura que o bordo livre de um navio porta-contentores de médio porte pode sofrer durante as operações de carga e descarga pode chegar aos 4m.

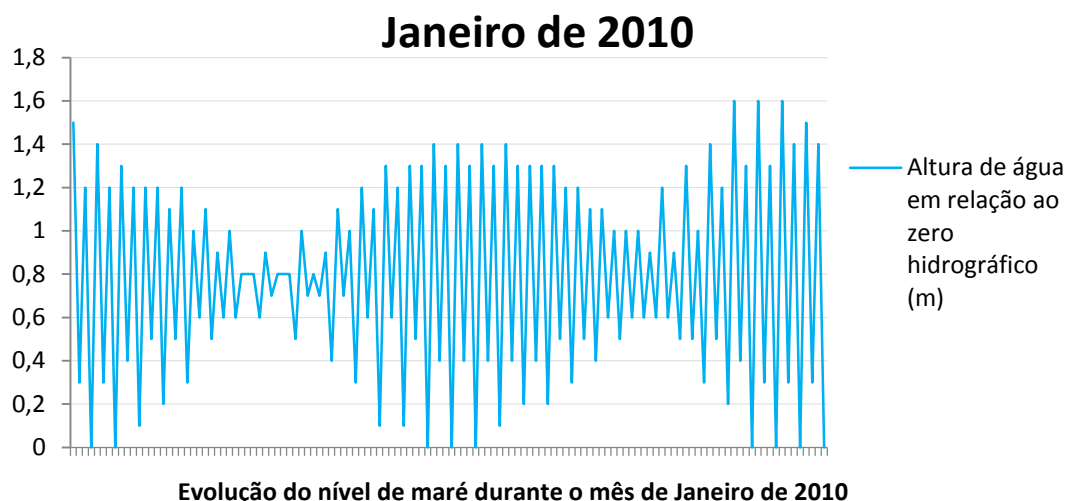


Figura 2.40 – Registo de variação do nível das marés no porto de Santos entre o dia 1/1/2010 e o dia 31/1/2010

Este factor afecta também a concepção e configuração do sistema adoptado, podendo até ser necessário utilizar defensas flutuantes ou aumentar a altura em que as defensas são presas à estrutura de acostagem.

2.3.6. TIPOS DE ACOSTAGEM

2.3.6.1. ACOSTAGEM LATERAL

Neste tipo de acostagem o navio desloca-se em direcção transversal ao cais, com o seu lado paralelo ao cais. Desta forma a acostagem é feita de modo a que o navio faça a aproximação à estrutura de acostagem com a sua proa dirigida segundo uma direcção oblíqua, mudando gradualmente de direcção à medida que se aproxima. O contacto entre o navio e o cais é feito com toda a parte lateral do casco, fazendo assim com que este embata num grande número de defensas, [3].

Como a Figura 2.41 ilustra, o navio fica atracado com o seu lado encostado paralelamente ao cais, sendo que este tipo de acostagem é o mais utilizado pelos diversos tipos de navios.

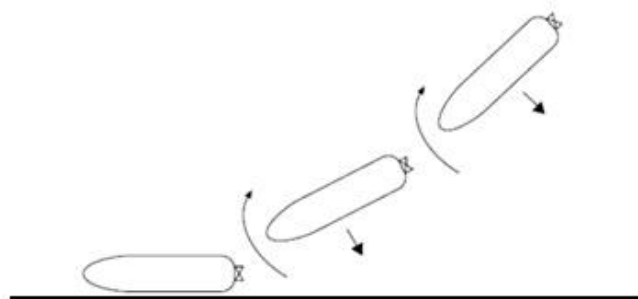


Figura 2.41 - Exemplo de acostagem lateral

Esta manobra é feita através do funcionamento conjunto dos vários propulsores dos navios, ou eventualmente com o auxílio de navios rebocadores, sendo que o impacto do navio nas defensas dá-se

com todo o seu lado, sendo a sua pressão distribuída ao longo do casco. Considera-se que a acostagem ocorre com toda a lateral do navio para ângulos de acostagem inferiores a 5°.

A acção de acostagem pode acarretar um grande número de problemas, uma vez que uma aproximação mal calculada pode causar danos graves tanto ao navio como à própria estrutura. Se a aproximação for feita com demasiada velocidade, a proa pode embater com violência na estrutura de acostagem, ou por outro lado se o navio já estiver colocado paralelamente ao cais e a velocidade permanecer demasiado elevada este pode colidir com a estrutura, causando maioritariamente danos ao navio.

Os acidentes nos momentos de acostagem podem acarretar grandes prejuízos, logo o sistema de defensas deve ser dimensionado de forma a minimizar a probabilidade deste tipo de ocorrência.

A acostagem lateral acarreta ainda grandes riscos no caso de ser feita em duques d'alba ou em estruturas esbeltas. Isto acontece porque uma estrutura sólida, como um cais em betão armado ou em caixões de betão apresenta uma grande resistência em relação ao embate do navio, ao contrário do que pode ocorrer com os dois casos já referidos, no caso da estrutura de acostagem não estar dimensionada para esse efeito.

2.3.6.2. ACOSTAGEM COM ÂNGULO

Este tipo de manobra é feita existindo um primeiro ponto de impacto no cais, a partir do qual o navio roda ficando encostado com a sua lateral na plataforma de acostagem. Esta rotação ajuda a que alguma da energia do navio se dissipe antes do contacto com o cais, não sendo necessário que o sistema de defensas suporte a totalidade da energia cinética de aproximação do navio, [3].

Este tipo de acostagem é o mais comum, uma vez que na manobra de aproximação é normal que ocorram pequenos erros de trajectória, que desloquem a proa do navio na direcção do cais, sem a aproximação do resto do navio.

Neste tipo de manobra a primeira defesa a ser solicitada fica sujeita a grandes esforços de corte, pelo que o sistema de defensas deve ser dimensionado considerando esse efeito.

Na Figura 2.42 é possível observar um esquema de acostagem com um determinado ângulo.

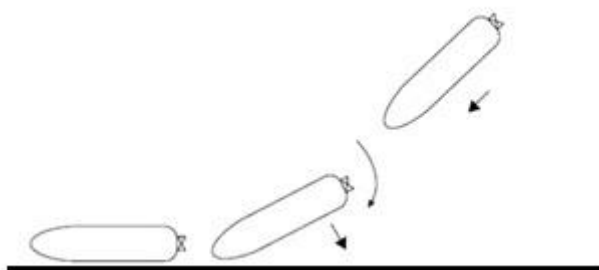


Figura 2.42 - Exemplo de acostagem com ângulo

Este tipo de manobra podem acarretar alguns problemas, especialmente no cálculo da velocidade de aproximação, uma vez que o impacto que se dá na acostagem, se for demasiado forte, pode causar grandes rupturas nos cascos dos navios, visto que devido à sua muito elevada massa, o deslocamento é feito com grande quantidade de energia cinética. Na figura 2.43 pode observar-se o estrago que causou uma aproximação mal calculada, executada pelo navio Glasgow Maersk no porto de Oakland.



Figura 2.43 - Exemplo de danos provocados por uma colisão frontal de um navio com o cais no porto de Oakland nos Estados Unidos da América

Este tipo de manobra mal executada causa também danos ao cais, que por vezes podem causar imobilizações no tráfego de mercadorias devido à impossibilidade de utilização das plataformas de carga.

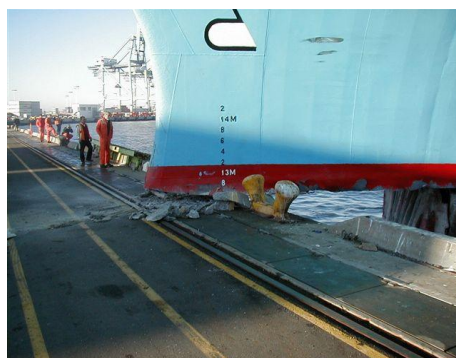


Figura 2.44 - Grande ruptura no casco após colisão frontal de um navio com o cais de acostagem

Como pode ser observado nas figuras 2.43 e 2.44, este tipo de acidentes causa danos graves nas estruturas de acostagem. Neste caso a colisão causou grandes danos na superestrutura do cais, muito próximo a um cabeço de amarração, o que obriga a reparações significativas.

2.3.6.3. ACOSTAGEM PELA POPA

Este tipo de manobra é geralmente realizada por ferries e navios Ro-Ro, devido às suas rampas que estão geralmente situadas na popa do navio. As características deste tipo de acostagem permitem que esta seja feita de forma mais simples, existindo no entanto um grande factor de risco.

Geralmente, os ferries fazem viagens periódicas entre dois pontos para transporte. Os sistemas de defensas, são por isso, solicitados com uma grande frequência. No caso de terminais Ro-Ro, onde pode ser feita a acostagem pela popa, é necessário observar a quantidade de energia com que o navio se desloca, uma vez que as rampas para carga e descarga de material rolante, tal como automóveis ou contentores com rolamentos, são em geral a zona mais frágil tanto da estrutura de acostagem como do próprio navio, [12].

Na Figura 2.45 está representado um esquema deste tipo de acostagem.

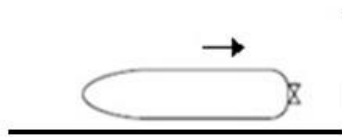


Figura 2.375 - Esquema de acostagem pela popa

Este tipo de acostagem, principalmente no caso de ferries, devido à sua elevada frequência, obriga a reparações frequentes e a uma observação constante.

No caso dos terminais em estudo serem maioritariamente solicitados por este tipo de manobra é importante definir um sistema de defensas que mantenha o desempenho durante muito tempo útil, de forma a que não sejam necessárias reparações constantes.

2.3.6.4. ACOSTAGEM EM DUQUES D'ALBA

A acostagem em duques d'alba é um tipo de acostagem muito comum, especialmente em terminais petroleiros, uma vez que devido ao grande calado deste tipo navios, são necessárias grandes profundidades junto ao cais, [12].

Os duques d'alba, por serem estruturas isoladas têm geralmente de ter sistemas de defensas de elevado desempenho, uma vez que a energia devido ao impacto do navio deve ser dissipada quase na sua totalidade, de forma a não causar danos à estrutura. Na Figura 2.46 está representado um esquema de acostagem num duque d'Alba, [12].

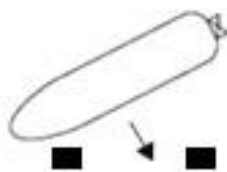


Figura 2.46 - Esquema de acostagem em duques d'alba

3

DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS E NORMA BRASILEIRA PARA ACÇÕES DE ACOSTAGEM

3.1. DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS

Um determinado sistema de defensas deve ser projectado de forma a distribuir o esforço provocado no casco do navio pela maior área possível. A variação da altura das marés e a forma do casco do navio tem influência directa na dimensão do painel que assenta na defesa, [12].

A escolha do sistema de defensas mais apropriado para um determinado terminal não tem uma solução única. Cada porto tem condições específicas que tornam o dimensionamento mais complexo, de acordo com a zona geográfica e climática. A influência da acção do vento, variação das marés, características das bacias de manobra, profundidade dos canais de navegação e a natureza das estruturas de acostagem levam a que exista um grande número de soluções para um determinado tipo de problema, [2].

O sistema de defensas tem também de ser definido de acordo com a função de cada cais. No caso de estar em estudo um terminal multiuso a selecção torna-se ainda mais complexa uma vez que tem de ser feito um estudo contando com as características de diversos tipos de navios que irão lá estar atracados.

Geralmente é colocado na face da defesa um painel, que distribui a pressão exercida no casco das embarcações. Estes painéis devem ser dimensionados de acordo com alguns critérios, principalmente de forma a assegurar a sua durabilidade. Estes painéis são usualmente realizados em UHMW-PE (Polietileno de peso molecular ultra-alto). Este material apresenta uma grande durabilidade e as suas características permitem que este material tenha uma grande resistência ao desgaste por abrasão, alta resistência ao impacto e um muito baixo coeficiente de atrito. O baixo coeficiente de atrito deste material permite que o navio quando choca com o cais deslize sobre estas placas, fazendo assim com que a defesa solicitada não esteja sujeita a grandes esforços de corte, [3].

O funcionamento das defensas baseia-se na lei de conservação de energia, ou seja, a energia cinética do navio durante as acções de acostagem é transferida ao cais, sendo absorvida pela própria estrutura, pelo casco do navio e pela deformação das defensas.

Desta forma o estudo deve contemplar várias soluções possíveis, de forma a avaliar qual a melhor forma de equipar o cais. Numa primeira abordagem deve ser avaliado o tipo principal de navios que irão solicitar a estrutura, assim como as condições predominantes das manobras. O comportamento das defensas deve ser avaliado durante as acções de acostagem e de amarração, de forma a entender as cargas estáticas e dinâmicas a que os navios ficam sujeitos durante estes momentos.

Durante as acções de amarração as defensas continuam a ser solicitadas. A acção dos ventos, correntes e oscilações devido aos efeitos ressonantes das ondas em algumas bacias portuárias, tornam o dimensionamento e manutenção dos sistemas de defensas uma tarefa bastante complexa, [11].

Existem quatro métodos mais usuais utilizados no projecto e dimensionamento de sistemas de defensas, para a determinação da energia de acostagem: o método cinético clássico, o método estatístico, a modelação física e a modelação matemática, [9].

O método estatístico consiste na avaliação das acções através de dados estatísticos, obtidos através do conhecimento das características dos navios e condições da manobra. No entanto este método pode apresentar algumas limitações no caso de não existirem dados suficientes para a realização do projecto.

O método cinético clássico, uma vez que é o mais antigo e utilizado pelos vários fabricantes irá ser o considerado neste trabalho.

Segundo este método, a energia a ser absorvida pela defesa deve ser igual à transmitida pelo navio à estrutura, afectada por um factor de segurança, que terá de ser imposto no caso da acostagem não ser feita em condições normais, uma vez que, por vezes, por motivos não previstos, estas manobras podem não correr como planeado.

3.2. CÁLCULO DE ENERGIA DE ACOSTAGEM

Segundo estudos realizados pelos principais fabricantes de defensas, a energia de acostagem é determinada através do cálculo da energia cinética com que o navio se desloca em direcção ao cais. A acostagem do navio dá-se em geral num único, ou num par de pontos de impacto. Pelo lado da segurança, o cálculo deve ser feito tendo em conta que o impacto se dá sobre um ponto apenas, no entanto é aconselhável que o impacto seja efectuado em dois ou mais pontos. Este facto tem de ser estudado uma vez que se este impacto se der sob um ângulo elevado pode causar o corte das defensas, danificando assim o sistema, [3].

Uma vez que existem alguns factores externos ao movimento do navio, a quantidade de energia é afectada por alguns coeficientes, relativos à configuração da estrutura, massa de água arrastada pelo navio, a excentricidade do impacto da embarcação com a estrutura e a rigidez de ambas as estruturas.

Estes valores podem ser variáveis de acordo com o método utilizado para o seu cálculo, uma vez que existem diversos estudos realizados sobre estes coeficientes.

Desta maneira, pode ser definido que a energia de acostagem de um navio é dada pela seguinte equação:

$$E_A = 1/2 \cdot W/g \cdot V_A^2 \cdot C_m \cdot C_E \cdot C_c \cdot C_a \cdot F_s \quad (2)$$

em que, W representa o Peso no navio, g a aceleração da gravidade (9.81 m/s^2), V_A a velocidade de aproximação do navio, C_m o coeficiente de massa virtual, C_E o coeficiente de excentricidade, C_c o coeficiente de configuração do cais, C_a o coeficiente de amortecimento e F_s o factor de segurança, [12].

Através desta equação é calculada a energia cinética do navio durante o movimento de aproximação ao cais. No entanto e como já foi referido, é necessário afectar este valor dos coeficientes de excentricidade, de massa virtual, de amortecimento e de configuração do cais. Estes valores têm uma

contribuição importante na energia de acostagem necessária para o dimensionamento do sistema de defensas.

3.2.1. COEFICIENTE DE MASSA VIRTUAL

O navio com o seu deslocamento arrasta consigo uma grande massa de água, que devido à inércia mantém o seu movimento após a paragem da embarcação. Esta massa representa um acréscimo de energia, que em conjunto com o deslocamento do navio solicita o sistema de defensas. O coeficiente de massa virtual está relacionado com as dimensões do navio e pode ter várias formas de cálculo. As fórmulas de cálculo mais utilizadas são as definidas pela PIANC (2002), Shigera Ueda (1981) e Vasco Costa (1964) e que se apresentam de seguida. [3]

PIANC (2002):

$$\begin{aligned} \frac{K_C}{C} &\leq 0,1, \text{ então } C_m = 1,8 \\ 0,1 &\leq \frac{K_C}{C} \leq 0,5, \text{ então } C_m = 1,875 - 0,75 \cdot \left[\frac{K_C}{C} \right] \\ \frac{K_C}{C} &> 0,5, \text{ então } C_m = 1,5 \end{aligned} \quad (3)$$

Shigera Ueda (1981):

$$C_m = \frac{\pi \cdot C}{2 \cdot C_b \cdot B} \quad (4)$$

Vasco Costa (1964):

$$C_m = 1 + \frac{2 \cdot C}{B} \quad (5)$$

em que, C_m representa o coeficiente de massa virtual, K_C a folga sob a quilha do navio, C o calado do navio, B a boca do navio e C_b o coeficiente de bloco do navio.

É importante referir que a fórmula de Vasco Costa é válida para manobras com velocidade dos navios superior a 0,08 m/s e para folgas sob a quilha dos navios superiores a 10% do seu calado.

Para a fórmula de cálculo de Shigera Ueda, é necessário conhecer o coeficiente de bloco da embarcação que irá realizar o movimento de acostagem. A PIANC define que o coeficiente de bloco deve ser calculado através da equação (6):

$$C_B = \frac{D}{L_{BP} \cdot B \cdot C \cdot 1,025} \quad (6)$$

em que C_B representa o coeficiente de bloco, D o deslocamento do navio em toneladas, L_{BP} o comprimento entre perpendiculares do navio em metros, B a boca do navio e C o calado do navio, ambos em metros. Quando não são conhecidos todos estes valores, ou na falta de melhor informação, estão definidos pela PIANC e pelas British Standards alguns valores de referência, representados no Quadro 3.1, que foram obtidos com base na observação, experiência prática e também através de medições em protótipo.

Quadro 3.1 - Valores do coeficiente de bloco segundo as British Standards e PIANC

	BRITISH STANDARD (6349)	PIANC (2002)
Tipo de navio	Cb	Cb
Porta-contentores	0,65-0,75	0,60-0,80
Carga Geral	0,60-0,75	0,72-0,85
Navios-tanque	0,72-0,85	0,85
Ferries	0,50-0,65	0,55-0,65
Ro-Ro	0,65-0,70	0,70-0,80
Graneleiros	0,72-0,85	0,72-0,85

Estes valores devem ser utilizados de acordo com os seus limites de utilização. Utilizar o valor mais elevado irá aumentar o valor da energia de acostagem, conduzindo assim a maiores valores de segurança.

É também importante referir que o coeficiente de massa virtual obtido através do método de Shigera Ueda (1981) é fundamentalmente utilizado para transferências entre navios.

3.2.2. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE

No momento do impacto, os navios geralmente não estão a deslocar-se paralelamente ao cais. Desta forma é necessário calcular a excentricidade que estes apresentam durante o choque, uma vez que uma parte da energia com que a embarcação se desloca é dissipada durante a rotação que esta executa até parar o seu movimento. Dessa forma a excentricidade de aproximação do navio é um parâmetro de grande importância, uma vez que se este for mal calculado pode conduzir a um sub-dimensionamento do sistema de defensas, o que pode causar problemas graves ao projecto. Na Figura 3.1 pode-se ver um esquema representativo dos parâmetros necessários para a determinação da excentricidade de aproximação de um navio.

Para a determinação do factor de excentricidade é necessário determinar o raio de giração deste e a distância do centro de massa do navio até ao ponto de impacto. Neste caso, e de forma a facilitar o cálculo, é definido que este valor corresponde a um quarto do comprimento do navio, medido ao longo do eixo deste.

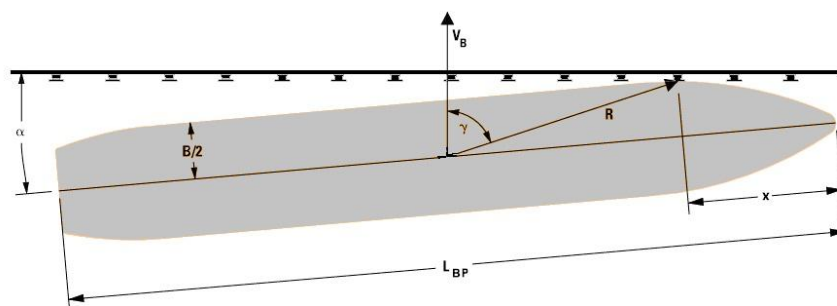


Figura 3.1 - Esquema de acostagem e valores necessários para a determinação do coeficiente de excentricidade

Sendo assim o cálculo do coeficiente de excentricidade de um navio nas suas manobras de acostagem pode ser efectuado definindo primeiro as dimensões de projecto dos navios que irão estar atracados no cais em estudo. Estes valores de referência, têm uma importância significativa, uma vez que sem o conhecimento destes pode-se chegar a valores que não garantem a segurança das manobras de acostagem. Os principais valores que é necessário conhecer são o comprimento e a boca do navio, uma vez que a distância entre o centro de massa e o ponto de impacto é, como já foi referido, considerado igual a um quarto do seu comprimento total. O raio de giração é obtido através de formulas empíricas e é uma aproximação.

O ângulo de aproximação, não pode ser rigorosamente quantificado, logo considera-se próximo de 10° .

O coeficiente de bloco para os diferentes tipos de navio estão definidos no ponto anterior, de acordo com os valores adoptados pela PIANC e pelas British Standards. Desta forma é necessário determinar a distância entre o centro de gravidade do navio e o ponto de impacto, ou seja,

$$R = \sqrt{\left(\frac{L_{BP}}{4}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} \quad (6)$$

em que, R representa a distância entre o centro de gravidade do navio e o ponto de impacto, L_{BP} o comprimento entre perpendiculares do navio e B a largura da boca do navio.

A determinação do ângulo de excentricidade é influenciada pelo ângulo de aproximação do navio, assim como pela distância entre o centro de gravidade do navio e o ponto de impacto, medida ao longo do eixo de simetria deste. Esta medida é geralmente considerada como um quarto do comprimento. Assim, obtém-se,

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \arcsen\left(\frac{B}{2R}\right) \quad (7)$$

em que, γ representa o ângulo de excentricidade da aproximação, α o ângulo de aproximação da embarcação, B representa a largura da boca do navio e R representa a distância entre o centro de massa e o ponto de impacto.

Sendo assim, o raio de giração do navio pode ser calculado através de fórmulas empíricas, sendo influenciado apenas pelo coeficiente de bloco e pelo comprimento do navio, isto é,

$$K = (0,19 \cdot C_b + 0,11) \cdot L_{BP} \quad (8)$$

Depois de determinados estes valores, é possível calcular o coeficiente de excentricidade, valor que é necessário para uma determinação adequada da energia de acostagem, de forma a que não ocorram danos graves nas estruturas de acostagem e nos navios, ou seja,

$$C_E = \frac{K^2 + (R^2 \cdot (\cos \gamma)^2)}{K^2 + R^2} \quad (9)$$

Segundo Saurin(1963), [9], a fórmula que corresponde a um valor mais realista do coeficiente de excentricidade é a seguinte:

$$C_E = \frac{K^2}{a^2 + K^2} \quad (10)$$

em que K representa o raio de giração longitudinal do navio e a representa a distância entre o centro de gravidade do navio e o ponto de impacto deste, medida ao longo do seu eixo de simetria, [11].

Estes valores devem ser utilizados criteriosamente, de forma a que sejam determinados valores de energia do lado da segurança, de maneira a que se proceda a um dimensionamento correcto do sistema de defensas, garantindo assim o correcto funcionamento dos portos e estruturas de acostagem.

Podem também ser utilizados valores tabelados, definidos pela PIANC, obtidos através da experiência prática, e que conduzem a estimativas realistas da excentricidade da aproximação.

3.2.3. COEFICIENTE DE CONFIGURAÇÃO DO CAIS

Geralmente, os cais de acostagem, como já foi explicado anteriormente, podem ser de paramento aberto ou de paramento fechado. Este factor tem influência na energia de acostagem, uma vez que a massa de água deslocada pelo movimento do navio pode causar um efeito de amortecimento. Este efeito ocorre principalmente no caso de o paramento do cais ser fechado. No caso de a estrutura ser de paramento aberto a água desloca-se por baixo do cais, não ficando retida entre esta e o navio. Se a distância entre a quilha do navio e o fundo for muito grande, no caso do calado do navio ser muito pequeno, ocorre também um deslocamento da água retida, não existindo assim amortecimento. Desta forma, o coeficiente de configuração do cais é tanto maior, quanto menor for o amortecimento que existe na manobra de acostagem. Uma vez que a água deslocada nunca contribui para um acréscimo de energia, o máximo coeficiente de configuração do cais é igual à unidade. Quanto maior for o ângulo de acostagem menor será também o amortecimento devido à água retida entre a embarcação e o cais. Desta forma está estabelecido que para ângulos de aproximação maiores do que 5° , o coeficiente de configuração do cais será igual à unidade, [11].

Os valores do coeficiente de configuração do cais estão definidos no Quadro 3.2 .

Quadro 3.2 - Valores de coeficiente de configuração do cais para as situações mais comuns

	Cc
Estrutura de paramento aberto	1
Estrutura de paramento fechado	
Se $Kc \leq D/2$	0.8
Se $Kc > D/2$	0.9
Se $\alpha > 5^\circ$	1

Como se pode observar estes valores nunca conduzem a um acréscimo da energia de acostagem do navio. Estes valores são também próximos da unidade de forma a actuar do lado da segurança, fazendo assim com que não seja subestimado o valor da energia de acostagem.

3.2.4. COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO

Este coeficiente deve ser quantificado devido ao amortecimento que ocorre devido à deformação do casco do navio associado ao impacto na estrutura de acostagem.

Uma vez que este é um coeficiente difícil de estimar, considera-se que é igual à unidade, no caso do sistema de defensas ser flexível, caso contrário este coeficiente deve ser considerado igual a 0,9, [11].

3.2.5. VELOCIDADE DE ACOSTAGEM

A velocidade de aproximação de um navio em relação ao cais é um factor de grande importância no cálculo da quantidade de energia que o navio transporta. Quanto maior a velocidade do navio maior a energia cinética deste, sendo assim necessário estimar uma velocidade de acostagem que não cause problemas ao cais ou ao navio em questão.

A melhor solução é obter dados estatísticos, de forma a conhecer a real velocidade com que os navios efectuam as suas aproximações ao cais. Por vezes a obtenção destes dados não é possível, o que torna necessária a utilização de valores tabelados, que são aproximações, mas que traduzem de uma forma bastante plausível os valores de dimensionamento da velocidade de acostagem.

A velocidade dos navios é influenciada directamente pela dificuldade com que se processa a acostagem. O estado do carregamento e as dimensões do navio também afectam este valor. Se esta manobra for feita sob condições adversas, como em bacias portuárias com ventos fortes, expostas e com aproximações difíceis, a velocidade de aproximação terá à partida um valor diferente do que a que teria se esta manobra fosse feita numa bacia abrigada em condições fáceis de aproximação. Existe sempre também um factor de erro humano ou acidente que pode ocorrer nas manobras de aproximação.

Para facilitar estes cálculos, podem ser utilizadas as curvas de Brolsma (1977), ilustradas na Figura 3.2, que são definidas pela PIANC e pelas British Standards como os valores de referência para o cálculo das velocidades de aproximação.

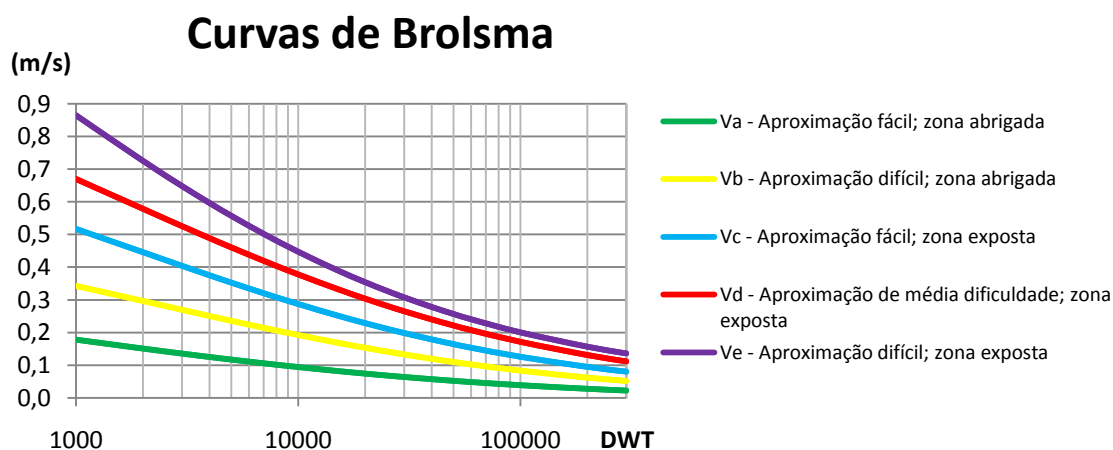


Figura 3.2 - Tabela de Brolsma para a determinação da velocidade de acostagem de um navio

Estas curvas relacionam a dificuldade da manobra de acostagem com a tonelagem dos navios, que ao funcionarem como ábaco, definem a velocidade correcta da aproximação.

Estas curvas relacionam as condições de abrigo das bacias portuárias com a dificuldade das manobras, definindo valores teóricos para a determinação da velocidade de projecto das manobras de acostagem.

Geralmente as curvas mais utilizadas são as curvas “b” e “c”, uma vez que estas correspondem às condições mais comuns, para as quais se pode executar o dimensionamento sem ter de recorrer a dados reais das velocidades de aproximação. Estas correspondem ao caso da aproximação ser difícil, num porto abrigado, ou de uma aproximação fácil, numa bacia exposta, [3].

3.2.6. FACTOR DE SEGURANÇA

O factor de segurança majora a energia de acostagem, de forma a garantir que não ocorram problemas na acostagem. Este factor deve ser utilizado uma vez que a acostagem não pode ser sempre realizada em condições normais. Podem ocorrer acidentes, manobras mal realizadas ou podem existir condições relacionadas com o ambiente marítimo especialmente adversas, [8]. Desta forma a energia calculada é maior do que a energia real de aproximação, conduzindo assim à obtenção de defensas mais resistentes ao impacto.

Segundo a PIANC o factor de segurança tem valores diferentes de acordo com o tipo de navios que irão executar a acostagem no cais. Estes valores estão definidos no Quadro 3.3., [12].

Quadro 3.3 - Factores de segurança definidos pela PIANC

	Dimensão	Factor de Segurança
Petroleiro e graneleiro	Maior	1.25
	Menor	1.75
Porta-contentores	Maior	1.5
	Menor	2
Carga Geral		1.75
Ro-Ro e ferries		≥ 2
Rebocadores e Embarcações de trabalho		2

O factor de segurança pode também variar de acordo com as consequências que a rotura de uma defesa pode ter num cais, o tipo de carga transportada e a vulnerabilidade da estrutura de suporte da defesa, [8].

3.2.7. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS

A determinação do espaçamento entre as defensas deve ser feita de forma extremamente rigorosa, uma vez que no caso de este ser elevado, o impacto do navio com o cais de acostagem pode dar-se na própria estrutura causando danos graves tanto ao cais como ao navio.

A determinação do espaçamento depende de vários factores, ilustrados na Figura 3.3, e deve ser feita após a escolha da defesa, uma vez que segundo as recomendações da PIANC, este valor depende da deflexão dos equipamentos e da dimensão destes, [12].

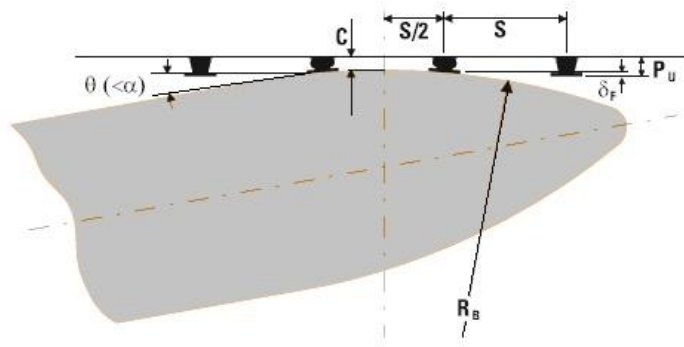


Figura 3.3 - Esquema pormenorizado de acostagem, com definição dos valores necessários para o cálculo do espaçamento entre as defensas

A dimensão da defesa, juntamente com o seu painel, também tem influência no cálculo do espaçamento, uma vez que se este for grande demais, o navio, devido à curvatura do seu casco pode embater com a estrutura. Dessa forma é necessário calcular o raio da proa, valor este que é importante conhecer, podendo ser obtido através do fabricante dos navios, caso contrário pode ser obtido através da seguinte fórmula teórica:

$$R_B \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{B}{2} + \frac{L^2}{8B} \right) \quad (11)$$

em que R_B representa o raio de proa dos navios, B a boca do navio e L o comprimento total do navio, [3].

Tendo sido obtido este valor é possível proceder à determinação do espaçamento entre defensas, no entanto para este cálculo é importante já ter definido o tipo de defesa que será colocado no cais, uma vez que a deflexão destas é de conhecimento imprescindível.

Geralmente pode considerar-se que os navios podem embater num ponto singular, ou num par de pontos. Este segundo caso é o mais comum, e irá ser o caso estudado neste trabalho.

O impacto dos navios acontece geralmente em dois pontos devido às grandes dimensões destes e ao ângulo com que estes se aproximam, e apenas em casos muito raros embatem em apenas uma defesa. Desta forma a energia do impacto é distribuída em duas peças de equipamento, sendo assim possível determinar a deflexão destas.

O espaçamento é definido assim através da equação (12):

$$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C')^2} \quad (12)$$

em que, S representa o espaçamento entre defensas, R_B o raio de proa do navio, P_U a projecção em planta da defesa e painel de protecção, δ_F a deflexão da defesa quando comprimida e C a distância entre o casco do navio e o cais no momento do impacto do navio com a defesa, [4].

Tendo conhecimento do tipo de defesa que irá ser instalada é assim possível determinar o espaçamento entre estas, definindo assim a totalidade das defensas do projecto.

É necessário o conhecimento do tipo de defesa a instalar uma vez que é necessário conhecer a deflexão destas peças, de forma a que seja possível determinar o valor real de aproximação do navio em relação ao cais.

Esta deformação só é conhecida depois de determinado o comportamento dos equipamentos e sua reacção ao impacto dos navios. Através das curvas de energia-deformação é possível determinar como vão funcionar estas peças no momento do impacto, e até que ponto se podem deformar sem que ocorram danos.

3.2.8. PAINÉIS DE PROTECÇÃO DE DEFENSAS

Estes painéis, quando colocados, representam a primeira interface de contacto entre os navios e os cais de acostagem. Apesar de não serem sempre utilizados, são vistos de forma muito comum, sendo prevista a sua colocação em quase todos os projectos.

A utilização destes equipamentos torna-se muito importante uma vez que provocam uma distribuição das pressões causadas pela reacção da defesa, ao casco do navio.

Para o dimensionamento deste tipo de peça é necessário ter em conta uma série de factores que podem afectar o devido funcionamento deste equipamento.

Factores como as pressões admissíveis do casco dos navios, os níveis de variação das marés, assim como as ligações à própria defesa têm grande influência no dimensionamento dos painéis. As ligações feitas através de correntes à superestrutura do cais de acostagem têm também influência no dimensionamento, uma vez que a repetição das manobras de acostagem podem causar problemas a estas, podendo mesmo causar a ruptura das ligações.

A PIANC define as pressões admissíveis para os diferentes tipos de navios. No Quadro 3.4 estão representadas as pressões admissíveis para cascos de navios porta-contentores, de acordo com a sua dimensão.

Quadro 3.4 - Pressões admissíveis para cascos de navios porta-contentores

Tipo de navio	Capacidade	Pressão Admissível (kN/ m ²)
Porta-contentores	<1000 TEU	<400
	<3000 TEU	<300
	<8000 TEU	<250
	>8000 TEU	<200

A pressão transmitida pela defesa com painel, ao casco do navio, pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$P = \frac{R'}{H \cdot W'} \quad (13)$$

em que P representa a pressão transmitida ao casco do navio, W' a largura do painel, H a altura do painel e R' a reacção da defesa, [3].

Através deste cálculo é possível determinar a pressão que se transmite ao casco do navio no momento do impacto, podendo ser determinada a segurança da manobra de acostagem.

Os painéis de protecção podem ser executados em vários materiais. Esta variação de materiais constituintes dos painéis de protecção faz com que exista uma variação do coeficiente de fricção.

A fricção entre a defesa e o casco do navio que ocorre no momento do impacto, é aconselhável que seja mínima, uma vez que se as superfícies forem demasiado abrasivas, podem provocar um excesso de esforços tangenciais na defesa, o que pode causar estragos. Por outro lado esta fricção pode contribuir para a redução dos movimentos longitudinais do navio.

Os materiais mais comuns dos painéis de protecção são o UHMW-PE (Polietileno de peso molecular ultra elevado), aço, madeira, borracha e poliuretano.

O UHMW-PE é o material mais utilizado hoje em dia. Trata-se de um plástico que apresenta características muito adequadas à protecção das defensas, como alta resistência à abrasão e ao impacto e um muito baixo coeficiente de atrito.

Os coeficientes de atrito podem no entanto variar de acordo com as condições atmosféricas, com os carregamentos, estáticos ou dinâmicos, a rugosidade e humidade da superfície, [3].

3.3. NORMA BRASILEIRA

3.3.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS

Segundo a norma Brasileira para determinação de acções em estruturas portuárias (NBR-9782,1987), as acções de acostagem são aquelas decorrentes dos impactos de embarcações sobre as estruturas de acostagem.

De acordo com este conjunto de regras, os sistemas de defensas devem ter capacidade para absorver a energia característica majorada por um coeficiente de ponderação previamente estabelecido. Deve também ser considerada a perda de capacidade da defesa pela possibilidade de compressão não uniforme, devido à acostagem do navio não ser paralela à linha de acostagem. O ângulo mínimo a ser considerado é de 5º.[1]

O sistema de defensas deve ser dimensionado para absorver toda a energia de impacto em apenas um ponto de acostagem, no caso da acostagem ser oblíqua, ou seja, no caso desta não ser paralela ao cais de acostagem.

No caso de o cais ser contínuo, o espaçamento das defensas deve ser suficiente para assegurar a protecção à estrutura quando houver acostagem oblíqua à linha de acostagem.

As defensas devem ter curvas de deformação-reacção e deformação-energia confiáveis, definidas em laboratório. As tolerâncias admitidas devem estar perfeitamente definidas.

O sistema de defensas deve ser dimensionado de forma a absorver a energia de acostagem do navio sem causar deformações permanentes na estrutura de acostagem ou nas unidades das defensas, [1].

3.3.2. ENERGIA DE ACOSTAGEM

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a energia cinética característica transmitida à estrutura de acostagem, e que deve ser considerada no dimensionamento destas estruturas e na selecção do sistema de defensas é determinada pela seguinte expressão, [1]:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot (M_1 + M_2) \cdot V^2 \cdot C_e \cdot C_r \quad (14)$$

em que M_1 representa a massa de água deslocada pelo navio, M_2 a massa de água adicional, V a velocidade de aproximação do navio perpendicular à linha de acostagem C_e o coeficiente de excentricidade e C_r o coeficiente de rigidez.

3.3.3. MASSA DE ÁGUA DESLOCADA PELO NAVIO

A massa de água deslocada pelo navio pode ter valores diferentes, de acordo com a instalação onde o navio irá atracar. Em instalações de descarga, a massa de água deslocada deve ser considerada igual à massa total do navio totalmente carregado, enquanto que se o cais de acostagem for um cais de carga, a massa de água deslocada deve ser considerada como a do navio em situação de lastro ou parcialmente carregado, sendo que se considera este valor igual a 90% da massa total do navio, [1].

3.3.4. MASSA DE ÁGUA ADICIONAL

A massa de água adicional corresponde à massa de água que se movimenta em conjunto com o navio durante a acostagem. Esta massa depende do valor do calado em condições de acostagem, [1].

3.3.5. VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO DO NAVIO

A velocidade de aproximação do navio é afectada por uma série de factores, tais como o tamanho dos navios, condições de abrigo, uso de rebocadores, habilidade dos pilotos e condições meteorológicas.

Em geral os valores característicos da Velocidade de aproximação variam entre os 0,1 m/s e os 0,75 m/s, de acordo com as dimensões dos navios, dificuldade de aproximação e condições meteorológicas, [1].

3.3.6. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE

Para o cálculo do coeficiente de excentricidade tem de ser considerada a energia dispendida na rotação do navio, antes da acostagem, [1].

3.3.7. COEFICIENTE DE RIGIDEZ

O coeficiente de rigidez relaciona a rigidez da estrutura do navio com a rigidez do sistema de defensas. Em geral este valor varia entre 0,9 e 0,95, dependendo do sistema de defensas adoptado, [1].

A norma Brasileira para determinação de acções em estruturas portuárias (NBR-9782,1987) tem algumas diferenças em relação ao método cinético definido pela PIANC. Segundo esta norma o valor da energia cinética da aproximação dos navios, será diferente ao definido pela PIANC, uma vez que este valor não é afectado pelo factor de segurança. Também não existe a afectação deste valor pelo coeficiente de configuração do cais, que é sempre igual ou inferior à unidade. Segundo esta norma, o coeficiente de massa virtual é definido através da massa de água deslocada, o que leva a resultados semelhantes ao método estudado neste trabalho.

4

CASO DE ESTUDO - TERMINAL TECONDI DO PORTO DE SANTOS

4.1. TERMINAL TECONDI DO PORTO DE SANTOS

4.1.1. PORTO DE SANTOS

O porto de Santos, situado na cidade de Santos, no litoral do estado de São Paulo, para além de ser o maior porto Brasileiro é também o porto de contentores mais movimentado da América Latina. Este porto está localizado no estuário de Santos, na confluência dos Rios Diana, Jurubatuba e Sandi, como se pode ver na Figura 4.1.

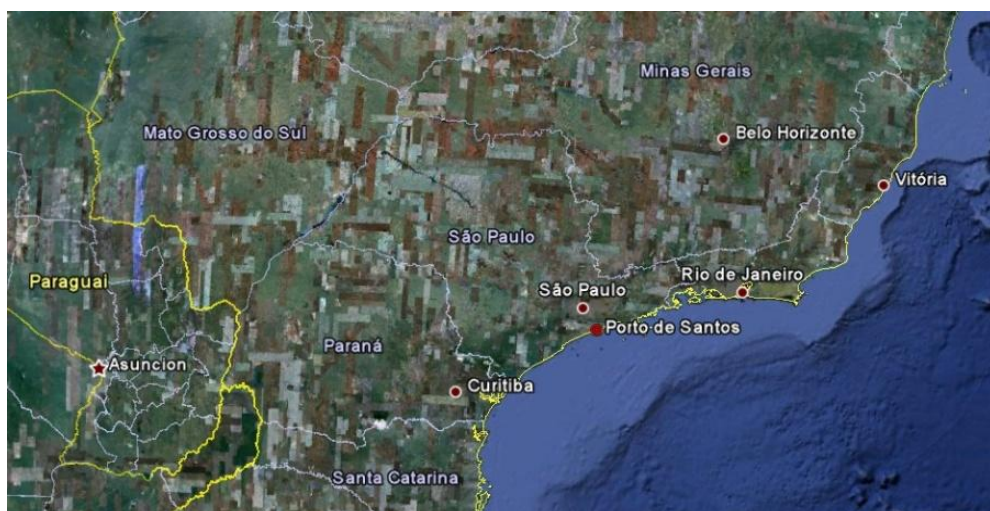


Figura 4.1 - Localização do porto de Santos no litoral Brasileiro

O porto de Santos tem uma extensão de cais de 11.910 m, com canais de profundidade de projecto entre os 7,3 e os 15 m. Este porto tem uma área útil de 7.9 milhões de m², contando com 57 cais de acostagem, dos quais 8 são privados. Na Figura 4.2 pode ser vista uma imagem por satélite da barra do porto de Santos, [7].



Figura 4.2 - Vista por satélite da Barra do porto de Santos

Existem vários terminais especializados, localizados nas duas margens do estuário, nos quais se pode verificar a seguinte disponibilização de cais: 1 para veículos, 12 para contentores, 7 para carga geral, 3 para fertilizantes, 6 para produtos químicos, 4 para cítricos, 7 para sólidos vegetais, 1 para sal, 2 para passageiros, 1 para produtos florestais e 5 de multiuso (suco cítrico a granel, Ro-Ro, contentores, carga geral solta, trigo e sal).[7]

Este porto é administrado pela Companhia de Docas do Estado de São Paulo, e no ano de 2009 teve um tráfego de 28.714.754 contentores com 2.255.862 de TEUs transportados, [15].

O canal de navegação do porto de Santos entre a barra e o entreposto de pesca e entre o entreposto de pesca e a Torre Grande tem uma profundidade de 13,30 m, e entre a Torre Grande até Alemoa tem uma profundidade de 12,20 m. Estes valores são referentes à hora de preia-mar, com uma altura de água de 1m em relação ao zero hidrográfico local. Na Figura 4.3 está definida a localização destes locais numa imagem de satélite do porto de Santos. Estão previstas dragagens, feitas a curto prazo para aumentar o calado até aos 17 m, previstas de serem realizadas em dez anos, passando por uma fase de dragagens inicial que irá aumentar a profundidade do canal inicialmente para 15m, com previsão de realização de 2 anos, e numa fase mais avançada, para 16m, em cinco anos, permitindo a navegação nos dois sentidos em alguns troços dos canais de navegação do porto. [16]

O porto de Santos tem uma variação extrema do nível de maré de 1,7m, com um nível médio de 0,79m, em relação ao zero hidrográfico local.



Figura 4.3 - Localização dos principais troços de navegação do porto de Santos

A maior parte do tráfego do porto de Santos assenta em navios de exportação, principalmente para a China, Índia e Países do Médio Oriente, assim como Holanda Estados Unidos e Bélgica.

Sendo o Brasil um País com grande produção agrícola, as exportações assentam principalmente em mercadorias como o açúcar, a soja e o milho, [7].

O porto de Santos tem também um grande tráfego de passageiros, sendo um porto que devido a sua localização geográfica tem acesso às grandes rotas marítimas. O porto de Santos tem ainda um cais destinado a navios de guerra, [7].

Devido à grande proximidade com a cidade de São Paulo, que é considerada uma das capitais económicas da América Latina, e que é também um grande centro de indústria, o porto de Santos tem vindo a demonstrar nos últimos anos uma tendência de crescimento, tendo vindo a melhorar os seus indicadores de ano para ano, [7].

O plano estratégico do porto prevê uma expansão da área portuária, de forma a aumentar a competitividade do porto, assim como a realização de contratos de cooperação com outros grandes portos na Europa e Estados Unidos. São também previstas um grande número de obras nos acessos e áreas que circundam a zona portuária de Santos, [7].

O porto apresenta ainda um plano de controlo ambiental, que inclui controlo de doenças, vegetação e águas de lastro.

4.1.2. TERMINAL TECONDI

O terminal Tecondi é um terminal de contentores localizado à entrada da área de operações do porto, próximo do complexo rodoviário Anchieta-Imigrantes e com ligação directa às linhas ferroviárias de apoio ao porto de Santos. A sua localização dentro do porto de Santos pode ser observada na Figura 4.4. Este terminal tem a certificação dada pelo “Bureau Veritas” com o ISO 9001:2008, que atesta os padrões de qualidade nos procedimentos e prestação de serviços e tem a capacidade de receber cerca de 200.000 TEUs por ano, tendo movimentado no ano de 2008 cerca de 280.000 TEUs.



Figura 4.4 - Localização do terminal Tecondi no porto de Santos

Este terminal tem 100.000 m² de área bruta, com 5.000 m² de armazéns. Está ligado à linha ferroviária através de 1.150 m de ramais ferroviários que facilitam o transporte de materiais. Na entrada do porto, com acesso directo à Rodovia está situado o recinto de exportação com 15.000 m² de área total com 2.000 m² de armazéns. Na Figura 4.5 está representada a área do terminal e na zona sombreada a vermelho é onde está a ser realizada a ampliação deste.

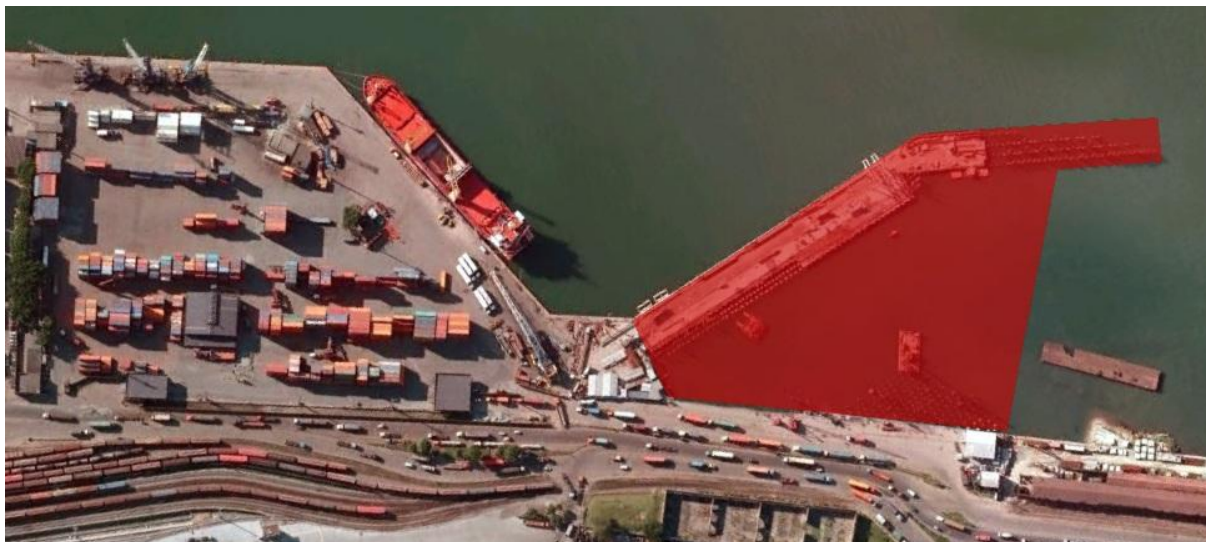


Figura 4.5 - Terminal Tecondi e zona de ampliação do cais

Para além dos serviços de recinto alfandegado de importação e exportação, que funcionam diariamente 24 horas, o terminal Tecondi tem ainda os serviços de distribuição e colecta de mercadorias em regime de trânsito aduaneiro com saídas semanais de e para diversas localidades do Brasil, sistemas online de controlo de taxas de importação assim como de marcação de recepção e carga de mercadorias, sistemas de tracking controlando as várias etapas do processo e ainda áreas diferenciadas para os diferentes tipos de cargas e produtos, [14].

4.1.2.1. EQUIPAMENTOS DE APOIO AO TERMINAL

Para a realização das operações portuárias o terminal Tecondi conta com uma rede sofisticada de equipamentos, que facilitam as cargas e descargas de contentores assim como o tempo das manobras. Está assim munido de dois cais privados e três cais públicos contíguos. Na Figura 4.6 podem ser observadas as instalações para a colocação de contentores refrigerados.

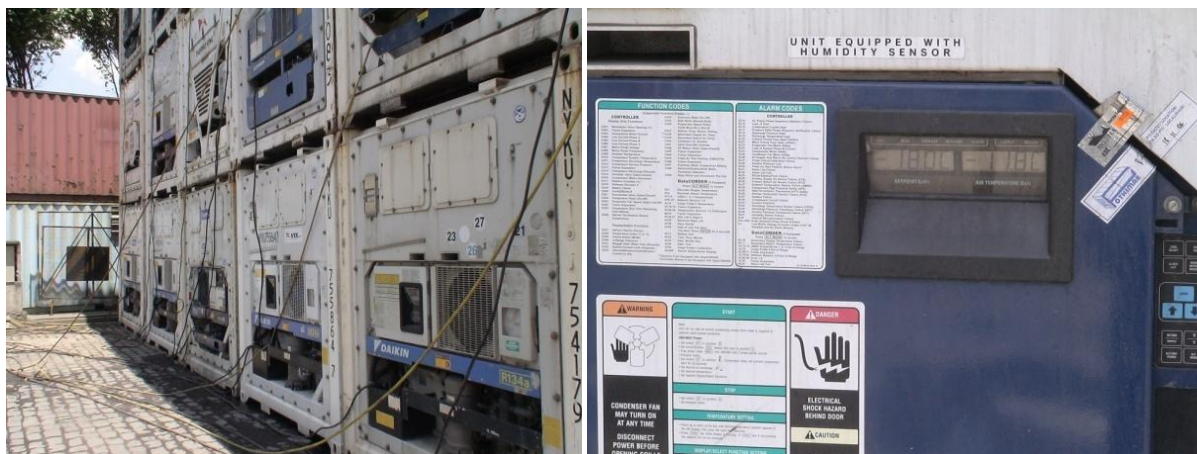


Figura 4.6 - Instalações para a colocação de contentores refrigerados

Em termos de equipamento de carga e descarga este terminal tem dois guindastes móveis “Fantuzzi-Reggiane” com capacidade para 100 toneladas e alcance post-panamax até à 15ª fila de contentores e dois guindastes móveis “Liebherr” modelo LHM 500, com capacidade para 104 toneladas e alcance post-panamax até à 17ª fila de contentores. Todos estes equipamentos estão munidos de “spreader” automático “BROMMA” para contentores de 20 e 40 pés. Podem ver-se estes equipamentos na Figura 4.7.



Figura 4.7 - Guindaste móvel Fantuzzi-Reggiane e spreader BROMMA

O terminal Tecondi tem ainda quinze empilhadores do tipo “Reach Stacker” da “CVS-Ferrari”, como o representado na Figura 3.8, com capacidade de manuseamento de contentores com peso até 45 toneladas e cargas de projecto até 60 toneladas, dois empilhadores de garfo “CVS-Ferrari” com capacidade de carga até 32 toneladas com torre de elevação para operar em alturas restritas, dois “Tug Masters CVS-Ferrari” para operações do tipo “multi-trailer” e para operações em navios do tipo Ro-Ro e ainda onze empilhadores de pequeno porte para movimentação de carga geral nos armazéns, [14].

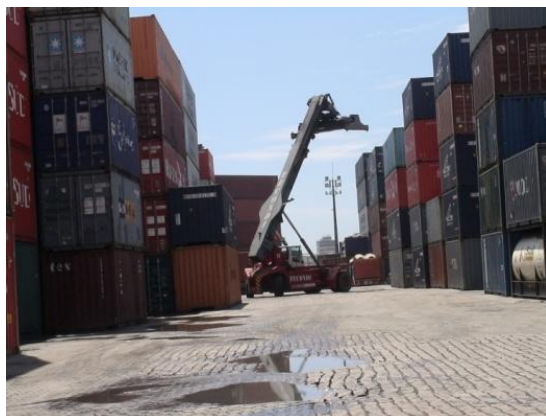


Figura 4.8 - Reach-Stacker CVS-Ferrari

4.1.2.2. EXPANSÃO DO TERMINAL

Devido ao grande crescimento de transacções e trocas comerciais, o terminal Tecondi está a ser ampliado. Esta expansão representa um investimento na ordem dos R\$ 170 Milhões, sendo que R\$ 30 Milhões serão investidos em equipamento para aumentar a capacidade e competitividade do terminal.

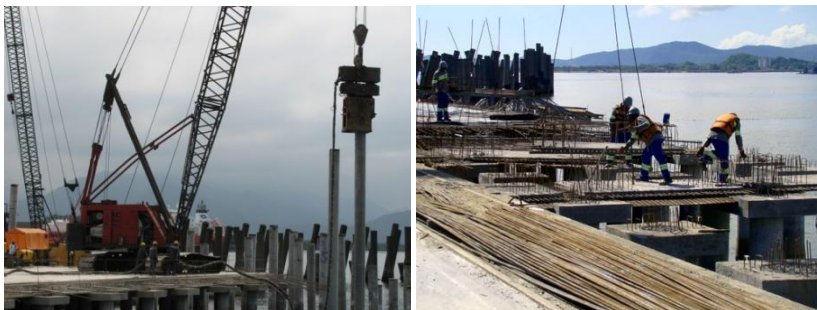


Figura 4.9 - Cravação de estacas e execução dos trabalhos para a expansão do terminal Tecondi

Estas obras vão acrescentar um cais adicional de acostagem com 320 m de comprimento e 14,5 m de profundidade, projectado para atingir até aos 17 m. Esta expansão irá também adicionar uma área contígua de 35.000 m². Esta ampliação será feita a médio prazo. A nova plataforma tem a sua fundação feita sobre 2.448 estacas mistas de betão, com diâmetros de 60 e 70 cm, e de comprimento médio de 32 m. Nas Figuras 4.9 e 4.10 podem ser vistos o processo de colocação de estacas, assim como a área do terminal onde estas serão colocadas.



Figura 4.10 - Fundação em estacas e parte da nova plataforma do terminal Tecondi

Esta expansão do terminal obriga à aquisição de novos equipamentos que permitam o manuseamento da carga adicional que irá ser descarregada. Desta forma serão adicionados aos equipamentos já existentes no Tecondi, 3 guindastes porta-contentores e 6 pórticos de grua para a movimentação de contentores na plataforma de carga. Estas alterações irão permitir ao terminal aumentar a sua capacidade operacional para 700.000 TEUS por ano e também irão permitir operações em navios super post-panamax. Na Figura 4.11 está representada a planta do novo terminal, obtida no site do terminal Tecondi.



Figura 4.11 - Planta do projecto de expansão do terminal Tecondi

Neste momento a extensão do cais é de 203 m, e a sua profundidade é de 11,70m. O dimensionamento das defensas será feito para estes valores de extensão e profundidade, uma vez que a ampliação total só será feita a médio prazo, [14].

4.2. DIMENSIONAMENTO DE DEFENSAS PARA O TERMINAL

Como já foi explicado no capítulo anterior, o dimensionamento de um sistema de defensas deve seguir alguns passos, começando pelo cálculo da energia de acostagem e finalizando no espaçamento das defensas. De seguida são explicados os cálculos dos valores necessários para esse dimensionamento.

O processo de cálculo é o definido pela PIANC, uma vez que este é referido por um grande número de fabricantes de defensas.

Uma vez que é necessário ter alguns valores de referência para a execução do projecto, o navio-tipo que irá ser utilizado para se proceder ao dimensionamento é um navio com 206 m de comprimento, uma vez que o terminal apresenta uma extensão útil de 203 m, o que faz com que o comprimento entre perpendiculares do navio seja inferior ao comprimento do cais. Isto permite que seja feita a carga e descarga do navio sem problemas, não afectando assim a logística do porto. As principais dimensões do navio de referência estão representadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Principais medidas do navio de projecto

Navios porta-contentores					
Porte (d.w.t.)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
30.000	40.800	206	194	29,1	10,7

Outro factor importante para a determinação das dimensões do navio de projecto é o seu calado, uma vez que o calado do navio deve ser inferior à profundidade do cais durante a altura de baixa-mar, adicionada de uma folga sob a quilha do navio e ainda de uma pequena folga para o caso de ser necessária manutenção, caso contrário podem ocorrer alguns problemas de navegação, devido à proximidade da quilha com o fundo do canal. Se ocorrer contacto entre a quilha e o fundo do canal de navegação podem existir falhas na hidrodinâmica do casco.

4.2.1. VELOCIDADE DE ACOSTAGEM

A velocidade de acostagem depende de um grande número de factores. No caso de estes não serem totalmente conhecidos pode-se recorrer às tabelas de Brolsma para a sua determinação. Através destas tabelas, que são recomendadas pela PIANC, é possível obter uma estimativa realista da velocidade de aproximação dos navios.

A velocidade, uma vez que se trata de um parâmetro de importância fundamental para a determinação da energia de acostagem deve ser cuidadosamente calculada, de forma a que não ocorram acidentes.

No caso do terminal Tecondi, uma vez que se localiza num estuário, não apresenta uma grande exposição. Dessa forma a velocidade de acostagem não será afectada de forma significativa por factores ambientais. A velocidade de acostagem é definida pela análise da figura 4.12.

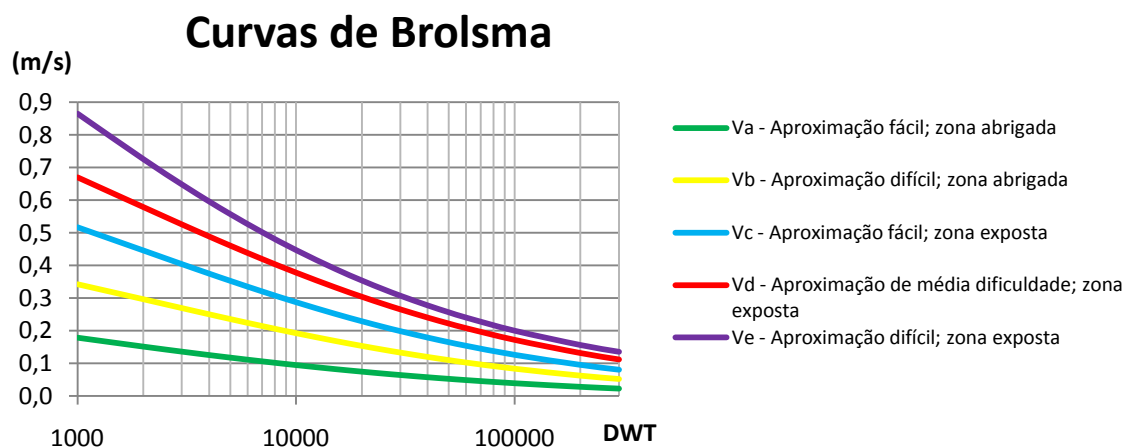


Figura 4.12 - Determinação da velocidade de acostagem através das curvas de Brolsma

De acordo com estas curvas, e utilizando a curva Vb, a amarelo pode definir-se a velocidade de acostagem como 0,133 m/s.

4.2.2. COEFICIENTE DE MASSA VIRTUAL

Para se definir o coeficiente de massa virtual, é necessário ter conhecimento de diversos valores, tais como a folga sob a quilha, o calado do navio de projecto, a boca do navio e o coeficiente de bloco.

Para a determinação da folga sob a quilha é necessário ter o conhecimento da profundidade do cais, uma vez que esta folga é a distância entre a quilha do navio e o fundo do canal de navegação. No caso da ampliação do terminal Tecondi, esta profundidade é de 11,70 m. Para estes cálculos, serão considerados os navios porta-contentores do tipo Panamax, com calado de 10,70 m, e boca de 29,1 m.

Desta forma é possível determinar que a folga sobre a quilha é igual a:

$$K_c = D - C = 11,70 - 10,70 = 1m$$

em que, K_c representa a folga sobre a quilha, D representa a profundidade do canal e C representa o calado do navio.

Sendo assim, e seguindo o método de dimensionamento da PIANC, já explicado no Capítulo 3, para a determinação do coeficiente de massa virtual, obtém-se, como,

$$\frac{K_c}{C} = \frac{1}{10,70} = 0,0935 < 0,1 \rightarrow C_m = 1,8$$

Este coeficiente representa assim um grande acréscimo à energia de acostagem, devido ao efeito de arrasto que a água produz associado ao movimento dos navios.

4.2.3. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE

O coeficiente de excentricidade é o mais difícil de determinar devido à sua especificidade, uma vez que influem neste cálculo uma série de factores.

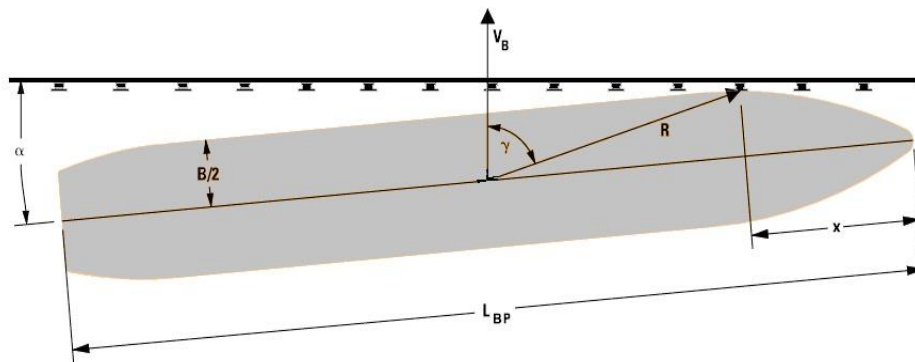


Figura 4.13 - Esquema de excentricidade de aproximação

No caso do projecto em questão, alguns destes valores estão já definidos. Como já foi explicado anteriormente, o ponto de impacto é geralmente considerado igual a um quarto do comprimento do navio, e para efeitos de projecto considera-se que o ângulo de acostagem é igual a 10° . Geralmente é considerado que quando o ponto de impacto se dá a um quarto do comprimento do navio, o coeficiente de excentricidade é igual a 0,5. De qualquer forma é importante fazer o cálculo através de fórmulas empíricas, uma vez que este valor pode tomar uma maior dimensão, majorando o valor da energia cinética.

Desta maneira, o cálculo do coeficiente de excentricidade é feito da seguinte forma:

$$x = \frac{1}{4} \cdot L_{BP} = \frac{1}{4} \cdot 194 = 48,5 m$$

$$\gamma = 90^\circ - 10 - \arcsen\left(\frac{29,1}{2 \cdot 50,64}\right) = 63,3^\circ$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{L_{BP}}{4}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} = \sqrt{48,5^2 + \left(\frac{29,1}{2}\right)^2} = 50,64 \text{ m}$$

$$K = (0,19 \cdot C_b + 0,11) \cdot L_{BP} = (0,19 \cdot 0,66 + 0,11) \cdot 194 = 45,67$$

$$C_E = \frac{K^2 + (R^2 \cdot (\cos \gamma)^2)}{K^2 + R^2} = 0,56$$

O coeficiente de excentricidade encontra-se entre os valores de referência, ou seja entre 0,4 e 0,6, valor que é considerado correcto para o caso do impacto da acostagem ocorrer a um quarto do comprimento do navio, o que significa que deve ser utilizado o valor calculado.

4.2.4. COEFICIENTE DE CONFIGURAÇÃO DO CAIS

A expansão do terminal Tecondi, será feita através da construção de um cais com uma superestrutura de betão armado fundada em estacas. Desta forma, esta estrutura é de paramento aberto, o que permite o movimento da água por baixo desta. Este movimento da água faz com que não exista amortecimento do navio devido a este efeito. Uma vez que este tipo de estrutura não produz grandes efeitos práticos no movimento de acostagem o valor do coeficiente de configuração do cais é igual a 1, como demonstrado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Valores de referência do coeficiente de configuração do cais

	Cc
Estrutura de paramento aberto	1
Estrutura de paramento fechado	
se $Kc \leq D/2$	0.8
se $Kc > D/2$	0.9
se $\alpha > 5^\circ$	1

4.2.5. COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO

Para a determinação deste coeficiente, considera-se que o sistema de defensas adoptado é flexível, sendo o coeficiente de amortecimento igual a 1.

4.2.6. FACTOR DE SEGURANÇA

Uma vez que o dimensionamento do sistema de defensas está a ser feito para navios porta-contentores do tipo Panamax, segundo dados da PIANC, os valores do factor de segurança que devem ser adoptados são os indicados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Valores do factor de segurança definidos pela PIANC

	Dimensão	Factor de Segurança
Petroleiro e graneleiro	Maior	1.25
	Menor	1.75
Porta-contentores	Maior	1.5
	Menor	2
Carga Geral		1.75
Ro-Ro e ferries		≥ 2
Rebocadores e Embarcações de trabalho		2

Na determinação do factor de segurança admite-se que este navio é de média dimensão, adoptando o valor de 1,8, por entender que este valor não leva a uma energia excessiva, encontrando-se assim do lado da segurança desta acção.

4.2.7. CÁLCULO DE ENERGIA DE ACOSTAGEM

O cálculo da energia de acostagem, como já foi explicado, assenta na Equação (2) já apresentada no 2º Capítulo.

Sendo assim a determinação da energia de acostagem, pode ser feita a partir do momento em que sejam conhecidos os factores necessários. Uma vez que já se procedeu ao cálculo e determinação dos coeficientes de majoração e minoração e à determinação do factor de segurança. No Quadro 4.4 estão representados os valores necessários para a determinação da energia cinética de acostagem das embarcações em estudo.

Quadro 4.4 - Valores necessários para ao cálculo da energia cinética

	Valor
Coef. de Amortecimento	1
Coef. de Configuração do cais	1
Coef. de Massa Virtual	1,8
Coef. de Excentricidade	0,56
Factor de Segurança	1,8
Velocidade	0,133 m/s
Massa do navio	40.800 t

Sendo assim, obtém-se para a energia do navio o valor de:

$$E_A = \frac{1}{2} \cdot 40.800.000 \cdot 0,133^2 \cdot 1,8 \cdot 0,56 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,8 = 653,96 \text{ kNm}$$

Uma vez que se considera que o impacto no navio se dá em duas defensas, esta energia é distribuída pelas duas peças de equipamento, o que faz com que a energia transmitida a cada uma seja de:

$$E_D = \frac{E_A}{2} = \frac{653,96}{2} = 326,98 \text{ kNm}$$

Depois de determinado este valor, terão de ser estudados os catálogos dos principais fabricantes, de forma a saber que tipo de defesa suporta esta quantidade de energia, as suas dimensões e a deflexão que ocorre no caso de acostagem.

A partir destas características é possível determinar o espaçamento entre cada defesa que irá ser colocada no cais.

4.2.8. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS

Uma vez que já foi determinada a energia de impacto do navio no cais é possível proceder à determinação do espaçamento entre as defensas.

Para executar este cálculo é necessário determinar o raio de proa do navio de projecto. Como já foi explicado anteriormente o cálculo é feito através da equação (11):

$$R_B \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{B}{2} + \frac{L^2}{8 \cdot B} \right) \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{29,1}{2} + \frac{206^2}{8 \cdot 29,1} \right) \approx 98,42 \text{ m}$$

Depois de executado este cálculo, e sabendo assim o raio de proa, é possível determinar o espaçamento real necessário de colocação das defensas. No entanto não é possível determinar o espaçamento entre defensas sem antes verificar quais são as hipóteses de escolha, uma vez que como foi visto no 2º Capítulo, é necessário saber a deflexão destas peças de forma a que seja feito um cálculo correcto do espaçamento entre cada elemento.

O espaçamento entre cada defensas é então calculado através da equação (13).

Para este terminal vão ser tidas em conta as defensas do tipo cone, PI, e V. Esta escolha não significa que não possam ser utilizadas defensas com outro tipo de configuração, no entanto estes tipos são os mais comuns, e dessa forma os mais viáveis para a colocação na ampliação do terminal Tecondi.

Para a execução deste projecto vão ser avaliadas as defensas da empresa “Trelleborg Marine Systems”, que é o sector da empresa “Trelleborg AB” que está vocacionado para obras marítimas, especialmente para obras de protecção em cais e portos.

Esta empresa produz todos os tipos de defensas estudados neste trabalho e é considerada um dos líderes mundiais em projectos de dimensionamento e execução de sistemas de protecção em cais. Uma vez que se trata de um grande fabricante, a “Trelleborg” produz manuais de dimensionamento de defensas, aprovados pela PIANC, que também foram seguidos para a elaboração deste trabalho. De forma a manter a coerência de resultados e método, os catálogos utilizados para a selecção do tipo de defesa a ser colocada são também da empresa “Trelleborg”.

Todas as medidas que são apresentadas nos pontos seguintes estão em mm, e unidades de peso em Kg.

4.2.8.1. DEFENSAS EM CONE

Na Figura 4.14 estão apresentadas as principais características das defensas do tipo cone, e o comportamento destas será avaliado contando que estas têm de suportar metade da energia cinética da embarcação, uma vez que é considerado que o impacto do navio ocorre em dois pontos.

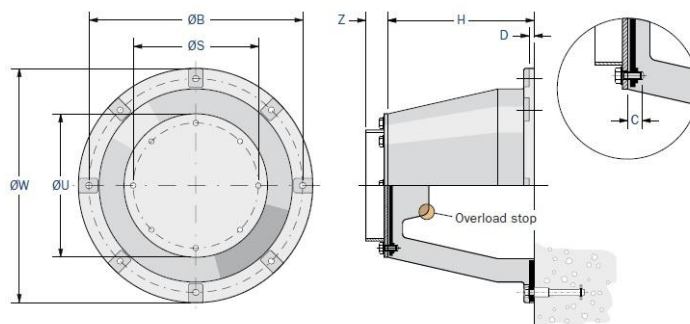


Figura 4.14 - Características e dimensões de referência de defensas do tipo cone

Depois de analisados os catálogos, foi possível verificar que a alternativa mais viável são as defensas do modelo SCN 800, capazes de suportar uma energia de 341 kN.m. As características físicas e mecânicas deste modelo de defesa estão representadas no Quadro 4.5, extraídas dos catálogos dos fabricantes. Em baixo está também representada o gráfico de energia-deformação deste tipo de defensas, onde é possível observar o comportamento destas após o impacto.

Quadro 4.5 - Características físicas das defensas do tipo cone

	H	ØW	V	ØU	C	D	ØB	ØS	Parafusos	Zmin	Peso
SCN 800	800	1280	–	785	40–52	35–42	1165	685	6 × M30	120	606

As características mecânicas de cada modelo de defesa diferem de acordo com as suas características físicas. Isto acontece devido à capacidade que o material constituinte do equipamento reage de forma diferente, uma vez que tem um maior volume útil.

Dessa forma quanto maior a dimensão da defesa, geralmente, maior a capacidade de absorção de energia. No Quadro 4.6 estão quantificadas as características mecânicas deste tipo de defesa.

Quadro 4.6 - Características mecânicas das defensas do tipo cone

		E3.1
SCN 800	Energia (kNm)	341
	Reacção(kN)	820

Após a avaliação da capacidade de absorção de energia de cada equipamento, é necessário observar o gráfico de energia-deformação representado na Figura 4.15, das defensas do tipo cone, de forma a determinar a deflexão que ocorre durante o impacto do navio.

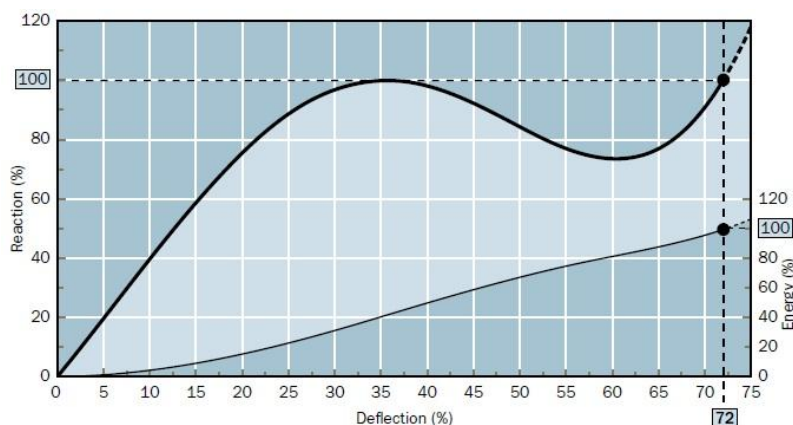


Figura 4.15 - Curva de energia-deformação das defensas tipo cone

Uma vez que a percentagem de energia absorvida pela defesa é de aproximadamente 100% da energia transmitida, sendo a deflexão desta igual a 72%, valor este que é tomado como referência pelo fabricante.

Desta forma a deflexão da defesa faz com que esta fique com um desenvolvimento em planta de 0,576 m, a distância entre casco do navio e cais passa a ser de 0,135 m.

Verificando este aspecto admite-se assim que o espaçamento máximo admitido entre cada defesa, é de 12,2 m.

Admitindo este espaçamento, para o cais em questão, terão de ser aplicadas 16 defensas do tipo cone, do modelo SCN 800, em borracha da categoria E3.1.

4.2.8.2. DEFENSAS DO TIPO PI:

Na figura 4.16 estão apresentadas as principais características das defensas do tipo PI, e o comportamento destas será avaliado contando que estas têm de suportar metade da energia cinética da embarcação.

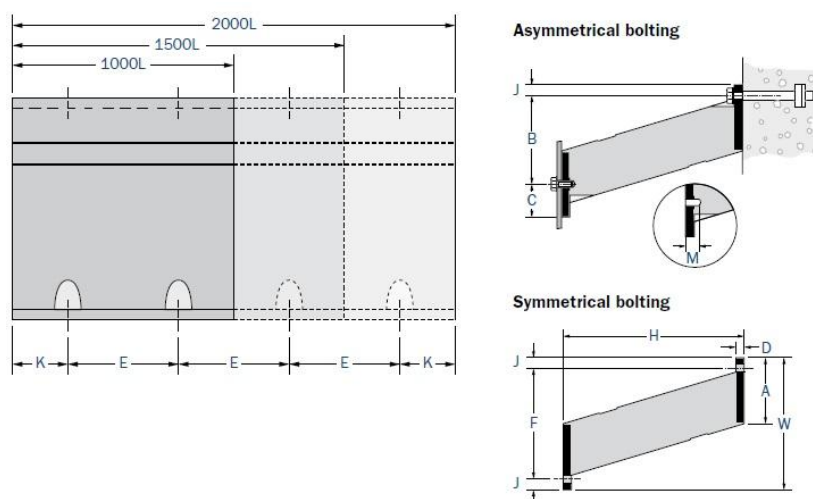


Figura 4.16 - Características e dimensões de referência das defensas do tipo PI

Este tipo de defesa, devido à excentricidade com que cada módulo é colocado, permite uma maior segurança em relação às acostagens com ângulos elevados. A deformação de uma peça é contrabalançada pelo outro módulo que tem uma deformação contrária.

As dimensões do modelo escolhido estão representadas no quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Características físicas das defensas do tipo PI

	H	A	B*	C*	D	F	J	M	W	K	E	Parafusos	Peso
UE1200	1200	435	557	252	46–60	748	61	65–90	870	250	500	M48	717

Para este tipo de modelo, a capacidade de reacção e de absorção de energia estão representadas no quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Características mecânicas das defensas do tipo PI

		E2.8
UE 1200	Energia (kJm)	335
	Reacção (kN)	612

De forma a que a defesa seja dimensionada o mais correctamente possível, é necessário escolher um tipo de borracha adequado, de forma a que esta não seja nem sub nem sobre dimensionada. Desta forma poderiam ser utilizadas defensas do tipo UE-1200, com uma projecção em planta de 1,2 m.

Como se pode verificar, a escolha de um nível de borracha adequado permite que a absorção da energia cinética seja total, como observado na figura 4.17.

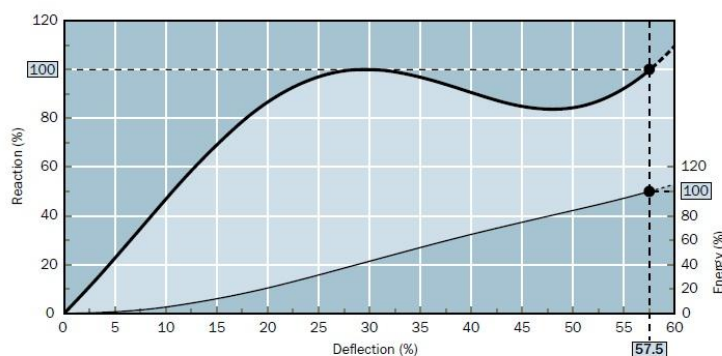


Figura 4.17 - Curva de energia-deformação de defensas do tipo PI

Uma vez mais neste modelo, observa-se que a defesa absorve a totalidade da energia cinética da embarcação, sendo que a deflexão de referência do fabricante é de 57,5%.

Dessa forma a deflexão do equipamento faz com que a altura comprimida em planta da defesa seja de 0,696 m e a distância entre casco do navio e cais de acostagem seja de 0,195 m.

Sendo assim o espaçamento máximo admitido entre cada defesa é de 17,9 m. Adoptando este espaçamento será necessário equipar o cais com 11 defensas, de forma a que seja possível respeitar as especificações de segurança na estrutura de acostagem e no próprio navio.

4.2.8.3. DEFENSAS DO TIPO V

As características físicas e mecânicas das defensas do tipo V em estudo estão representadas no Quadro 4.9 e 4.10 e nas Figuras 4.18 e 4.19. Estes elementos são necessários para a determinação do espaçamento entre cada peça de equipamento que irá ser colocada no terminal, logo são de conhecimento imprescindível.

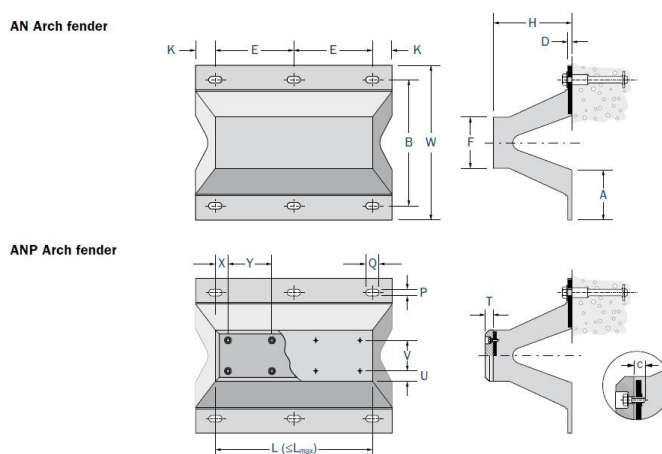


Figura 4.18 - Características e dimensões de referência de defensas do tipo V

As dimensões de referência de cada modelo de defesa têm uma grande utilidade no projecto, uma vez que as defensas podem ser colocadas com o seu eixo na vertical ou na horizontal. Se a dimensão da superestrutura do cais for muito reduzida, ou se as variações do nível de água forem muito consideráveis, pode ser necessário optar por outros modelos, ou mudar a configuração prevista de colocação dos equipamentos.

Quadro 4.9 - Características físicas das defensas do tipo V

	max	H	A	B	W	F	D	K	E	P × Q	Parafusos	Peso
AN 1000	3000	1000	580	1550	1850	650	50–62	250	500	54 × 108	M48	1289

Quadro 4.10 - Características mecânicas das defensas do tipo V

		E3.0
AN 1000	Energia (kNm)	328
	Reacção (kN)	844

Neste caso é mais uma vez escolhido um nível de qualidade da borracha integrante do equipamento que permita maximizar a absorção de energia pela peça em questão, que tem uma projecção de 1 m em planta.

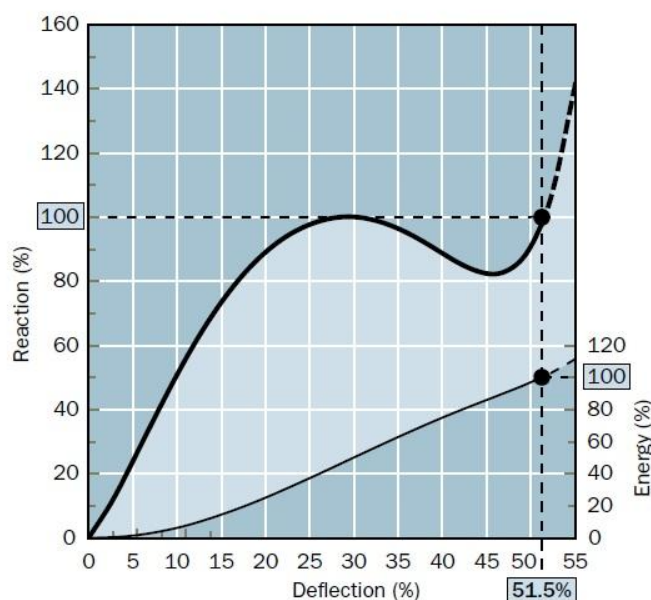


Figura 4.19 - Curva de energia-deformação de defensas do tipo V

De novo, neste modelo, observa-se que a energia cinética de aproximação do navio é de 100% da energia que a defesa pode absorver. Geralmente isto leva a que a defesa ganhe uma grande rigidez, no entanto utiliza-se o valor de referência do fabricante de deflexão de referência de 50%.

Dessa forma a deflexão do equipamento faz com que a altura comprimida em planta da defesa seja de 0,5 m e a distância entre o navio e o cais seja de 0,165.

Sendo assim o espaçamento máximo admitido entre cada defesa é de 18,5 m. Avaliando este espaçamento serão colocados no cais 10 defensas do tipo V.

4.3. DIMENSIONAMENTO COM RECURSO A APLICAÇÃO INFORMÁTICA

O objectivo da realização de uma aplicação informática é facilitar o dimensionamento, tornando o método mais automático, sendo necessária a introdução de um pequeno número de variáveis para a obtenção do resultado final.

Através do programa Excel, é possível definir uma ferramenta de cálculo, relativamente simples, onde estejam definidos os diversos factores presentes no dimensionamento de um sistema de defensas. Dessa forma é importante definir principalmente as características dos navios e a velocidade com que estes fazem a sua aproximação, uma vez que estes são dois factores preponderantes no dimensionamento.

4.3.1. TIPO DE NAVIO E VELOCIDADE DE ACOSTAGEM

De acordo com o que já foi observado ao longo deste trabalho, a definição das características do navio deve ser um dos primeiros passos do dimensionamento. A definição da tonelage do navio, das suas dimensões e da velocidade de acostagem é de extrema importância devido à influência que estes valores têm no cálculo da energia de acostagem. Desta forma no Quadro 4.11 pode ser observado o quadro de selecção do tipo de navio para o qual irá ser feito o dimensionamento.

Quadro 4.11-Tabela de selecção do tipo de navio para o dimensionamento

Navios Porta-Contentores					
Porte (DWT)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
7.000	10.200	116	108	19,6	6,9
10.000	14.300	134	125	21,6	7,7
15.000	21.100	157	147	24,1	8,7
20.000	27.800	176	165	26,1	9,5
25.000	34.300	192	180	27,7	10,2
30.000	40.800	206	194	29,1	10,7
40.000	53.700	231	218	32,3	11,7
50.000	66.500	252	238	32,3	12,5
60.000	79.100	271	256	35,2	13,2
Seleccionar					
Porte (DWT)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
30.000 ▼	40.800	206	194	29,1	10,7

Depois de definido o tipo de navio para o qual será feito o dimensionamento, é necessário seleccionar a respectiva tonelagem em peso bruto deste, de forma a que se possa obter a sua velocidade de acostagem. Esta tonelagem pode ser escolhida na coluna da esquerda, na tabela de definição da velocidade de acostagem, definida no Quadro 4.12. Esta tabela é definida com base na tabela de Brotsma, ou seja, os valores representativos da velocidade de aproximação são os aconselhados pela PIANC como valores de referência para as manobras de acostagem.

Quadro 4.12 -Tabela de selecção da velocidade de acostagem

Seleccionar					
DWT	Va	Vb	Vc	Vd	Ve
30000 ▼	0,073	0,133	0,198	0,265	0,264

O significado de cada valor da velocidade obtida está representado no Quadro 4.13, e difere de acordo com as características da aproximação e condições de abrigo da zona de acostagem, como foi anteriormente referido.

Quadro 4.13 - Definição das velocidades de acostagem para os principais casos

Va	Aproximação fácil, em zona abrigada (m/s)
Vb	Aproximação difícil, em zona abrigada (m/s)
Vc	Aproximação fácil, em zona exposta (m/s)
Vd	Aproximação de média dificuldade, em zona exposta (m/s)
Ve	Aproximação difícil, em zona exposta (m/s)

4.3.2. COEFICIENTES DE CÁLCULO

Como foi já anteriormente explicado, o coeficiente de bloco é função das dimensões do navio. Não sendo um factor majorador da energia de acostagem, não deixa de ser um coeficiente de importante definição, uma vez que entra no cálculo do coeficiente de massa virtual e de excentricidade.

Existem vários valores para a definição do coeficiente de bloco. Estes valores estão representados no Quadro 4.14.

Quadro 4.14 - Definição dos vários valores possíveis de coeficiente de bloco

	Coeficiente de bloco	
	BRITISH STANDARD (6349)	P.I.A.N.C. (2002)
Tipo de Navio	C_b	C_b
Porta-Contentores	0,67	0,7
Carga Geral	0,61	0,72
Navios-Tanque	0,75	0,85
Ferries	0,55	0,56
Ro-Ro	0,68	0,75
Graneleiros	0,77	0,75
Fórmula	0,66	

Apesar dos diversos valores considerados, apenas são utilizados para o dimensionamento os definidos pela PIANC(2002), uma vez que estes são os valores aconselhados pela maioria dos fabricantes. Os botões de selecção à direita do quadro permitem definir os valores, escolhendo entre o intervalo possível para cada tipo de navio.

O coeficiente de massa virtual, como já foi observado, pode ser definido através de dois métodos diferentes, o método de Vasco Costa (1964) ou o método definido pela PIANC(2002). Através da inserção do valor da profundidade do cais de acostagem na célula a amarelo, obtém-se ambos os valores. No Quadro 4.15 é apresentada a tabela de dados na aplicação informática para a obtenção do coeficiente de massa virtual.

Quadro 4.15 - Coeficiente de massa virtual

Coeficiente de massa virtual		
Calado	(m)	10,7
Boca	(m)	29,1
Profundidade	(m)	11,7
Folga sobre a quilha(Kc)	(m)	1
Kc/Profundidade		0,09
Vasco Costa		1,74
PIANC (2002)		1,80

De seguida deve ser definido o coeficiente de excentricidade. Este coeficiente é o de cálculo mais complexo, no entanto através do uso desta ferramenta de cálculo, o valor deste é obtido automaticamente assim que se definem as características do navio e o ângulo de acostagem. No Quadro 4.16 estão definidos os valores necessários para o cálculo do coeficiente de excentricidade assim como o valor deste.

Quadro 4.16 - Coeficiente de excentricidade

Coeficiente de excentricidade		
K	(m)	45,67
R	(m)	50,64
α	(°)	10
Lbp	(m)	194
Cb		0,66
$\gamma = (90^\circ - \alpha - \arcsen(B/2R))$	(°)	63,30
Ce		0,56

O coeficiente de configuração do cais é de simples definição, uma vez que para a sua determinação é apenas necessário saber se este é de paramento aberto ou fechado e a razão entre a folga sob a quilha e o calado do navio. Os valores a considerar estão representados no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 - Coeficiente de configuração do cais

Coeficiente de configuração do cais	
Paramento Fechado	
$Kc/D \leq 0,5$	0,8
$Kc/D > 0,5$	0,9
Paramento Aberto	
$Kc/D \leq 0,5$	0,9
$Kc/D > 0,5$	1

O coeficiente de amortecimento pode assumir dois valores. No entanto, e como foi anteriormente explicado, a definição da deformação do casco do navio é difícil de quantificar, logo, apesar de no Quadro 4.18 estarem representados os dois valores, vai ser sempre utilizado o valor de coeficiente de amortecimento igual a 1.

Quadro 4.18 - Coeficiente de amortecimento

Coeficiente de amortecimento	
se $\delta > 150 \text{ mm}$	1
se $\delta \leq 150 \text{ mm}$	0,9

É importante referir que o símbolo δ não representa a deflexão das defensas, mas sim a deformação do casco do navio, ou no caso de existirem, as defensas existentes no próprio navio.

4.3.3. FACTOR DE SEGURANÇA

O factor de segurança, como foi explicado no capítulo 2, pode variar segundo a dimensão dos navios, no caso de estes serem navios petroleiros, graneleiros ou porta-contentores. Estes valores podem ser variáveis devido às grandes diferenças destes tipos de navios quanto ao seu porte.

Sendo assim, através do uso da ferramenta de cálculo em Excel, e uma vez que os valores do factor de segurança estão já definidos pela PIANC, é possível defini-los através de uma tabela, alterando apenas

os valores variáveis. No Quadro 4.19 pode-se verificar o formato com que estes valores são fornecidos.

Quadro 4.19 - Factor de segurança

	Factor de Segurança	
Petroleiro e Graneleiro	↑ ↓	1,25
Porta-contentores	↑ ↓	1,5
Carga Geral		1,75
Ro-Ro e Ferries		≥2
Reboc. e Embarc. de trabalho		2

Como se pode ver, os valores do factor de segurança estão já definidos, e através das caixas de selecção presentes no quadro é possível escolher um valor de factor de segurança adequado ao cálculo da energia de acostagem. No caso dos ferries e dos navios Ro-Ro, apesar do factor de segurança poder ser superior a 2, considera-se que o factor de segurança tem esse valor.

4.3.4. ESPAÇAMENTO ENTRE DEFENSAS

A determinação do espaçamento entre defensas é um dos principais objectivos do dimensionamento. Depois da definição da energia de acostagem e da selecção do tipo de defesa a ser colocada no cais em questão é necessário determinar qual será o espaçamento máximo entre cada defesa. Este espaçamento, como já foi demonstrado ao longo do trabalho, pode trazer grandes problemas às manobras de acostagem no caso de não ser correctamente determinado.

Para o cálculo do espaçamento entre defensas, não foi possível elaborar uma ferramenta automática de cálculo, uma vez que a escolha do tipo de defesa pode depender de questões orçamentais, da dimensão do cais e da dificuldade de colocação destas. O método de colocação assim como as próprias características mecânicas e físicas de cada defesa diferem de fabricante para fabricante, pelo que não foi incluído um método automático uma vez que a escolha de cada defesa difere para cada caso, não havendo uma única solução correcta.

Para o cálculo do espaçamento entre defensas, é necessário numa primeira abordagem calcular o raio de proa do navio, uma vez que este valor tem grande influência na acostagem. No Quadro 4.20 está ilustrado como é determinado o raio de proa do navio na aplicação informática.

Quadro 4.20 - Raio de proa do navio

Comprimento total (m)	206
Boca (m)	29,1
Raio de Proa (m)	98,42
$R_B = 1/2 \cdot \left[\left(\frac{B}{2} \right) + \left(\frac{L_{OA}^2}{8 \cdot B} \right) \right]$	

Os valores do comprimento total e da boca do navio foram já definidos no quadro de selecção do tipo de navio.

Depois de definido o raio de proa, para a determinação do espaçamento entre defensas, é necessário definir as características intrínsecas a cada defesa, como a sua dimensão em projecção em conjunto com o painel de protecção, a sua deflexão e a distância entre o navio e o cais durante o contacto do navio. Estes valores devem ser introduzidos após a escolha de um tipo de defesa adequado, através dos catálogos que são fornecidos como exemplo. No Quadro 4.21 está definido o cálculo do espaçamento, assim como os valores que são necessários inserir nas células com fundo amarelo.

Quadro 4.21 - Espaçamento entre defensas

Dimensão da defesa	(m)	1,2	
Comprimento da defesa e painel de protecção	(m)	1,3	
Deflexão da defesa	(%)	69	0,828
Distância entre navio e cais	(m)	0,065	5
Espaçamento máximo	(m)	17,9	(%)
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$			
Comprimento do cais	(m)	203	
Número mínimo de defensas colocadas		11	

Todos estes valores devem ser definidos durante a escolha da defesa a ser colocada. Após a colocação dos dados nas células a amarelo, é definido o espaçamento máximo entre cada defesa de forma a ser garantida a segurança nas manobras de acostagem.

Na distância entre o navio e cais existe uma célula de escolha de percentagem. Este valor é definido pela PIANC entre 5 e 15 por cento da projecção do comprimento da defesa e seu painel de protecção. Através da barra de selecção à direita é possível definir a percentagem que irá ser escolhida para efectuar o cálculo.

A célula com fundo branco apresenta a expressão através da qual se determina o espaçamento entre defensas.

Na última linha do quadro está definido o número de defensas que devem ser colocadas, dependendo do comprimento do cais em questão.

4.3.5. RESULTADOS

Depois de concluídos os passos anteriormente descritos deve ser observada a folha de resultados.

Nesta folha da ferramenta de cálculo podem ser observados todos os valores que interferem no cálculo. É possível assim definir os valores de factor de segurança e de bloco de acordo com o tipo de navio, o coeficiente de configuração do cais de acordo com o tipo de estrutura de acostagem e relação entre a profundidade e o calado do navio, o coeficiente de massa virtual de acordo com o método de cálculo e a velocidade de acostagem segundo as características da aproximação. Nesta folha estão definidos ainda todos os valores que intervêm no dimensionamento do sistema de defensas. Na Figura 4.20 e no Quadro 4.22, podem ser observados os resultados do dimensionamento efectuado no terminal Tecondi.

Através das barras de selecção à direita dos quadros de resultados é possível definir o tipo de navio, a parâmetro de velocidade mais adequado e o método de cálculo do coeficiente de massa virtual para o qual é feito o dimensionamento. A escolha destes parâmetros deve ser feita de forma criteriosa uma vez que se estes forem mal seleccionados podem obter-se resultados que não correspondam à realidade do terminal para o qual é feito o dimensionamento.

No Quadro 4.22 estão definidos os principais resultados do dimensionamento, isto é, de acordo com o tipo de defensas seleccionado, está definido o espaçamento e o número de defensas que devem ser colocadas no cais em questão, de forma a que seja garantida a segurança na acostagem dos navios.

PROFUNDIDADE DO CANAL (m)		11,7
----------------------------------	--	-------------

NAVIO	
Porte (d.w.t.)	30.000
Deslocamento (t)	40.800
Comprimento (m)	206
Comprimento entre perpendiculares (m)	194
Boca (m)	29,1
Calado (m)	10,7

COEFICIENTES	
Bloco (PIANC)	0,66
Massa virtual	1,80
Excentricidade	0,560
Amortecimento	1
Configuração do cais	1

PIANC (2002) ▼

Velocidade de acostagem (m/s)	
0,133	
▼	
vb	
Ângulo de acostagem (°)	
10	
Tipo de cais	
Kc/D > 0,5	▼
Factor de segurança	
1,8	
▼	
Porta-contentores	
Energia de acostagem (kNm)	
653,96	
Energia (2 defensas)(kNm)	
326,98	

Figura 4.20 - Valores intervenientes no dimensionamento de defensas

Quadro 4. 22-Resultados do dimensionamento de defensas

Comprimento do cais (m)	203
Espaçamento entre defensas (m)	14,8
Número mínimo de defensas a colocar	13

4.3.6. DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

Depois de demonstrado o método e as especificações desta aplicação informática, é necessário verificar o seu funcionamento. Desta forma, nos Quadros 4.23, 4.24 e 4.25 está representado o dimensionamento dos três tipo de defesa analisados neste trabalho.

Quadro 4.23 - Resultados do dimensionamento para defensas cone

Defensa do Tipo CONE			
Dimensão da defesa (m)		0,8	
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)		0,9	
Deflexão da defesa (%)	$\frac{\Delta}{\nabla}$	72	0,576
Distância entre navio e cais (m)		0,135	15 $\frac{\Delta}{\nabla}$ (%)
Espaçamento máximo (m)		12,2	
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$			
Comprimento do cais (m)		203	
Número mínimo de defensas colocadas		16	

Quadro 4.24 - Resultados do dimensionamento para defensas do tipo V

Defensa do Tipo V			
Dimensão da defesa (m)		1	
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)		1,1	
Deflexão da defesa (%)	$\frac{\Delta}{\nabla}$	50	0,5
Distância entre navio e cais (m)		0,165	15 $\frac{\Delta}{\nabla}$ (%)
Espaçamento máximo (m)		18,5	
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$			
Comprimento do cais (m)		203	
Número mínimo de defensas colocadas		10	

Quadro 4.25 - Resultados do dimensionamento para defensas do tipo PI

Defensa do Tipo PI			
Dimensão da defesa (m)		1,2	
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)		1,3	
Deflexão da defesa (%)	$\frac{\Delta}{\nabla}$	58	0,696
Distância entre navio e cais (m)		0,195	15 $\frac{\Delta}{\nabla}$ (%)
Espaçamento máximo (m)		17,9	
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$			
Comprimento do cais (m)		203	
Número mínimo de defensas colocadas		11	

Nestes quadros é necessário introduzir os valores do comprimento do cais e da dimensão da defesa em planta. A projecção da defesa e painel é calculada automaticamente uma vez que é considerado pela generalidade dos fabricantes que estes painéis têm uma espessura de cerca de 10 cm. As percentagens da deflexão da defesa e da distância entre navio e cais podem ser alteradas nas barras de selecção nos próprios quadros.

O dimensionamento dos sistemas de defensas pode assim resumir-se a estes valores, de importância fundamental para a execução do projecto. Através da observação destes quadros é possível também verificar o dimensionamento já feito neste trabalho, de forma a corrigir alguns erros que possam ter ocorrido nos cálculos e estudar soluções alternativas.

4.4. COMENTÁRIOS FINAIS

Uma vez que o projecto em questão assenta no estudo da ampliação de um terminal que já está construído, a possibilidade de manter as defensas já utilizadas nesse cais, facilita a escolha final da solução.

Desta maneira devem ser colocadas defensas do tipo PI, uma vez que estas são as já existentes no terminal em questão, permitindo que o material colocado seja semelhante ao previamente determinado. A escolha de peças semelhantes às já utilizadas no terminal trazem algumas vantagens ao nível da manutenção, especialmente durante a fase de exploração, assim como permitem a possibilidade de utilização de peças sobresselentes, no caso dos materiais utilizados serem iguais.

Uma vez que o espaçamento máximo definido neste estudo, de 17,9 m, é superior ao já utilizado na construção do Tecondi, pode ser admitido que o espaçamento escolhido seja o espaçamento padrão de 16 m, por motivos construtivos, facilitando assim o processo de colocação. Dessa forma os navios que atraquem numa parte do cais, podem fazê-lo ao longo de todo o comprimento da ampliação do cais.

Sendo assim serão colocadas 13 defensas do tipo PI, modelo UE-1200, com um espaçamento de 16 m. Este espaçamento por ser inferior ao espaçamento máximo determinado, fica do lado da segurança, no entanto pode aumentar o orçamento da obra em questão por ser necessária a instalação de mais peças do que o previsto no cálculo.

Foi considerado no dimensionamento a existência de painéis de protecção nas defensas, uma vez que a colocação destas peça é aconselhada na maioria da bibliografia estudada. Uma vez que estes têm geralmente uma espessura entre os 8 e os 12 cm, considerou-se um valor médio de 10 cm, aumentando as dimensões da defesa em planta e também o espaçamento máximo entre as defensas.

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objectivo deste trabalho, foi aplicar a um caso real o método de dimensionamento de defensas em terminais portuários, através de uma síntese, que engloba os critérios de dimensionamento e métodos utilizados por diversos fabricantes para esta prática.

A informação fornecida por vários fabricantes permite compreender de forma aprofundada o método utilizado para o dimensionamento deste tipo de equipamentos, que se não forem instalados de forma correcta podem causar graves danos às embarcações, aos cais e à estrutura e logística de transporte dos portos em causa.

A oportunidade de fazer um estudo de caso num terminal em ampliação permitiu entender as dificuldades que um trabalho deste tipo pode apresentar, uma vez que é necessário executar um estudo rigoroso da envolvente do terminal em questão, assim como da diversidade das suas características.

Através da pesquisa feita, foi possível entender que não existe apenas um método de dimensionamento, assim como não existe uma solução única, no entanto existem métodos amplamente utilizados por diversas autoridades portuárias, fabricantes e associações internacionais de navegação, que geralmente assentam em anos de estudo e experiência prática.

Para executar um trabalho deste tipo é necessário conhecer tanto as características do porto e do terminal, assim como das condições gerais do clima local, das características gerais de vários tipos de embarcação e entender o funcionamento das próprias defensas e seus acessórios como instrumento de defesa e de segurança.

No decorrer deste trabalho foi utilizado um método específico de dimensionamento, e foram avaliadas as dificuldades que podem surgir num projecto deste tipo. Foi possível também aprender o funcionamento e características das defensas como primeira interface no contacto entre navios e cais de acostagem.

Um dos objectivos deste trabalho foi também aplicar um método de dimensionamento, de forma a explicar os passos que são necessários tomar para chegar a uma conclusão acerca do tipo de equipamento que deve ser escolhido, assim como as condições em que este deve ser colocado. Dessa forma o método é explicado, reunindo o máximo de informação possível, possibilitando a aplicação do processo estudado em vários tipos de estrutura. Esta síntese pode ser utilizada para o dimensionamento de sistemas de defensas a ser colocados em outros tipos de cais e portos, sendo necessário determinar previamente as características intrínsecas às estruturas portuárias, que são, como foi explicado, variáveis de acordo com a localização geográfica e exposição aos diversos elementos.

Outro dos objectivos deste trabalho foi elaborar uma aplicação informática de forma a que o dimensionamento seja feito de forma automática, sendo necessária a introdução de um pequeno número de valores de referência. Foi possível definir uma ferramenta de cálculo automático que possibilita o dimensionamento de um sistema de defensas, introduzindo a profundidade do cais para o

qual está a ser feito o dimensionamento, o comprimento do paramento do cais em questão e a dimensão da defesa, em planta, que é seleccionada para a colocação em obra. Todos os outros valores que interferem no cálculo estão presentes nas folhas de cálculo e a sua selecção é feita através de ferramentas do programa.

A realização deste estudo permite também entender a importância que um sistema de defensas tem, enquanto equipamento de segurança em vários tipos de portos, e nas diferentes estruturas de acostagem. É possível verificar que a não colocação, ou a colocação sem critérios bem definidos de decisão podem provocar prejuízos às estruturas portuárias, uma vez que um dimensionamento mal executado pode levar a acidentes que causam paragens de trabalhos, o que pode ser desastroso do ponto de vista da logística num porto de grandes dimensões.

Através dos passos definidos neste trabalho é possível chegar a uma solução plausível, que pode ser tomada em conta quando for necessário executar um projecto semelhante a este.

BIBLIOGRAFIA

- Alfredini, P.; Arasaki, E. , *Obras e gestão de Portos e Costas*, Editora Blucher, 2009, São Paulo, Brasil
- Bratteland, E. , *Advances of Berthing and Mooring of Ships and offshore structures*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda
- [1] Associação Brasileira de normas técnicas, *NBR 9782-Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas e Fluviais*, Fórum Nacional de Normalização, 1987
- [2] Fender system design, Fentek
- [3] Fender design, Section 12, Trelleborg, Ref. M1100-S12-V1.2-EN
- [4] Fentek Marine fendering systems, issue 08/02 (catálogo da Fentek)
- [5] Gaythwaite, J. , *Design of marine facilities for the berthing, mooring and repair of vessels*, American society of civil engineers, reston, Virginia, 2004
- [6] Manuel Ventura, Apontamentos da disciplina de Projecto de Navios I, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- Mason, J. , *Obras Portuárias*, Editora Campus, 1981, Rio de Janeiro, Brasil
- [7] Neves Coelho, E. et al, *Relatório Anual 2008*, Relatório de Contas do Porto de Santos, 2008, Companhia de Docas do Estado de São Paulo-CODESP, Santos, São Paulo
- [8] Rosa Santos, P., *Análise da interacção de navios com dispositivos de acostagem e amarração. Estudo em modelo físico do posto "A" do terminal de petroleiros do porto de Leixões*, FEUP, Porto, Portugal, 2010
- Thoresen, Carl A., *Port Designers Handbook: Recommendations and Guidelines*, Thomas Telford Publishing, Londres, Inglaterra, 2003
- Tsinker, Gregory P., *Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance and Security*, John Wiley and sons, 2004, Hoboken, New Jersey
- [9] Veloso Gomes, F. , *Estruturas de acostagem e amarração*, Laboratório de Hidráulica F.E.U.P., Porto
- [10] Veloso Gomes, F. et al, *Estudo em modelo físico da eficiência hidráulica à reflexão de blocos verticais perfurados*, FEUP, Porto, Portugal, 2007
- [11] Working group 24, *Criteria for movements of moored ships in Harbours: A practical guide*, II comité técnico, 1995, Bruxelas, PIANC Bruxelas
- [12] Working group 33, *Guidelines for the design of fender systems:2002*, 2002, PIANC, Bruxelas, Bélgica

SITES CONSULTADOS

- [13] American Association of port authorities <http://www.aapa-ports.org/Industry/content.cfm?ItemNumber=900>, 16/10/2010
- <http://www.andino.ind.br/prodDefensas.htm>
- <https://www.apdl.pt/>
- <http://www.bromma.com/show.php?id=1182566>
- <http://www.burleighmarine.co.uk/>

<http://www.copabo.com.br/index.php/364>

<http://www.demacopr.com/>

<http://www.fantuzzi.com/en/index.htm>

<http://irmome.com/Index.asp>

<http://www.intercompras.com.br/fentek/produto.asp>

<http://www.katradis.com/products.php?category=rubber>

http://www.liebherr.com/pt-PT/default_lh.wfw

[14] Marinha do Brasil - http://www.mar.mil.br/menu_h/navios/menu_navios_mb.htm#, 09/10/2010

<http://www.marinefendersintl.com/index.html>

<http://www.maritimeinternational.com/?gclid=CKPBk-eP56MCFdRU2godFzGeTg>

<http://www.maritimejournal.com/>

<http://www.pianc.org/home.asp>

<http://www.portfender.com/fender/Products/>

<http://www.portodesantos.com.br/>

[15] Porto de Santos - <http://www.portodesantos.com.br/calado.php>, 19/10/2010

<http://www.taihong.cn/english/ecp/ehxsj.html>

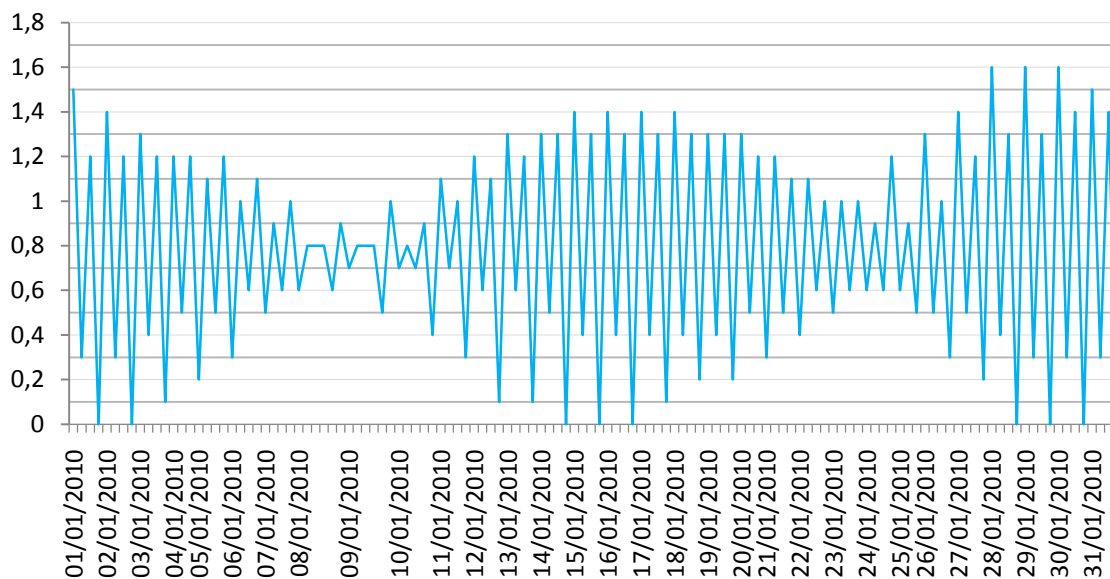
[16] Terminal Tecondi - http://www.tecondi.com.br/estrutura_servicos.php, 27/10/2010

<http://www.trelleborg.com/en/Trelleborg-Marine-Systems/>

Anexos

Gráficos de variação de marés no Porto de Santos durante o ano de 2010

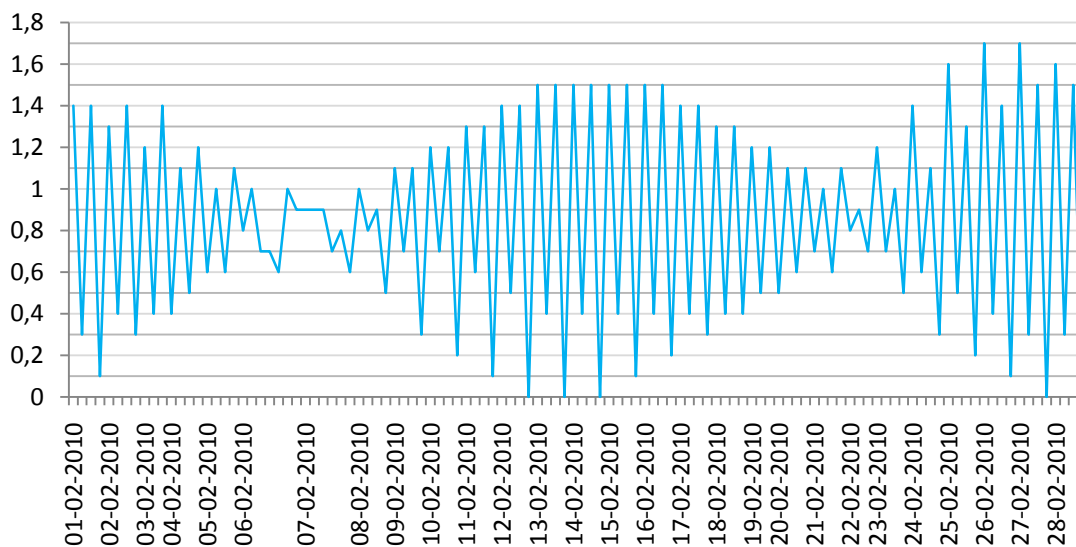
Janeiro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Janeiro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

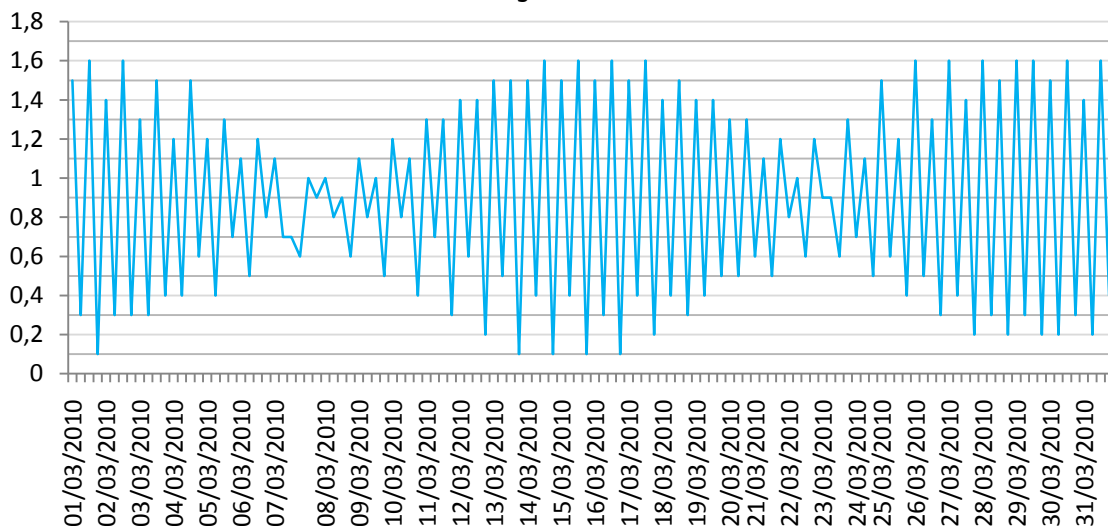
Fevereiro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Fevereiro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

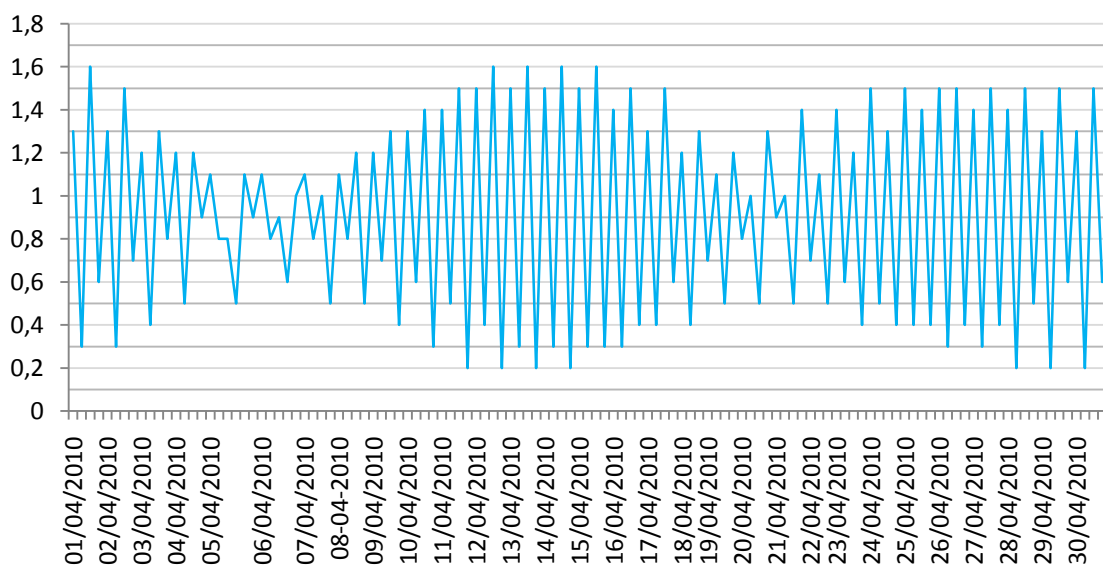
Março de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Março de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

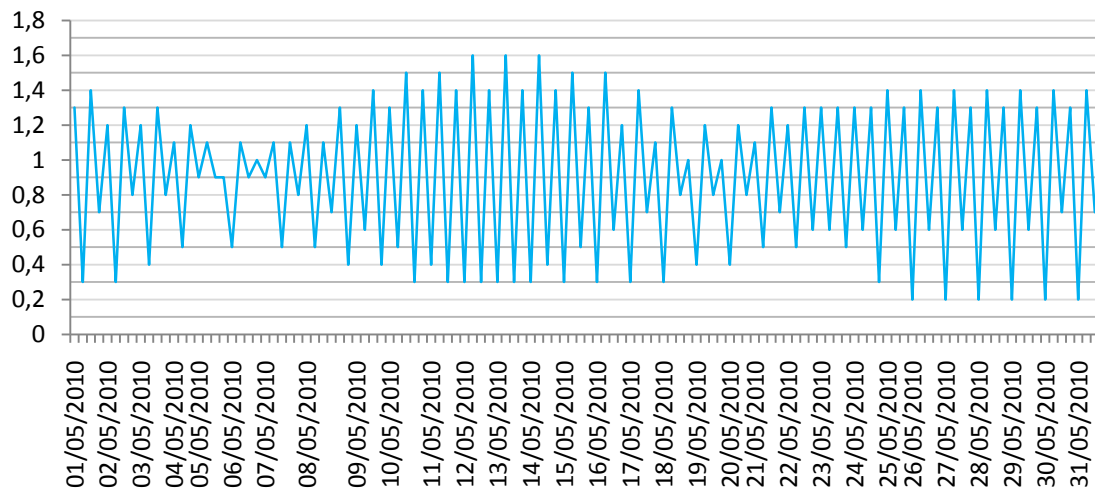
Abril de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Abril de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

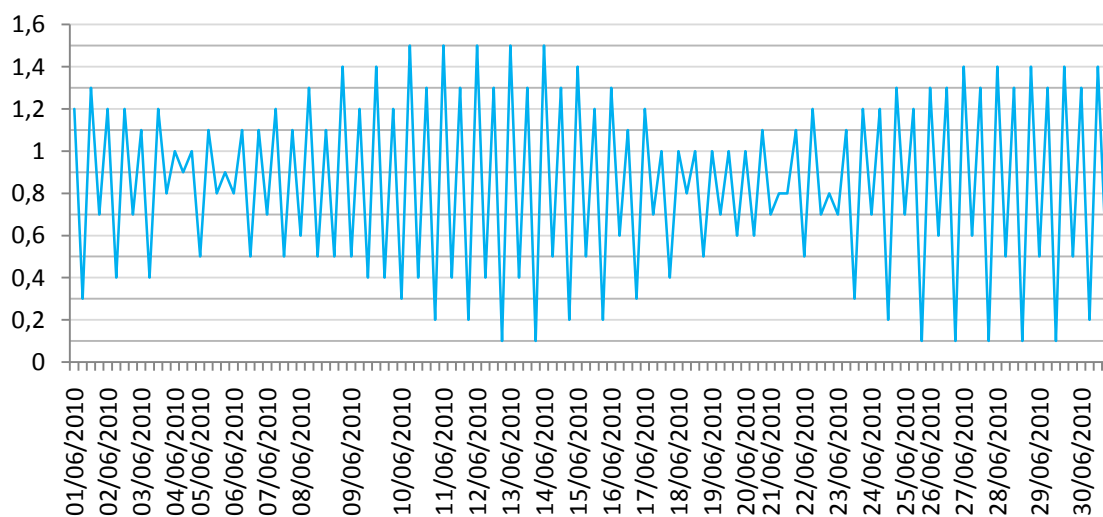
Maio de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Maio de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

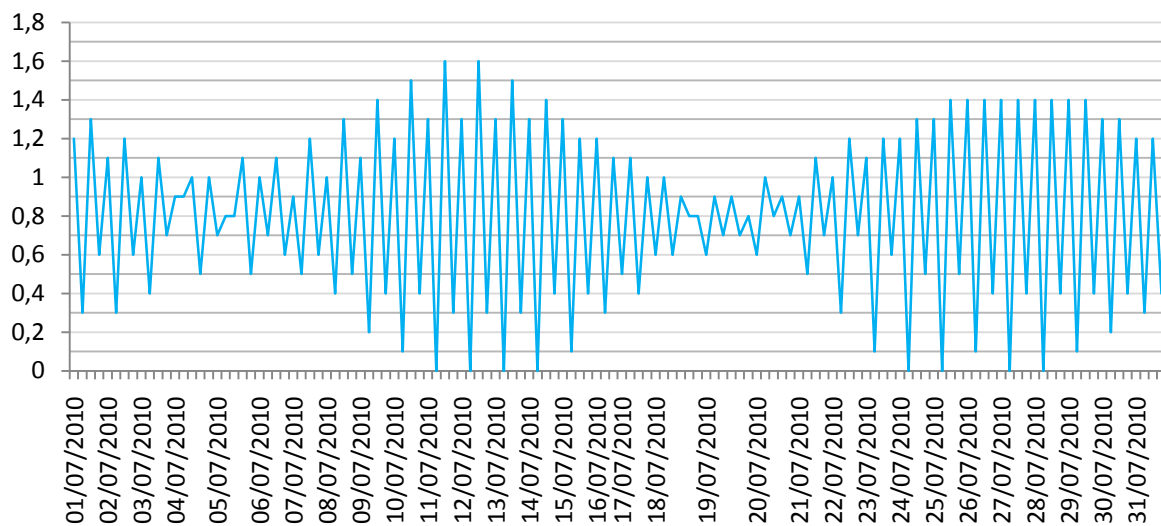
Junho de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Junho de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

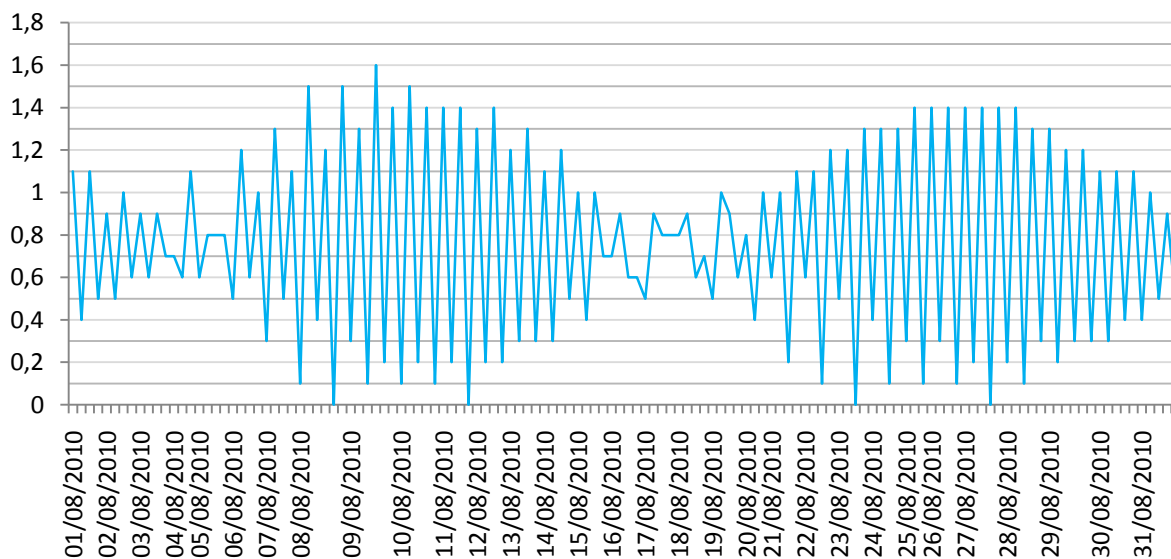
Julho de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Julho de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

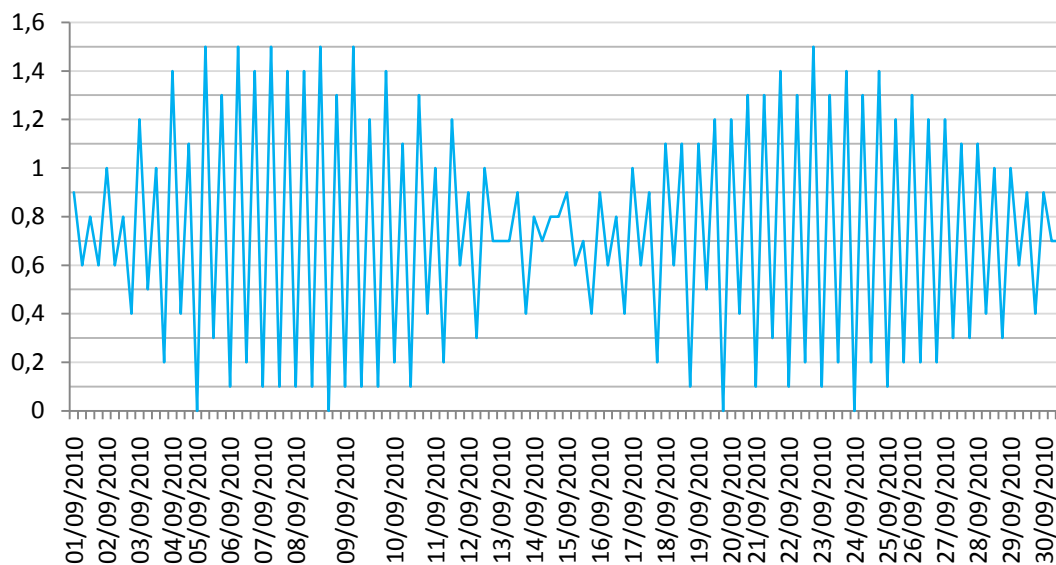
Agosto de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Agosto de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

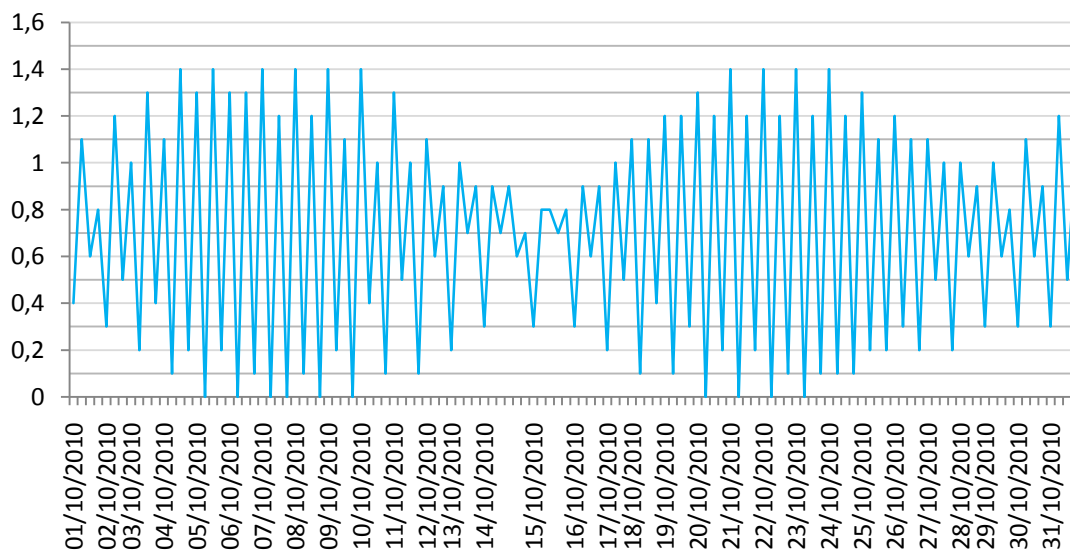
Setembro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Setembro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

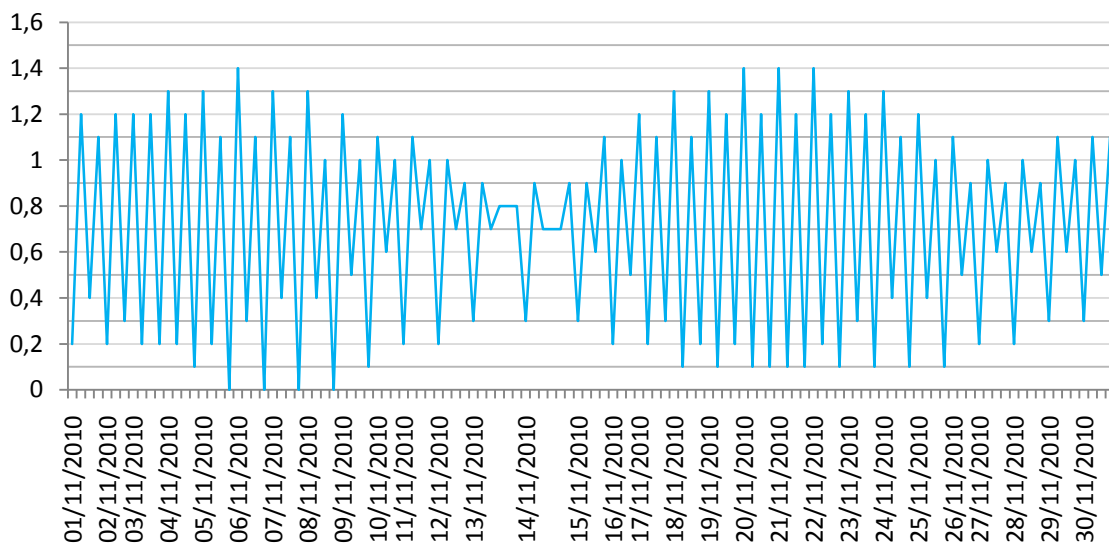
Outubro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Outubro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

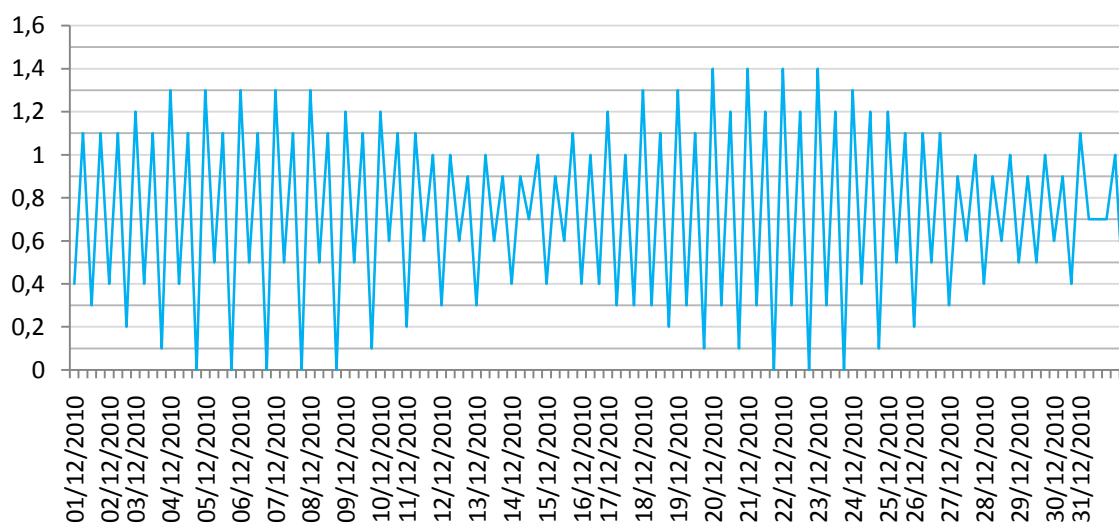
Novembro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Novembro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

Dezembro de 2010



Evolução do nível de maré durante o mês de Dezembro de 2010

— Altura da água em relação ao zero hidrográfico (m)

Ferramenta informática para o dimensionamento de defensas

Dimensionamento de Defensas Marítimas

Aplicação ao caso do terminal portuário Tecondi do porto de Santos, Brasil

Fazer alterações em conformidade com as escolhas feitas, tais como o tipo de navio, tonagem do navio e método escolhida para o cálculo

Folha de cálculo principalmente focada para o dimensionamento de defensas em terminais de contentores, segundo o método do PIANC (2002), e utilizando defensas do tipo P, V e CONE

Para efectuar o cálculo do espaçamento é necessário observar nos catálogos em anexo o tipo de defesa desejada e introduzir os valores pedidos

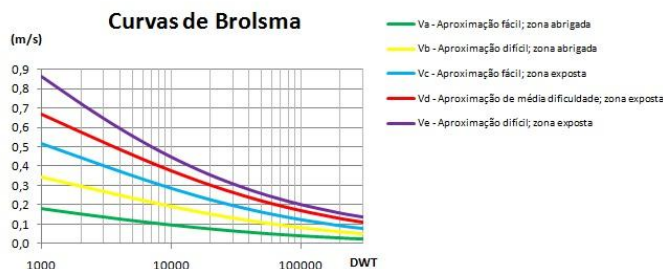
Inserir valores **APENAS** nas células com fundo amarelo

Miguel de Mira Godinho Grego Leal

Navios Porta-Contentores					
Porte (DWT)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
7.000	10.200	116	108	19,6	6,9
10.000	14.300	134	125	21,6	7,7
15.000	21.100	157	147	24,1	8,7
20.000	27.800	176	165	26,1	9,5
25.000	34.300	192	180	27,7	10,2
30.000	40.800	206	194	29,1	10,7
40.000	53.700	231	218	32,3	11,7
50.000	66.500	252	238	32,3	12,5
60.000	79.100	271	256	35,2	13,2
Seleccionar					
Porte (DWT)	Deslocamento (t)	Comprimento (m)	Comprimento entre perpendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)
30.000 ▼	40.800	206	194	29,1	10,7

Velocidade de acostagem (m/s)					
DWT	Va	Vb	Vc	Vd	Ve
1000	0,179	0,343	0,517	0,670	0,865
2000	0,151	0,297	0,446	0,579	0,726
3000	0,136	0,270	0,404	0,525	0,648
4000	0,125	0,250	0,375	0,488	0,596
5000	0,117	0,236	0,353	0,460	0,557
7000	0,106	0,214	0,320	0,419	0,502
10000	0,094	0,192	0,287	0,378	0,447
15000	0,082	0,169	0,252	0,333	0,391
20000	0,074	0,153	0,229	0,304	0,354
25000	0,068	0,142	0,212	0,282	0,328
30000	0,064	0,133	0,198	0,265	0,308
40000	0,057	0,120	0,179	0,240	0,278
50000	0,052	0,110	0,164	0,222	0,257
60000	0,048	0,102	0,153	0,207	0,240
100000	0,039	0,083	0,126	0,172	0,200
200000	0,028	0,062	0,095	0,131	0,157
300000	0,022	0,052	0,080	0,112	0,136
Selecionar					
DWT	Va	Vb	Vc	Vd	Ve
30000	0,073	0,133	0,198	0,265	0,264

Va	Aproximação fácil, em zona abrigada (m/s)
Vb	Aproximação difícil, em zona abrigada (m/s)
Vc	Aproximação fácil, em zona exposta (m/s)
Vd	Aproximação de média dificuldade, em zona exposta (m/s)
Ve	Aproximação difícil, em zona exposta (m/s)



Tipo de Navio	Coeficiente de bloco	
	BRITISH STANDARD (6349)	P.I.A.N.C. (2002)
Porta-Contentores	0,67	0,7
Carga Geral	0,61	0,72
Navios-Tanque	0,75	0,85
Ferries	0,55	0,56
Ro-Ro	0,68	0,75
Graneleiros	0,77	0,75
Fórmula	0,66	

Ângulo de acostagem (α °)	10
---------------------------	----

Coeficiente de configuração do cais	
Paramento Fechado	
Kc/D ≤ 0,5	0,8
Kc/D > 0,5	0,9
Paramento Aberto	
Kc/D ≤ 0,5	0,9
Kc/D > 0,5	1

Coeficiente de massa virtual	
Calado (m)	10,7
Boca (m)	29,1
Profundidade (m)	11,7
Folga sobre a quilha(Kc) (m)	1
Kc/Profundidade	0,0935
Vasco Costa	1,74
PIANC (2002)	1,80

Coeficiente de excentricidade	
K (m)	45,67
R (m)	50,64
α (°)	10
Lbp (m)	194
Cb	0,66
γ = (90° - α - arcsen(B/2R)) (°)	63,30
Ce	0,56

Coeficiente de amortecimento	
se δ > 150 mm	1
se δ ≤ 150 mm	0,9

Factor de Segurança	
Petroleiro e Graneleiro	1,25
Porta-contentores	1,8
Carga Geral	1,75
Ro-Ro e Ferries	≥ 2
Reboc. e Embarc. de trabalho	2

Comprimento total (m)	206
Boca (m)	29,1
Raio de Proa (m)	98,42

$$R_B = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{B}{2} \right)^2 + \left(\frac{L \cdot A^2}{8 \cdot B} \right) \right]$$

Defensa do Tipo CONE	
Dimensão da defesa (m)	0,8
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)	0,9
Deflexão da defesa (%)	72
Distância entre navio e cais (m)	0,135
Espaçamento máximo (m)	12,2
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$	
Comprimento do cais (m)	203
Número mínimo de defensas colocadas	16

Defensa do Tipo V	
Dimensão da defesa (m)	1
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)	1,1
Deflexão da defesa (%)	50
Distância entre navio e cais (m)	0,165
Espaçamento máximo (m)	18,5
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$	
Comprimento do cais (m)	203
Número mínimo de defensas colocadas	10

(Ver gráficos de energia-deformação e inserir percentagem na célula F4)

15 (%) Percentagem da dimensão da projecção da defesa depois de comprimida

(Ver gráficos de energia-deformação e inserir percentagem na célula F16)

15 (%) Percentagem da dimensão da projecção da defesa depois de comprimida

Defensa do Tipo PI	
Dimensão da defesa (m)	1,2
Comprimento da defesa e painel de protecção (m)	1,3
Deflexão da defesa (%)	58
Distância entre navio e cais (m)	0,195
Espaçamento máximo (m)	17,9
$S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$	
Comprimento do cais (m)	203
Número mínimo de defensas colocadas	11

(Ver gráficos de energia-deformação e inserir percentagem na célula F28)

15 (%) Percentagem da dimensão da projecção da defesa depois de comprimida

PROFUNDIDADE DO CANAL (m) 11,7

NAVIO	
Porte (d.w.t.)	30.000
Deslocamento (t)	40.800
Comprimento (m)	206
Comprimento entre perpendiculares (m)	194
Boca (m)	29,1
Calado (m)	10,7

COEFICIENTES	
Bloco (PIANC)	0,66
Massa virtual	1,80
Excentricidade	0,560
Amortecimento	1
Configuração do cais	1

PIANC (2002)

Velocidade de acostagem (m/s)	0,133	v _b
Ângulo de acostagem (°)	10	
Tipo de cais	K _c /D > 0,5	
Factor de segurança	1,8	Porta-contentores
Energia de acostagem (kNm)	653,96	
Energia (2 defensas) (kNm)	326,98	

Catálogo de defensas da Trelleborg

High Performance Fenders



Section 1



Trelleborg Marine Systems

www.trelleborg.com/marine

Ref. M1100-S01-V1.2-EN

Super Cone
SCK Cell
Parallel Motion
Unit Elements
Arch Fenders
Corner Arch

PIANC TYPE APPROVAL

PIANC is a worldwide non-political and non-profit technical and scientific organization of national governments, corporations and private individuals. PIANC's objective is to promote both inland and maritime navigation by fostering progress in the planning, design, construction, improvement, maintenance and operation of inland and maritime waterways and ports and of coastal areas for general use in industrialised and industrialising countries.

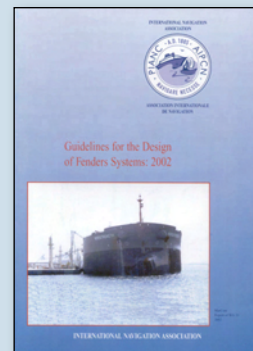
PIANC was founded in 1885 and is the oldest international association concerned with these technical aspects of navigation. It has made – and continues to make – a vital contribution to technical development in this field. PIANC's members form an active world-wide network of professionals in the field of inland and maritime navigation and ports.

Trelleborg Marine Systems is a corporate member of PIANC.

PIANC contact details

General Secretariat
Bâtiment Graaf de Ferraris, 11th floor
Blvd. du Roi Albert II, 20, PO Box 3
B-1000 Brussels
Belgium

Tel: +32 2 553 71 61
Fax: +32 2 553 71 55
info@pianc-aipcn.org
www.pianc.org



Type Approval certificate



TYPE APPROVAL CERTIFICATE

This is to certify that Germanischer Lloyd have witnessed and verified reported results of fenders manufactured by :

Trelleborg Hercules Pte Ltd
4 Jalan Pesawat
Singapore 619361

All fenders were tested in accordance with :

PIANC Guidelines for the Design of Fender Systems : 2002
Appendix "A" : Procedure to Determine & Report the Performance of Marine Fenders

This **Type Approved Certificate** applies to the following fender types :

FENTEK SUPER CONE - Type SCN
FENTEK CELL FENDER - Type SCK
FENTEK UNIT ELEMENT - Type UE
FENTEK ARCH FENDER - Type AN
FENTEK ARCH FENDER - Type ANP

Approval Certificate No : 45342

Type Approval Date
30 October 2004

Certificate Date
1 December 2004



Issued By : **JOHNY TEO**

Fatigue test certificate



TYPE APPROVAL CERTIFICATE

This is to certify that Germanischer Lloyd has witnessed and verified reported results of fenders manufactured by :

Trelleborg Hercules Pte Ltd
4 Jalan Pesawat
Singapore 619361

All fenders were tested on Fatigue Test for 3,000 cycles in accordance with :

PIANC Guidelines for the Design of Fender Systems : 2002
Appendix "A" : Procedure to Determine & Report the Performance of Marine Fenders

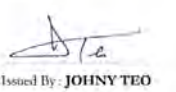
This **Type Approved Certificate** applies to the following fender types :

FENTEK SUPER CONE - Type SCN
FENTEK CELL FENDER - Type SCK
FENTEK UNIT ELEMENT - Type UE
FENTEK ARCH FENDER - Type AN
FENTEK ARCH FENDER - Type ANP

Approval Certificate No : 45369

Type Approval Date
31 March 2005

Certificate Date
1 April 2005



Issued By : **JOHNY TEO**

PIANC TYPE APPROVAL

Trelleborg is committed to providing high quality products. Consistency and performance are routinely checked in accordance with the latest procedures and test protocols.

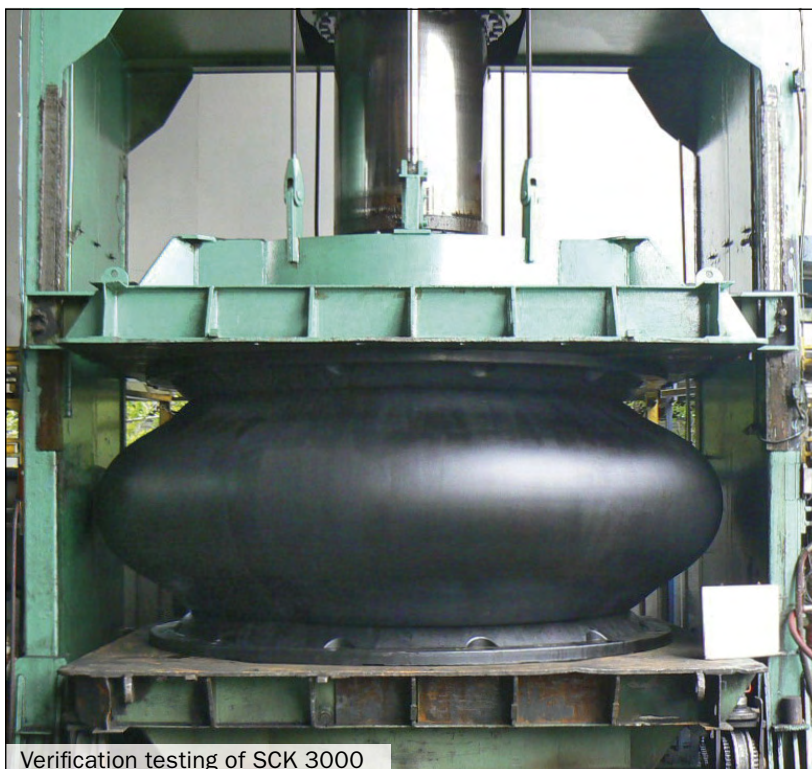
PIANC has introduced new methods and procedures for testing the performance of solid rubber fenders, allowing for real world operating conditions, in their document 'Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002: Appendix A'.

Trelleborg has achieved PIANC Type Approval for the following fender types:

- || Super Cone
- || SCK Cell
- || Unit Element
- || AN Arch
- || ANP Arch

PIANC Type Approval brings the following benefits:

- || proven product quality
- || tests simulate real operating conditions
- || longer service life
- || lower maintenance
- || greater reliability
- || reduced lifetime costs
- || manufacturer commitment
- || excludes unsafe 'copy' and 'fake' fenders
- || simplifies contract specifications



Verification testing of SCK 3000

Testing is carried out in two stages: to prove behaviour of the generic fender type, and then to confirm that performance of fenders made for each project meet the required performances.

Type Approval testing (Stage 1)

PIANC Type Approval testing is carried out to determine the effects of environmental factors on the performance of various fender types. Trelleborg's Type Approval tests are witnessed by Germanischer Lloyd.

Verification testing (Stage 2)

CV method verification testing is routinely carried out on all significant orders to confirm the Rated Performance Data (RPD) of Trelleborg's PIANC Type Approved fenders. Results are normalised to 0.15m/s compression speed, 23°C temperature and 0° compression angle.



Fatigue testing of SCN fender



Speed testing of AN fender

SUPER CONE FENDERS

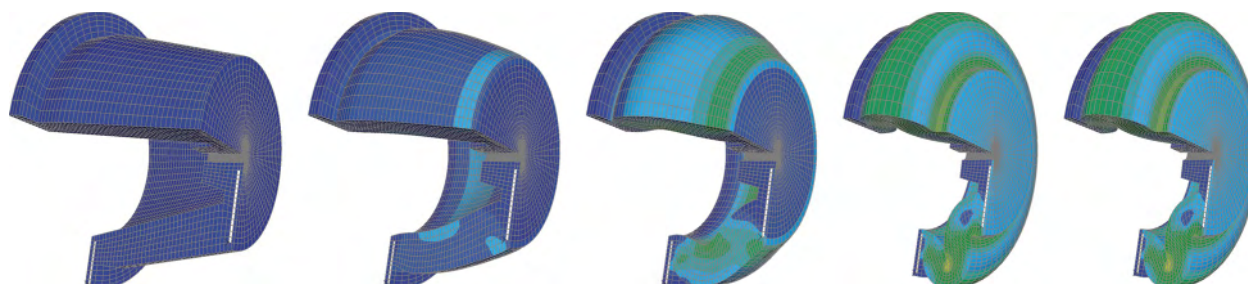
Super Cones are the latest generation of 'cell' fender, with optimal performance and efficiency. The conical body shape makes the SCN very stable even at large compression angles, and provides excellent shear strength. With overload stops the Super Cone is even more resistant to over-compression.

Features

- ▮ Highly efficient geometry
- ▮ No performance loss even at large berthing angles
- ▮ Stable shape resists shear
- ▮ Wide choice of rubber compounds

Applications

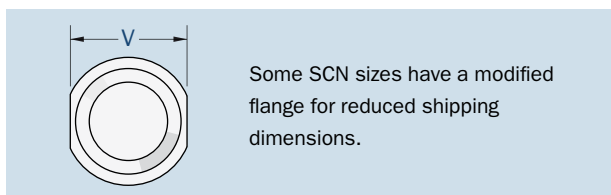
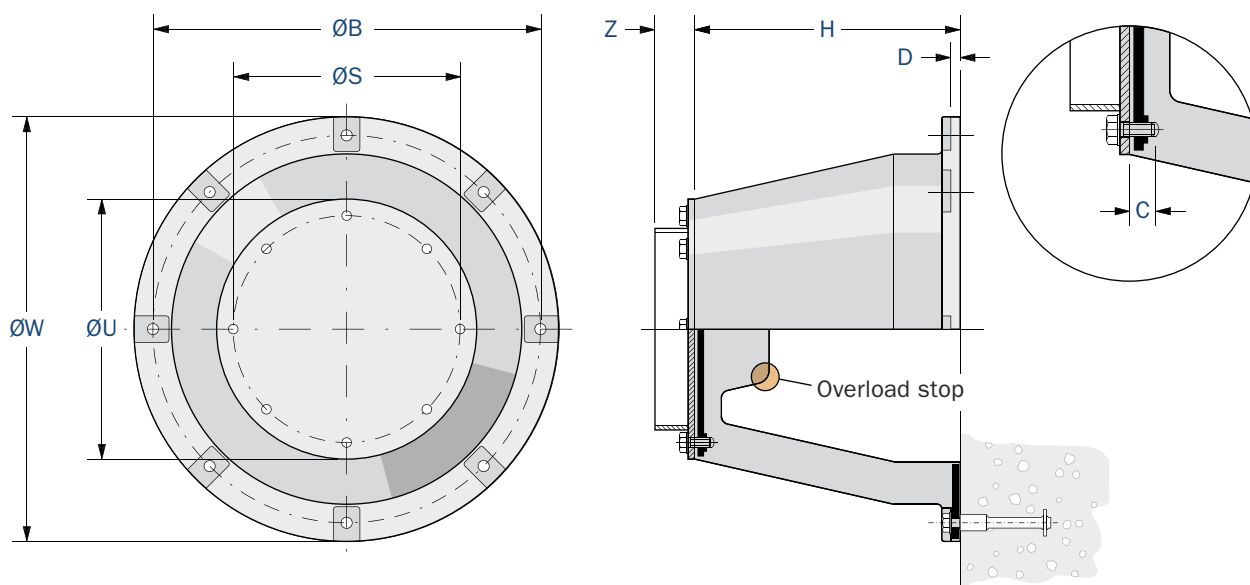
- ▮ General cargo berths
- ▮ Bulk terminals
- ▮ Oil and LNG facilities
- ▮ Container berths
- ▮ RoRo and cruise terminals
- ▮ Parallel motion systems
- ▮ Monopiles and dolphins



SUPER CONE FENDERS

	H	ØW	V	ØU	C	D	ØB	ØS	Anchors/ Head bolts	Z _{min}	Weight
SCN 300	300	500	–	295	27–37	20–25	440	255	4 × M20	45	40
SCN 350	350	570	–	330	27–37	20–25	510	275	4 × M20	52	50
SCN 400	400	650	–	390	30–40	20–28	585	340	4 × M24	60	76
SCN 500	500	800	–	490	32–42	30–38	730	425	4 × M24	75	160
SCN 550	550	880	–	540	32–42	30–38	790	470	4 × M24	82	210
SCN 600	600	960	–	590	40–52	35–42	875	515	4 × M30	90	270
SCN 700	700	1120	–	685	40–52	35–42	1020	600	4 × M30	105	411
SCN 800	800	1280	–	785	40–52	35–42	1165	685	6 × M30	120	606
SCN 900	900	1440	–	885	40–52	35–42	1313	770	6 × M30	135	841
SCN 950	950	1520	1440	930	40–52	40–50	1390	815	6 × M30	142	980
SCN 1000	1000	1600	–	980	50–65	40–50	1460	855	6 × M36	150	1125
SCN 1050	1050	1680	–	1030	50–65	45–55	1530	900	6 × M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	–	1080	50–65	50–58	1605	940	8 × M36	165	1567
SCN 1200	1200	1920	–	1175	57–80	50–58	1750	1025	8 × M42	180	2028
SCN 1300	1300	2080	–	1275	65–90	50–58	1900	1100	8 × M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	2180	1370	65–90	60–70	2040	1195	8 × M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	2390	1570	65–90	70–80	2335	1365	8 × M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	2700	1765	75–100	70–80	2625	1540	10 × M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	–	1955	80–105	90–105	2920	1710	10 × M56	300	9560

[Units: mm, kg]



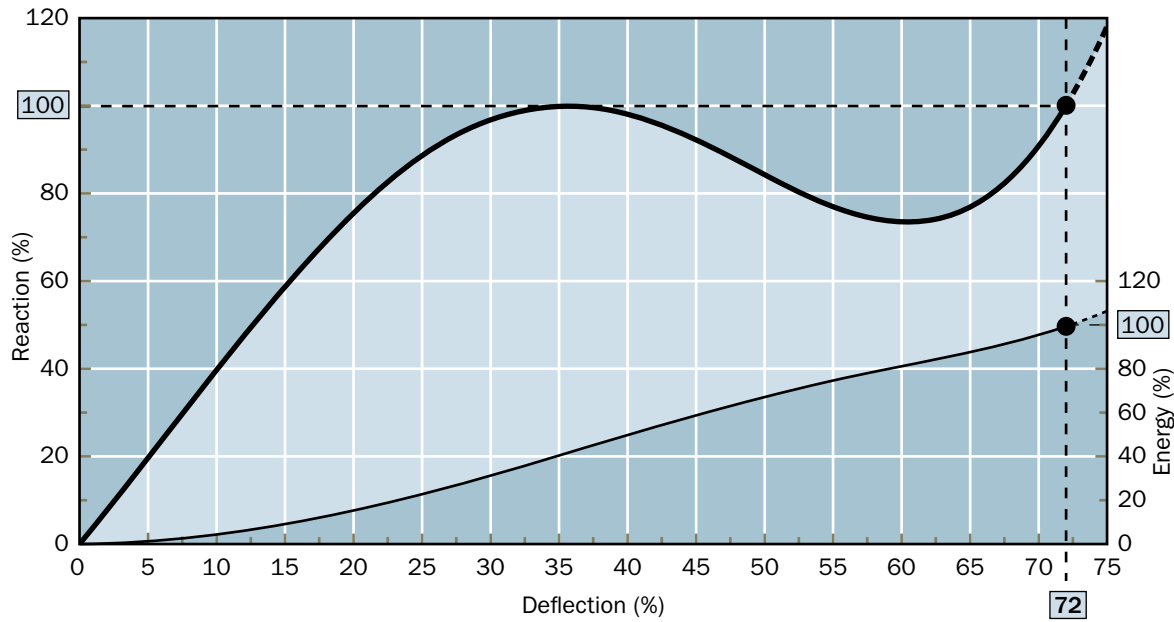
SUPER CONE FENDERS

Rated Performance Data (RPD)*

		E0.9	E1.0	E1.1	E1.2	E1.3	E1.4	E1.5	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.0
SCN 300	E _R	7.7	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9	11.2	11.5
	R _R	59	65	67	68	70	72	74	75	77	79	80	82
SCN 350	E _R	12.5	13.9	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.7	17.1	17.6	18	18.5
	R _R	80	89	91	93	96	98	100	102	104	107	109	111
SCN 400	E _R	18.6	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	24.8	25.5	26.2	26.9	27.6
	R _R	104	116	119	122	125	128	131	133	136	139	142	145
SCN 500	E _R	36.5	40.5	41.9	43.2	44.6	45.9	47.3	48.6	50	51.3	52.7	54
	R _R	164	182	187	191	196	200	205	209	214	218	223	227
SCN 550	E _R	49	54	56	58	59	61	63	65	67	68	70	72
	R _R	198	220	226	231	237	242	248	253	259	264	270	275
SCN 600	E _R	63	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	R _R	225	250	257	263	270	276	283	289	296	302	309	315
SCN 700	E _R	117	130	134	137	141	144	148	151	155	158	162	165
	R _R	320	355	365	374	384	393	403	412	422	431	441	450
SCN 800	E _R	171	190	196	201	207	212	218	223	229	234	240	245
	R _R	419	465	478	490	503	515	528	540	553	565	578	590
SCN 900	E _R	248	275	282	289	296	303	310	317	324	331	338	345
	R _R	527	585	601	617	633	649	665	681	697	713	729	745
SCN 950	E _R	291	322	331	339	348	356	364	373	381	390	398	407
	R _R	588	653	671	688	706	724	742	759	777	795	813	830
SCN 1000	E _R	338	375	385	395	405	415	425	435	445	455	465	475
	R _R	653	725	745	764	784	803	823	842	862	881	901	920
SCN 1050	E _R	392	435	447	458	470	481	493	504	516	527	539	550
	R _R	720	800	822	843	865	886	908	929	951	972	994	1015
SCN 1100	E _R	450	500	514	527	541	554	568	581	595	608	622	635
	R _R	788	875	899	923	947	971	995	1019	1043	1067	1091	1115
SCN 1200	E _R	585	650	668	685	703	720	738	755	773	790	808	825
	R _R	941	1045	1073	1101	1129	1157	1185	1213	1241	1269	1297	1325
SCN 1300	E _R	743	825	847	869	891	913	935	957	979	1001	1023	1045
	R _R	1103	1225	1258	1291	1324	1357	1390	1423	1456	1489	1522	1555
SCN 1400	E _R	927	1030	1058	1085	1113	1140	1168	1195	1223	1250	1278	1305
	R _R	1278	1420	1459	1497	1536	1574	1613	1651	1690	1728	1767	1805
SCN 1600	E _R	1382	1535	1577	1618	1660	1701	1743	1784	1826	1867	1909	1950
	R _R	1670	1855	1905	1955	2005	2055	2105	2155	2205	2255	2305	2355
SCN 1800	E _R	1967	2185	2244	2303	2362	2421	2480	2539	2598	2657	2716	2775
	R _R	2115	2350	2413	2476	2539	2602	2665	2728	2791	2854	2917	2980
SCN 2000	E _R	2700	3000	3080	3160	3240	3320	3400	3480	3560	3640	3720	3800
	R _R	2610	2900	2978	3056	3134	3212	3290	3368	3446	3524	3602	3680

*in accordance with PIANC.

[Units: kNm, kN]



SUPER CONE FENDERS

Rated Performance Data (RPD)*

		E2.1	E2.2	E2.3	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9	E3.0	E3.1	E/R (ε)
SCN 300	E _R	11.8	12.1	12.4	12.7	13.0	13.3	13.5	13.8	14.1	14.4	15.9	0.138
	R _R	84	86	89	91	93	95	97	100	102	104	114	
SCN 350	E _R	19	19.4	19.9	20.3	20.8	21.3	21.7	22.2	22.6	23.1	25.4	0.163
	R _R	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	155	
SCN 400	E _R	28.3	29	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.2	33.9	34.6	38.1	0.186
	R _R	149	153	157	161	165	169	173	177	181	185	204	
SCN 500	E _R	55.4	56.7	58.1	59.4	60.8	62.2	63.5	64.9	66.2	67.6	74.4	0.232
	R _R	233	239	246	252	258	264	270	277	283	289	318	
SCN 550	E _R	74	76	77	79	81	83	85	86	88	90	99	0.256
	R _R	283	290	298	305	313	320	328	335	343	350	385	
SCN 600	E _R	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	132	0.290
	R _R	324	332	341	349	358	366	375	383	392	400	440	
SCN 700	E _R	169	173	177	181	185	189	193	197	201	205	226	0.364
	R _R	462	474	486	498	510	522	534	546	558	570	627	
SCN 800	E _R	252	258	265	271	278	284	291	297	304	310	341	0.414
	R _R	606	621	637	652	668	683	699	714	730	745	820	
SCN 900	E _R	355	364	374	383	393	402	412	421	431	440	484	0.466
	R _R	765	785	805	825	845	865	885	905	925	945	1040	
SCN 950	E _R	418	429	440	451	463	473	485	496	507	518	570	0.492
	R _R	853	875	897	919	941	963	986	1008	1030	1052	1158	
SCN 1000	E _R	488	501	514	527	540	553	566	579	592	605	666	0.518
	R _R	945	969	994	1018	1043	1067	1092	1116	1141	1165	1282	
SCN 1050	E _R	565	580	595	610	625	640	655	670	685	700	770	0.544
	R _R	1042	1069	1096	1123	1150	1177	1204	1231	1258	1285	1414	
SCN 1100	E _R	652	669	686	703	720	737	754	771	788	805	886	0.571
	R _R	1145	1174	1204	1233	1263	1292	1322	1351	1381	1410	1551	
SCN 1200	E _R	847	869	891	913	935	957	979	1001	1023	1045	1150	0.622
	R _R	1361	1396	1432	1467	1503	1538	1574	1609	1645	1680	1848	
SCN 1300	E _R	1074	1102	1131	1159	1188	1216	1245	1273	1302	1330	1463	0.674
	R _R	1597	1638	1680	1721	1763	1804	1846	1887	1929	1970	2167	
SCN 1400	E _R	1341	1376	1412	1447	1483	1518	1554	1589	1625	1660	1826	0.725
	R _R	1853	1901	1949	1997	2045	2093	2141	2189	2237	2285	2514	
SCN 1600	E _R	2003	2056	2109	2162	2215	2268	2321	2374	2427	2480	2728	0.830
	R _R	2418	2480	2543	2605	2668	2730	2793	2855	2918	2980	3278	
SCN 1800	E _R	2851	2926	3002	3077	3153	3228	3304	3379	3455	3530	3883	0.932
	R _R	3060	3139	3219	3298	3378	3457	3537	3616	3696	3775	4153	
SCN 2000	E _R	3904	4008	4112	4216	4320	4424	4528	4632	4736	4840	5324	1.039
	R _R	3778	3876	3974	4072	4170	4268	4366	4464	4562	4660	5126	

*in accordance with PIANC.

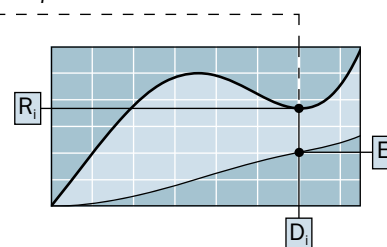
[Units: kNm, kN]

Intermediate deflections

D _i (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	75
E _i (%)	0	1	4	8	15	22	31	40	50	59	67	75	82	89	96	100	106
R _i (%)	0	19	39	59	75	89	97	100	98	92	84	77	73	77	91	100	118

Nominal rated deflection may vary at RPD. Refer to p12–35.

example



PIANC factors (from 3rd party witnessed Type Approval testing)

Angle factor

Angle (°)	AF
0	1.000
3	1.039
5	1.055
8	1.029
10	1.000
15	0.856
20	0.739

Temperature factor

Temperature (°C)	TF
50	0.882
40	0.926
30	0.969
23	1.000
10	1.056
0	1.099
-10	1.143
-20	1.186
-30	1.230

Velocity factor

Time (seconds)	VF
1	1.050
2	1.020
3	1.012
4	1.005
5	1.000
6	1.000
8	1.000
≥10	1.000

For steady state deceleration, the compression time is:

$$t \text{ (seconds)} = \frac{2d}{V_i}$$

d = fender deflection (mm)

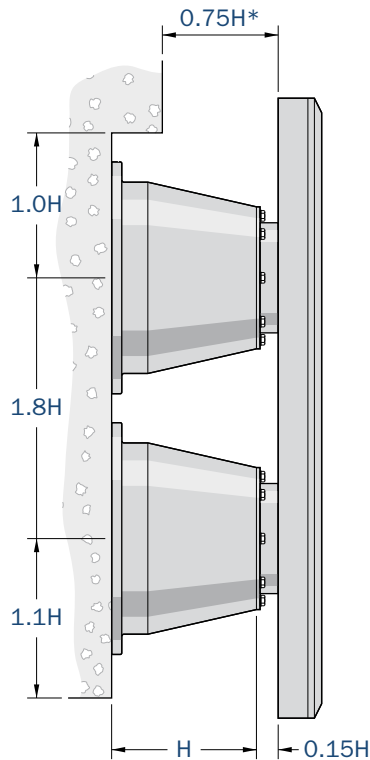
V_i = impact speed (mm/s)

If compression time t < 4s, please ask.

Refer to page 1–2 for further information.

SUPER CONE FENDERS

Clearances

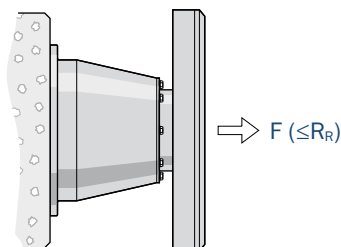


* does not allow for bow flares

There must be enough space around and between Super Cone fenders and the steel panel to allow them to deflect without interference.

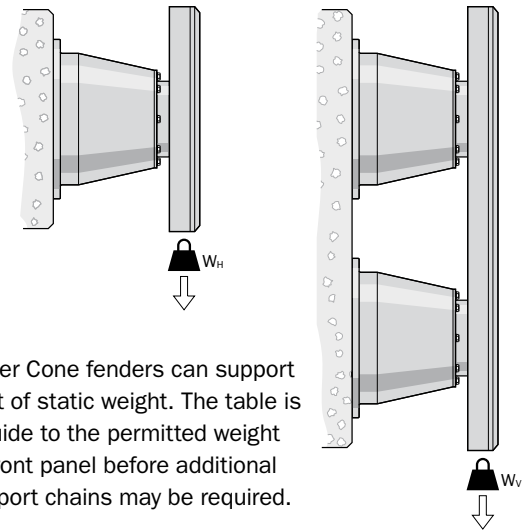
Distances given in the above diagram are for guidance. If in doubt, please ask.

Tension



If the tensile load exceeds the rated reaction then tension chains may be required. Please ask for advice on the design of tension chains.

Weight support



Super Cone fenders can support a lot of static weight. The table is a guide to the permitted weight of front panel before additional support chains may be required.

SCN	Panel weight (kg)	
	Single or multiple horizontal ($n \geq 1$)	Multiple vertical ($n \geq 2$)
E1	$W_H \leq n \times 1.0 \times W$	$W_V \leq n \times 1.25 \times W$
E2	$W_H \leq n \times 1.3 \times W$	$W_V \leq n \times 1.625 \times W$
E3	$W_H \leq n \times 1.5 \times W$	$W_V \leq n \times 1.875 \times W$

n = number of Super Cones. W = Super Cone weight

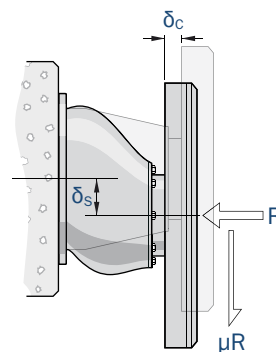
W_H = panel weight – single or multi-horizontal

W_V = panel weight – single or multi-vertical

Interpolate for other grades.

Refer to TMS when Super Cone direction is reversed.

Shear



Super Cones are very stable in shear. The table is a guide to maximum shear deflections (δ_s) for different shear coefficients (μ) and rubber grades.

δ_s	Friction coefficients (μ)			
	0.15	0.2	0.25	0.3
E1	7%	9%	11%	14%
E2	9%	11%	14%	17%
E3	11%	17%	18%	22%

δ_s (max) usually occurs at $\delta_c = 0.3H$ to $0.35H$.

For $\delta_s \geq 20\%$, refer to TMS.

SUPER CONE FENDERS

**Proven
in practice**



Standard manufacturing and performance tolerances apply (see pages 12–36 to 12–39)

M1100-S01-V1.2-EN. © Trelleborg AB, 2008

SCK CELL FENDERS

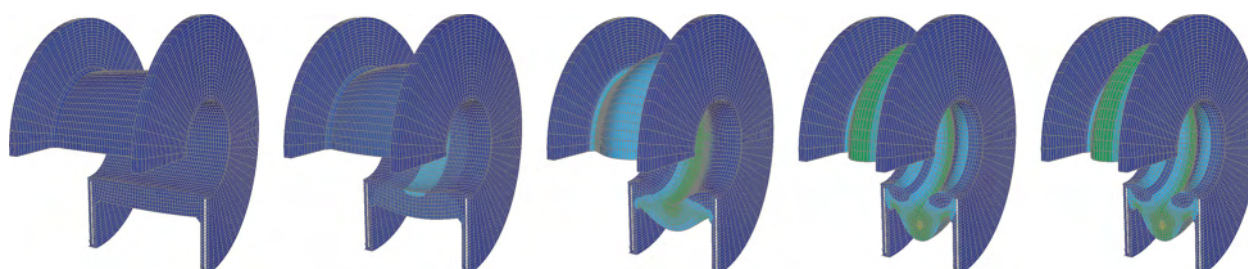
SCK Cell fenders have a very long track record and remain popular because of their simplicity, high performance and strength. They come in a wide range of standard sizes and are interchangeable with many older cell fender types.

Features

- ▮ High performance
- ▮ Can support large panels
- ▮ Strong, well-proven design
- ▮ Ideal for low hull pressure systems

Applications

- ▮ Oil and LNG facilities
- ▮ Bulk terminals
- ▮ Offshore platforms
- ▮ Container berths
- ▮ RoRo and cruise terminals
- ▮ Multi-user berths

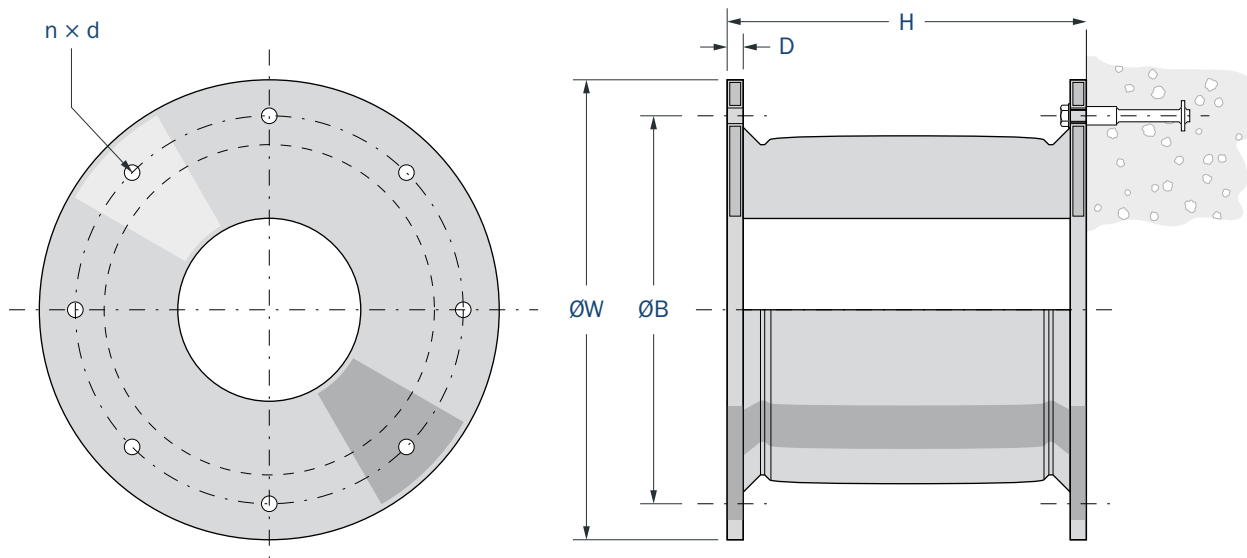


SCK CELL FENDERS

Dimensions

	H	ØW	ØB	D	d	Anchors/ head bolts	Weight
SCK 400H	400	650	550	25	30	4 × M22	75
SCK 500H	500	650	550	25	32	4 × M24	95
SCK 630H	630	840	700	25	32	4 × M27	220
SCK 800H	800	1050	900	30	40	6 × M30	400
SCK 1000H	1000	1300	1100	35	45	6 × M36	790
SCK 1150H	1150	1500	1300	40	50	6 × M42	1200
SCK 1250H	1250	1650	1450	40	50	6 × M42	1500
SCK 1450H	1450	1850	1650	42	61	6 × M48	2300
SCK 1600H	1600	2000	1800	45	61	8 × M48	3000
SCK 1700H	1700	2100	1900	50	66	8 × M56	3700
SCK 2000H	2000	2200	2000	50	76	8 × M64	5000
SCK 2250H	2250	2550	2300	57	76	10 × M64	7400
SCK 2500H	2500	2950	2700	70	76	10 × M64	10700
SCK 3000H	3000	3350	3150	75	92	12 × M76	18500

[Units: mm, kg]



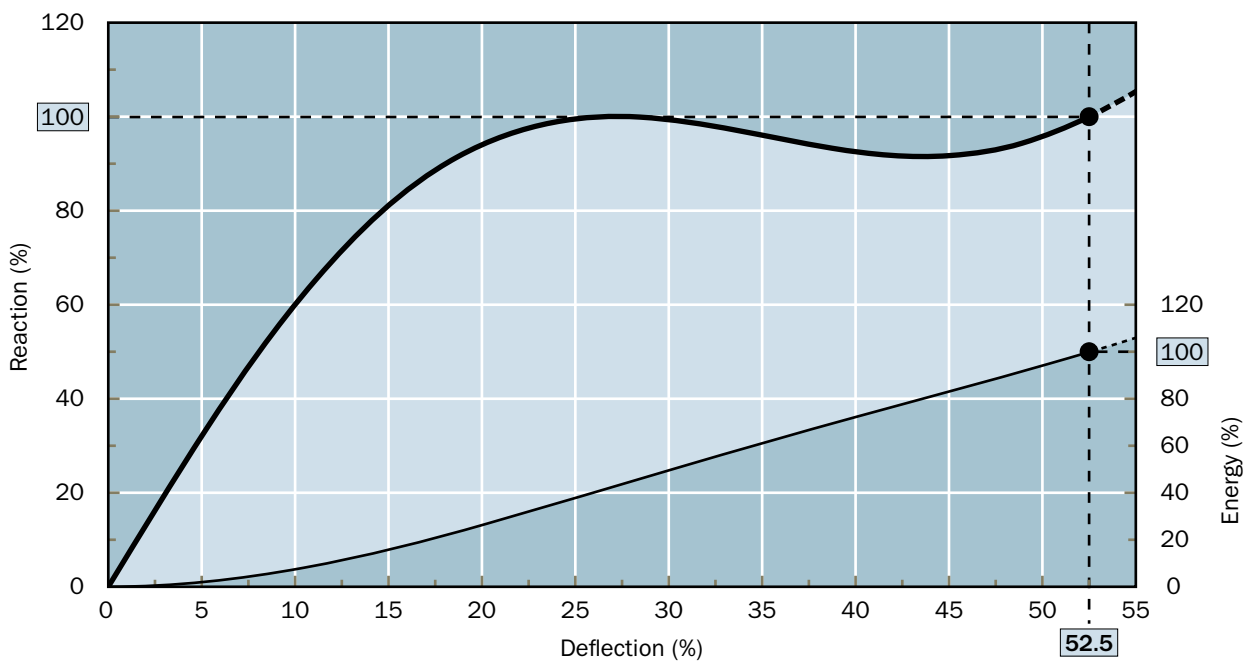
SCK CELL FENDERS

Rated Performance Data (RPD)*

		E0.9	E1.0	E1.1	E1.2	E1.3	E1.4	E1.5	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.0
SCK 400H	E _R	8.8	9.8	10.4	11.0	11.6	12.2	12.7	13.3	13.9	14.5	15.1	15.7
	R _R	50.3	55.9	59.4	62.9	66.5	70	73.5	77.1	80.6	84.1	87.7	91.2
SCK 500H	E _R	16.7	18.6	19.8	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.8	28	29.2	30.4
	R _R	78.6	87.3	92.8	98.3	104	109	115	120	126	131	137	142
SCK 630H	E _R	34.4	38.2	40.6	42.9	45.3	47.6	50	52.4	54.7	57.1	59.4	61.8
	R _R	124	137	146	155	163	172	180	189	198	206	215	224
SCK 800H	E _R	67.1	74.5	79.5	84.5	89.5	94.5	99.5	104	109	114	119	124
	R _R	190	211	225	240	254	268	283	297	312	326	341	355
SCK 1000H	E _R	138	153	163	172	182	191	201	211	220	230	239	249
	R _R	314	349	371	393	415	437	458	480	502	524	455	568
SCK 1150H	E _R	210	233	248	263	277	292	306	321	336	350	365	379
	R _R	416	462	491	520	548	577	606	635	664	692	721	750
SCK 1250H	E _R	269	299	318	337	355	374	393	411	430	449	468	486
	R _R	491	545	579	614	648	682	716	750	784	818	852	887
SCK 1450H	E _R	421	468	497	526	555	585	614	643	672	702	731	760
	R _R	661	734	781	828	875	922	969	1016	1063	1110	1157	1193
SCK 1600H	E _R	566	629	668	707	746	785	825	864	903	942	982	1021
	R _R	805	894	950	1006	1062	1118	1174	1230	1286	1342	1397	1453
SCK 1700H	E _R	678	753	800	847	895	942	989	1036	1083	1131	1178	1225
	R _R	908	1009	1072	1135	1199	1262	1325	1388	1451	1514	1577	1641
SCK 2000H	E _R	1104	1227	1304	1380	1457	1534	1610	1687	1764	1840	1917	1994
	R _R	1258	1397	1485	1572	1659	1746	1833	1920	2007	2094	2181	2268
SCK 2250H	E _R	1854	2060	2169	2279	2388	2497	2606	2715	2824	2933	3042	3151
	R _R	1876	2085	2195	2309	2416	2527	2637	2747	2858	2968	3079	3189
SCK 2500H	E _R	2544	2826	2976	3026	3275	3425	3575	3724	3874	4024	4173	4323
	R _R	2317	2574	2711	2847	2983	3120	3256	3392	3528	3665	3801	3937
SCK 3000H	E _R	3795	4217	4452	4688	4923	5158	5394	5629	5865	6100	6335	6571
	R _R	3310	3678	3879	4080	4281	4482	4683	4884	5085	5286	5487	5688

*in accordance with PIANC.

[Units: kNm, kN]



SCK CELL FENDERS

Rated Performance Data (RPD)*

		E2.1	E2.2	E2.3	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9	E3.0	E3.1	E/R (e)
SCK 400H	E_R R_R	16.2 93.8	16.7 96.5	17.2 99.1	17.7 102	18.1 104	18.6 107	19.1 110	19.6 112	20.1 115	20.6 118	22.7 129	0.174
SCK 500H	E_R R_R	31.3 146	32.2 151	33 155	33.9 159	34.8 163	35.7 167	36.6 172	37.4 176	38.3 180	39.2 184	43.1 203	0.213
SCK 630H	E_R R_R	63.7 230	65.5 237	67.4 244	69.2 250	71.1 257	72.9 264	74.8 270	76.7 277	78.5 284	80.4 290	88.4 319	0.277
SCK 800H	E_R R_R	128 366	132 377	136 388	140 399	144 409	147 420	151 431	155 442	159 453	163 464	179 510	0.351
SCK 1000H	E_R R_R	256 585	264 602	271 619	279 636	286 653	294 670	301 687	309 704	316 720	324 737	356 811	0.438
SCK 1150H	E_R R_R	391 773	402 795	413 818	425 840	436 863	447 886	458 908	470 931	481 953	492 976	541 1073	0.505
SCK 1250H	E_R R_R	501 913	516 940	530 967	545 993	559 1020	574 1047	589 1073	603 1100	618 1127	633 1153	696 1269	0.548
SCK 1450H	E_R R_R	783 1229	805 1265	828 1301	851 1337	874 1372	897 1408	919 1444	942 1480	965 1516	988 1551	1086 1707	0.637
SCK 1600H	E_R R_R	1051 1497	1082 1540	1113 1584	1143 1628	1174 1671	1204 1715	1235 1758	1266 1802	1296 1845	1327 1889	1460 2078	0.702
SCK 1700H	E_R R_R	1262 1690	1298 1739	1335 1788	1372 1837	1408 1886	1445 1935	1482 1985	1518 2034	1555 2083	1592 2132	1751 2345	0.746
SCK 2000H	E_R R_R	2054 2336	2113 2403	2173 2470	2233 2538	2293 2605	2353 2673	2412 2740	2472 2807	2532 2875	2592 2942	2851 3236	0.879
SCK 2250H	E_R R_R	3245 3285	3340 3381	3435 3476	3529 3572	3624 3668	3718 3763	3813 3859	3907 3955	4002 4051	4096 4146	4506 4561	0.988
SCK 2500H	E_R R_R	4452 4056	4582 4174	4712 4292	4841 4410	4971 4528	5101 4647	5230 4765	5360 4883	5490 5001	5619 5119	6181 5631	1.098
SCK 3000H	E_R R_R	6761 5856	6952 6023	7143 6191	7334 6358	7525 6526	7716 6693	7906 6860	8097 7028	8288 7195	8479 7363	9327 8099	1.152

*in accordance with PIANC.

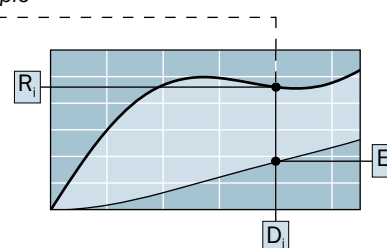
[Units: kNm, kN]

Intermediate deflections

D_i (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52.5	55
E_i (%)	0	2	7	16	26	38	50	61	72	83	94	100	106
R_i (%)	0	32	60	81	94	99	99	96	92	92	96	100	106

Nominal rated deflection may vary at RPD. Refer to p12–35.

example



PIANC factors (from 3rd party witnessed Type Approval testing)

Angle factor

Angle (°)	AF
0	1.000
3	0.977
5	0.951
8	0.909
10	0.883
15	0.810
20	0.652

Temperature factor

Temperature (°C)	TF
50	0.882
40	0.926
30	0.969
23	1.000
10	1.056
0	1.099
-10	1.143
-20	1.186
-30	1.230

Velocity factor

Time (seconds)	VF
1	1.005
2	1.002
3	1.001
4	1.001
5	1.000
6	1.000
8	1.000
≥10	1.000

For steady state deceleration, the compression time is:

$$t \text{ (seconds)} = \frac{2d}{V_i}$$

d = fender deflection (mm)

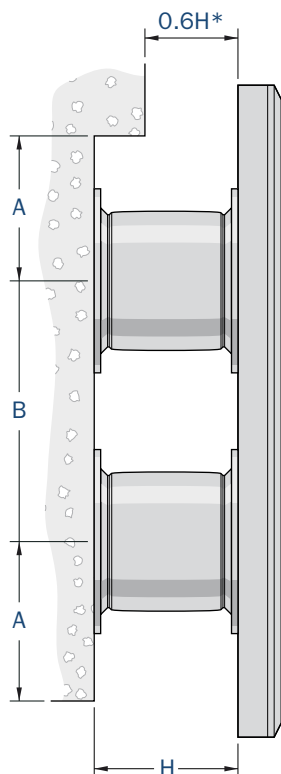
V_i = impact speed (mm/s)

If compression time $t < 4s$, please ask.

Refer to page 1–2 for further information.

SCK CELL FENDERS

Clearances



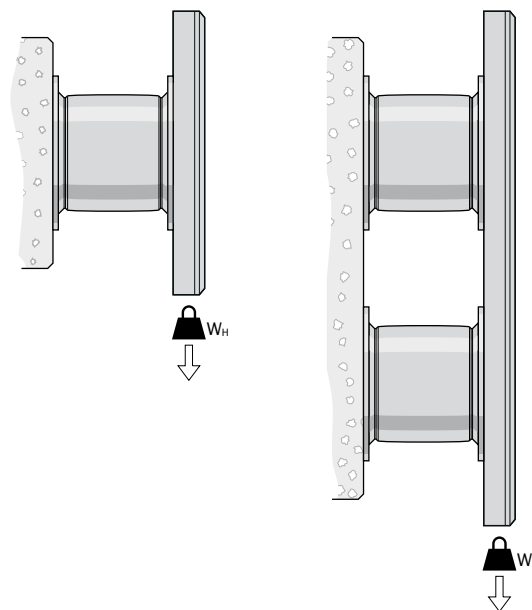
* does not allow for bow flares

There must be enough space around and between the Cell fenders and the steel panel to allow them to deflect without interference.

Distances given in the above diagram are for guidance. If in doubt, please ask.

SCK (H)	Edge (A)	Centres (B)
400	480	700
500	510	700
630	600	880
800	700	1120
1000	850	1500
1150	990	1730
1250	1060	1870
1450	1200	2180
1600	1270	2400
1700	1470	2550
2000	1560	2880
2250	1710	3360
2500	1910	3730
3000	2240	4500

Weight support



Cell fenders can support a lot of static weight. The table is a guide to the permitted weight of front panel before additional support chains may be required.

SCK	Single or multiple horizontal ($n \geq 1$)	Multiple vertical ($n \geq 2$)	H
E1	$W_H \leq n \times 1.0 \times W$	$W_V \leq n \times 1.25 \times W$	≤ 800
E2	$W_H \leq n \times 1.3 \times W$	$W_V \leq n \times 1.75 \times W$	
E3	$W_H \leq n \times 1.5 \times W$	$W_V \leq n \times 2.25 \times W$	
E1	$W_H \leq n \times 11 \times W^{0.6}$	$W_V \leq n \times 13.75 \times W^{0.6}$	≥ 1000
E2	$W_H \leq n \times 19 \times W^{0.6}$	$W_V \leq n \times 23.75 \times W^{0.6}$	
E3	$W_H \leq n \times 25 \times W^{0.6}$	$W_V \leq n \times 31.25 \times W^{0.6}$	

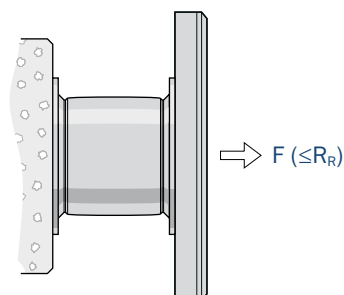
n = number of Cell fenders. W = SCK weight

W_H = panel weight – single or multi-horizontal

W_V = panel weight – single or multi-vertical

Interpolate for other grades

Tension



If the tensile load exceeds the rated reaction then tension chains may be required. Please ask for advice on the design of tension chains.

SCK CELL FENDERS

**Proven
in practice**



PARALLEL MOTION FENDERS

Parallel Motion technology can reduce reaction forces by up to 60% compared with traditional designs. The panel always remains vertical but can cope with large berthing angles – even at 20° there is usually no loss in energy absorption.

Features

- ▮ Ultra-low reaction
- ▮ Non-tilt frontal panel
- ▮ No performance loss at large berthing angles
- ▮ Easy and fast to install
- ▮ Minimal maintenance

Applications

- ▮ RoRo and fast ferry berths
- ▮ LNG and tanker terminals
- ▮ Naval facilities
- ▮ High tidal zones
- ▮ Monopile or 'soft' structures

Increasing energy, reducing reaction

By using two Super Cones back-to-back, the deflection and energy both increase whilst reaction forces stay low. Reduced loads compared to conventional fenders mean less stress in the structure, allowing smaller piles and less concrete to be used.

As Parallel Motion Fenders are mostly preassembled in the factory, installation is simple and fast. Maintenance is minimal too – contributing to the low service life cost of Parallel Motion technology.

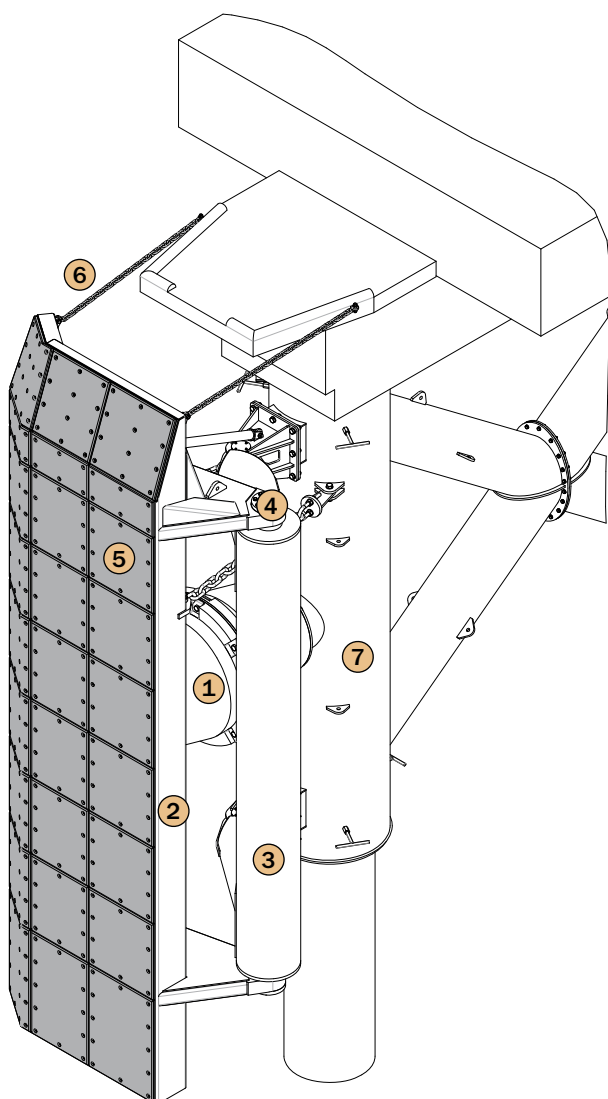
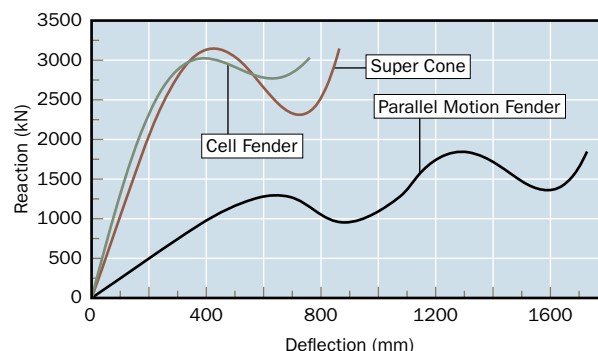


PARALLEL MOTION FENDERS

Comparison of PMF and conventional fenders

Type	E (kNm)			R (kN) RPD	ϵ_{20}
	0°	10°	20°		
Parallel Motion Fender PMF1200 (E3.1 & E1.9)	1957	1957	1957	1848	100%
Super Cone 2 × SCN1200 (E2.7)	1958	1958	1449	3147	43%
Cell Fender 2 × SCK1450 (E2.9)	1930	1704	1258	3032	39%

ϵ_{20} = Relative Efficiency at 20° angle compared to PMF



- 1 Rubber fender units**
Shown here are two Super Cones mounted in a back-to-back 'Twin-Series' configuration.
- 2 Closed box panel (frame)**
Fully sealed, pressure tested design. Shown with optional lead-in bevels which are designed to suit each case.
- 3 Torsion tube and arm assembly**
Also closed-box construction, the tube and arms keep the panel vertical whatever level impact loads are applied.
- 4 Hinge units**
The maintenance-free stainless steel pins and spherical Trelleborg Orkot® bearings allow free rotation to accommodate berthing angles, also eliminating moments in the hinge pin.
- 5 UHMW-PE face pads**
Trelleborg 'Double Sintered' UHMW-PE face pads are standard to minimise friction and maximise service intervals.
- 6 Check chains**
Check chains (optional) act as rope defectors to stop ropes from snagging, and to help with some large angle berthings.
- 7 Pile jackets (optional)**
Purpose designed for every project, pile jackets are factory built for a perfect fit to the fender on-site. They can strengthen the structure and double as a corrosion barrier in the vulnerable splash zone. Jackets are also available for monopile systems.

PARALLEL MOTION FENDERS

Twin-Series Super Cone

	E (kNm)	R (kN)
SCN 400	47–65	149–204
SCN 500	92–127	233–318
SCN 550	122–169	283–385
SCN 600	156–220	324–440
SCN 700	286–387	462–627
SCN 800	423–581	606–820
SCN 900	602–822	765–1040
SCN 1000	826–1131	945–1282
SCN 1050	957–1309	1042–1414
SCN 1100	1102–1507	1145–1551
SCN 1200	1432–1957	1361–1848
SCN 1300	1816–2486	1597–2167
SCN 1400	2268–3104	1853–2514
SCN 1600	3385–4367	2418–3278
SCN 1800	4817–6599	3060–4153
SCN 2000	6609–9044	3778–5126

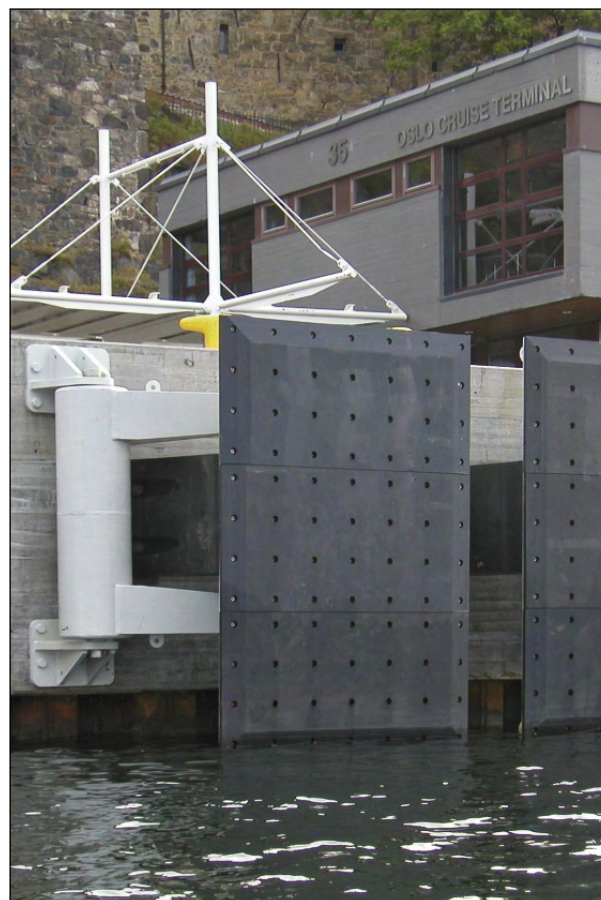
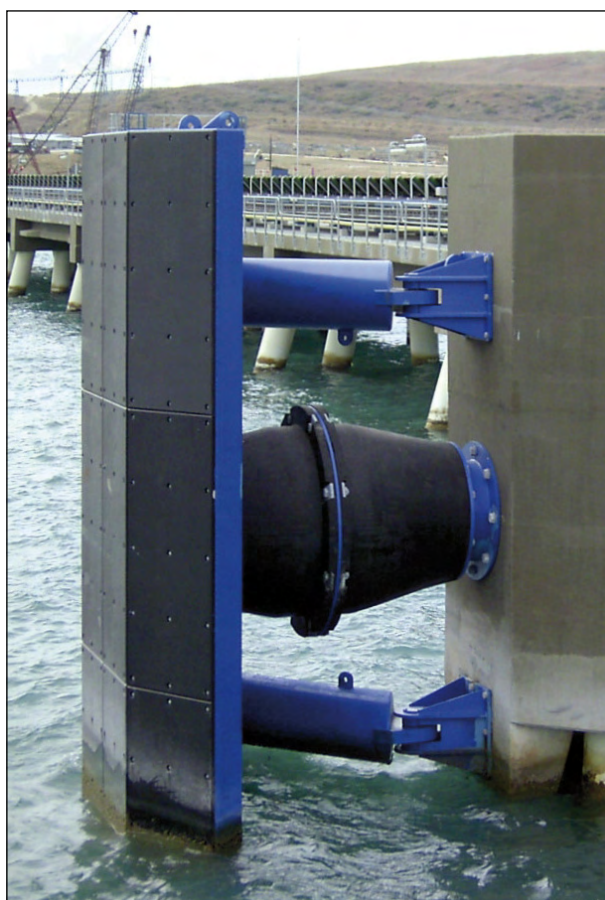
Single Super Cone

	E (kNm)	R (kN)
SCN 400	19–38	104–204
SCN 500	36–74	164–318
SCN 550	49–99	198–385
SCN 600	63–132	225–440
SCN 700	117–226	320–627
SCN 800	171–341	419–820
SCN 900	248–484	527–1040
SCN 1000	338–666	653–1282
SCN 1050	392–770	720–1414
SCN 1100	450–886	788–1551
SCN 1200	585–1150	971–1848
SCN 1300	743–1463	1103–2167
SCN 1400	927–1826	1278–2514
SCN 1600	1382–2728	1670–3278
SCN 1800	1967–3883	2115–4253
SCN 2000	2700–5324	2610–5216

MV and MI Element PMF

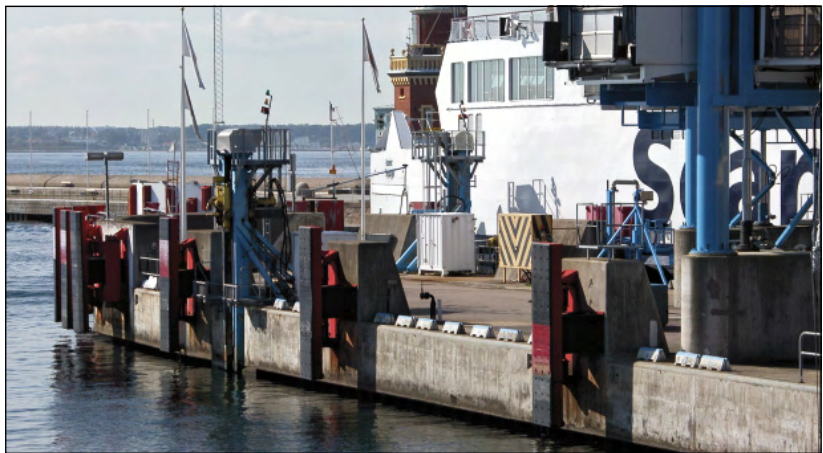
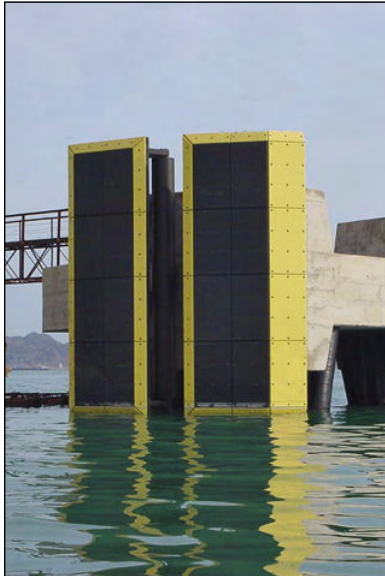
	E (kNm)	R (kN)
MV 400	52–75	284–406
MV 500	82–117	356–508
MV 550	99–141	391–558
MV 600	118–168	427–610
MV 750	183–262	533–762
MV 800	210–300	568–812
MV 1000	328–468	711–1016
MV 1250	511–730	889–1270
MV 1450	687–982	1030–1472
MV 1600	837–1196	1138–1626
MI 2000	1295–1850	1295–1850

MV and MI Elements are not PIANC Type Approved. Performances are based on a pair of 1000mm long elements. Pro-rata for more elements or different lengths.



PARALLEL MOTION FENDERS

**Proven
in practice**



UNIT ELEMENTS

Unit Elements are high-performance, PIANC Type Approved modular rubber fenders. Elements are versatile and can be combined in unlimited combinations of length and direction.

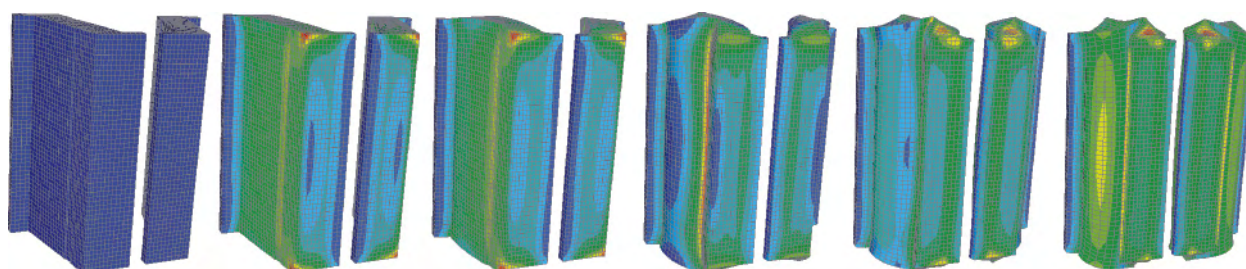
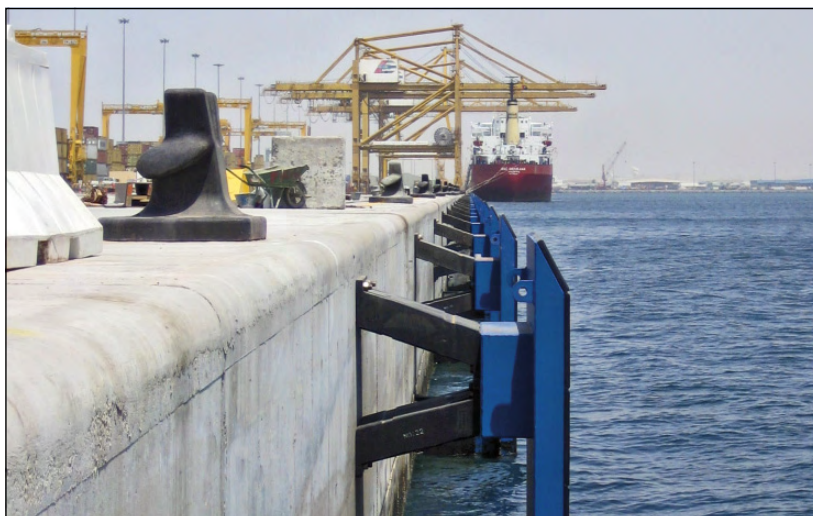
The simplest Unit Element system is the UE-V fender, with pairs of legs and a UHMW-PE non-marking shield. For heavy duty applications Unit Elements are combined with a steel panel (frame) which can cope with belting, bow flares, low hull pressures and high tides.

Features

- | PIANC Type Approved
- | Versatile modular system
- | Highly efficient shape
- | Symmetrical or asymmetrical fixings
- | Strong in lengthwise shear
- | Easy to install
- | Low maintenance

Applications

- | Container terminals
- | Tanker Berths
- | RoRo and cruise ships
- | Dolphins and monopiles
- | Bulk and general cargo berths
- | Fender walls
- | Small craft berths

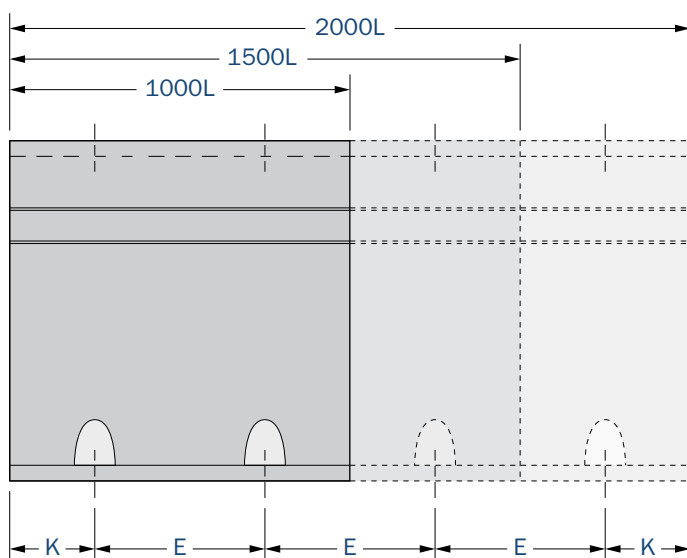


UNIT ELEMENTS

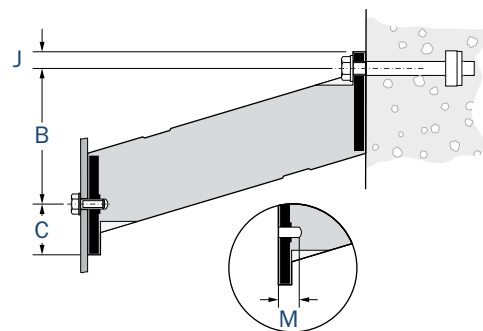
Element	H	A	B*	C*	D	F	J	M	W	K	E	Anchors	Weight
UE250	250	109	114	71	20-27	152	33	25-35	218	50	300	M20	38
UE300	300	130	138	84	23-32	184	38	30-40	260	50	300	M24	54
UE400	400	165	187	102	25-35	248	41	30-40	330	250	500	M24	89
UE500	500	195	229	119	28-37	306	42	40-52	390	250	500	M30	135
UE550	550	210	252	126	32-38	336	42	40-52	420	250	500	M30	153
UE600	600	225	275	133	35-45	366	42	40-52	450	250	500	M30	179
UE700	700	270	321	163	35-45	428	56	50-65	540	250	500	M36	247
UE750	750	285	344	170	38-45	458	56	50-65	570	250	500	M36	298
UE800	800	300	366	178	38-45	488	56	50-65	600	250	500	M36	338
UE900	900	335	412	198	42-50	550	60	57-80	670	250	500	M42	410
UE1000	1000	365	458	212	46-58	610	60	57-80	730	250	500	M42	509
UE1200	1200	435	557	252	46-60	748	61	65-90	870	250	500	M48	717
UE1400	1400	495	642	281	50-65	856	67	65-90	990	250	500	M48	948
UE1600	1600	565	733	321	50-65	978	76	75-100	1130	250	500	M56	1236

* Asymmetrical bolting version only.

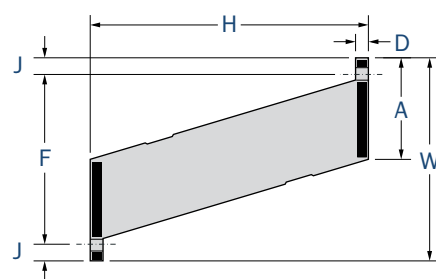
[Units: mm, kg/m]



Asymmetrical bolting



Symmetrical bolting



Element lengths

▼H	↳	600	750	900	1000	1200	1400	1500	1800	2000	Max
UE 250	○	●	○	●	○	○	○	●	○	●	2800
UE 300	○	●	○	●	○	○	○	●	○	●	2000
UE 400		●	○	●	○	○	○	●	○	●	2000
UE 500-UE 550		●	○	●	○	○	○	●			1500
UE 600-UE 800		●	○	●	○	○	○	●	○	●	2000
UE 900-UE 1200			○	●	○	○	○	●			1500
UE 1400			○	●	○	○	○	●	○	●	2000
UE 1600				●	○	○	○	●	○	●	2000

● preferred lengths

○ typical non-standard lengths

For elements with $L/H < 1.0$ or non-standard lengths, please ask for advice.

UNIT ELEMENTS

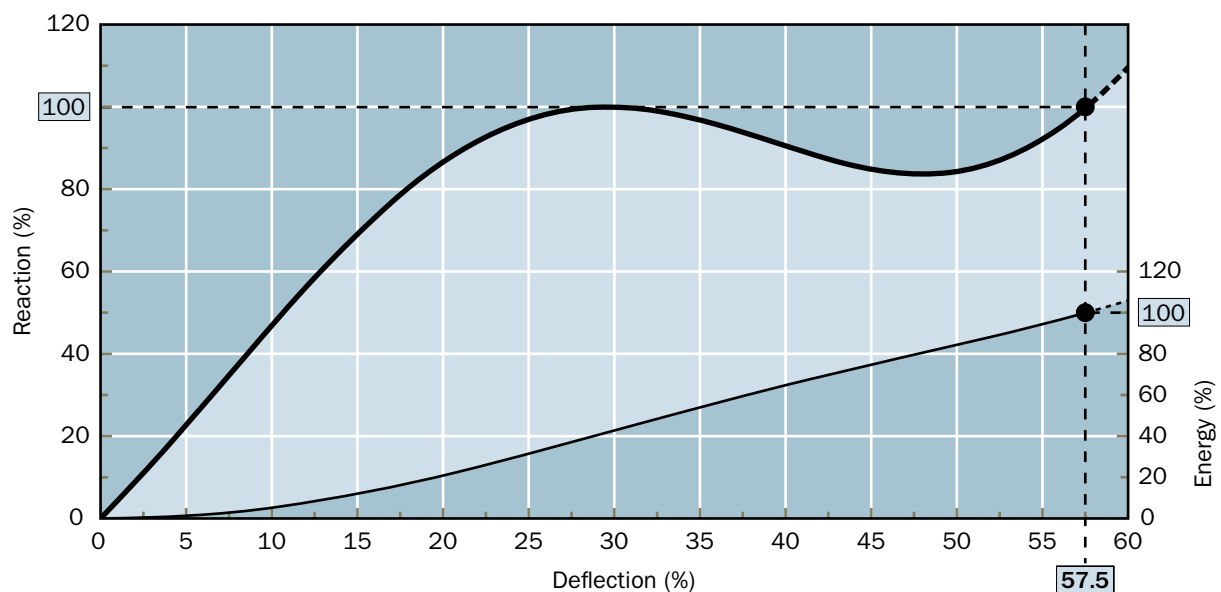
Rated Performance Data (RPD)*

		E0.9	E1.0	E1.1	E1.2	E1.3	E1.4	E1.5	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.0
UE 250	E _R	8.1	9.0	9.3	9.6	9.9	10.2	10.5	10.8	11.1	11.4	11.7	12.0
	R _R	79	88	90	93	95	98	100	103	106	108	111	113
UE 300	E _R	11.7	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.2	16.6	17.0
	R _R	95	105	108	111	114	117	121	124	127	130	133	136
UE 400	E _R	21	23	24	24	25	26	27	27	28	29	29	30
	R _R	113	126	130	134	137	141	145	149	153	156	160	164
UE 500	E _R	32.4	36	37.1	38.2	39.3	40.4	41.5	42.6	43.7	44.8	45.9	47
	R _R	142	158	163	167	172	177	182	186	191	196	200	205
UE 550	E _R	40	44	45	47	48	49	51	52	53	54	56	57
	R _R	157	174	179	184	190	195	200	205	210	216	221	226
UE 600	E _R	47	52	54	55	57	58	60	62	63	65	66	68
	R _R	171	190	196	201	207	212	218	224	229	235	240	246
UE 700	E _R	63	70	72	74	77	79	81	83	85	88	90	92
	R _R	199	221	228	234	241	247	254	261	267	274	280	287
UE 750	E _R	73	81	84	86	89	91	94	96	99	101	104	106
	R _R	214	238	245	252	259	266	274	281	288	295	302	309
UE 800	E _R	84	93	96	99	101	104	107	110	113	115	118	121
	R _R	228	253	261	268	276	283	291	299	306	314	321	329
UE 900	E _R	106	118	122	125	129	132	136	139	143	146	150	153
	R _R	256	284	293	301	310	318	327	336	344	353	361	370
UE 1000	E _R	131	146	150	155	159	163	168	172	176	180	185	189
	R _R	284	316	326	335	345	354	364	373	383	392	402	411
UE 1200	E _R	186	207	213	220	226	232	239	245	251	257	264	270
	R _R	340	378	389	401	412	424	435	446	458	469	481	492
UE 1400	E _R	257	286	294	303	311	320	328	336	345	353	362	370
	R _R	398	442	455	469	482	495	509	522	535	548	562	575
UE 1600	E _R	337	374	385	396	407	418	429	440	451	462	473	484
	R _R	455	506	521	535	552	567	582	597	612	628	643	658

* In accordance with PIANC.

[Units: kNm, kN]

Values are for a single element, 1000mm long.



UNIT ELEMENTS

Rated Performance Data (RPD)*

		E2.1	E2.2	E2.3	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9	E3.0	E3.1	E/R
UE 250	E _R	12.3	12.6	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	16.5	0.103
	R _R	117	120	124	127	131	134	138	141	145	148	163	
UE 300	E _R	17.5	180	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	24.2	0.124
	R _R	140	144	149	153	157	161	165	170	174	178	196	
UE 400	E _R	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	43	0.183
	R _R	169	174	179	184	189	194	199	204	209	214	235	
UE 500	E _R	48.5	50	51.5	53	54.5	56	57.5	59	60.5	62	68.2	0.230
	R _R	211	217	224	230	236	242	248	255	261	267	294	
UE 550	E _R	59	61	62	64	66	68	70	71	73	75	83	0.254
	R _R	233	240	246	253	260	267	274	280	287	294	323	
UE 600	E _R	70	72	74	76	79	81	83	85	87	89	98	0.276
	R _R	253	261	268	276	283	290	298	305	313	320	352	
UE 700	E _R	95	98	100	103	106	109	112	114	117	120	132	0.319
	R _R	296	305	313	322	331	340	349	357	366	375	413	
UE 750	E _R	109	112	115	118	122	125	128	131	134	137	151	0.341
	R _R	318	328	337	347	356	365	375	384	394	403	443	
UE 800	E _R	125	128	132	135	139	143	146	150	153	157	173	0.368
	R _R	339	349	358	368	378	388	398	407	417	427	470	
UE 900	E _R	158	162	167	171	176	181	185	190	194	199	219	0.414
	R _R	381	392	403	414	426	437	448	459	470	481	529	
UE 1000	E _R	195	200	206	212	218	223	229	235	240	246	271	0.461
	R _R	423	436	448	460	473	485	497	509	522	534	587	
UE 1200	E _R	278	286	294	302	311	319	327	335	343	351	386	0.548
	R _R	507	522	537	552	567	582	597	612	627	642	706	
UE 1400	E _R	381	392	404	415	426	437	448	460	471	482	530	0.645
	R _R	592	610	627	644	662	679	696	713	731	748	823	
UE 1600	E _R	499	513	528	542	557	572	586	601	615	630	693	0.737
	R _R	678	697	717	736	756	776	795	815	834	854	939	

* In accordance with PIANC.

[Units: kNm, kN]

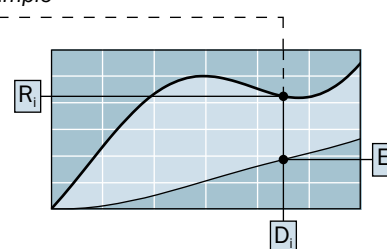
Values are for a single element, 1000mm long.

Intermediate deflections

D(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	57.5	62.5
E(%)	0	1	5	12	21	32	43	54	65	75	84	95	100	113
R(%)	0	23	47	69	87	97	100	97	90	85	84	92	100	121

Nominal rated deflection may vary at RPD. Refer to p12-35.

example



PIANC factors (from 3rd party witnessed Type Approval testing)

Angle factor*

Angle (°)	AF
0	1.000
3	0.960
5	0.936
8	0.901
10	0.878
15	0.818
20	0.755

Temperature factor

Temperature (°C)	TF
50	0.882
40	0.926
30	0.969
23	1.000
10	1.056
0	1.099
-10	1.143
-20	1.186
-30	1.230

Velocity factor

Time (seconds)	VF
1	1.020
2	1.008
3	1.005
4	1.003
5	1.002
6	1.001
8	1.000
≥10	1.000

For steady state deceleration, the compression time is:

$$t \text{ (seconds)} = \frac{2d}{V_i}$$

d = fender deflection (mm)

V_i = impact speed (mm/s)

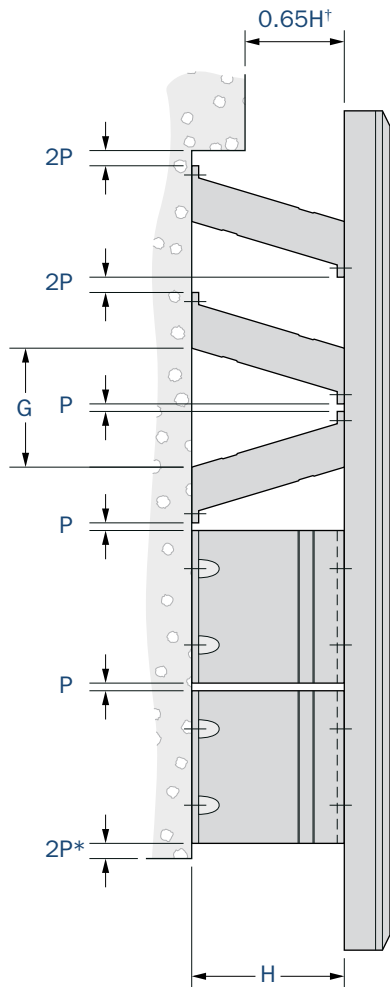
If compression time t < 4s, please ask.

Refer to page 1-2 for further information.

* G/H = 0.7 (see page 1-24); D₁ = 57.5% (refer to website for full angular tables).

UE SYSTEMS

Clearances



Element	P _{min}
UE 250 – UE 300	30
UE 400 – UE 1600	50

[Units: mm]

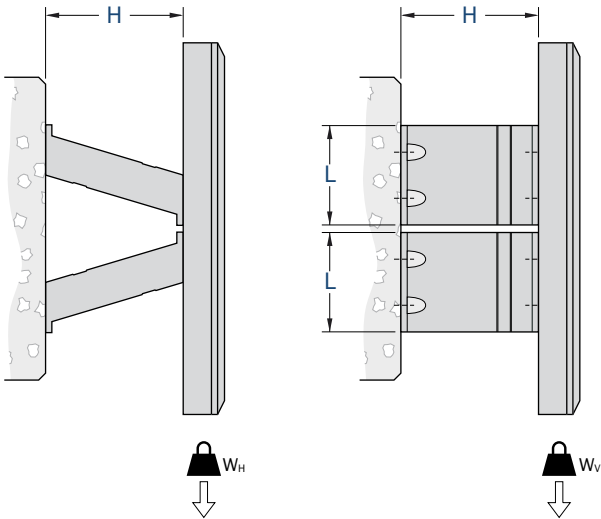
There must be enough space around and between Unit Element fenders and the steel panel to allow them to deflect without interference.

Distances given in the above diagram are for guidance. If in doubt, please ask.

* Always check edge distances to suit concrete grade and reinforcement.

† Dimension does no allow for bow flares, berthing angles or other effects which may reduce clearances.

Weight support capacity



Unit Element fenders can support a lot of weight. The table is a guide to the permitted weight of front panel before additional support chains may be required.

UE	Panel weight (kg)	
	Single or multiple horizontal (n ≥ 1)	Single or multiple vertical (n ≥ 1)
E1	$W_H \leq n \times 690 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 1230 \times H \times L$
E2	$W_H \leq n \times 900 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 1600 \times H \times L$
E3	$W_H \leq n \times 1170 \times H \times L$	$W_V \leq n \times 2080 \times H \times L$

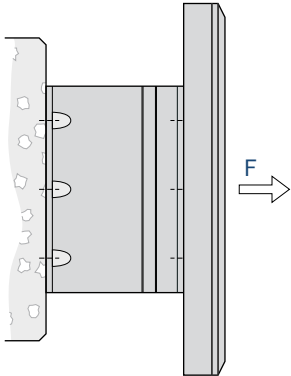
n = number of element pairs

W_H = panel weight – elements ‘V’ on elevation

W_V = panel weight – elements ‘V’ on plan

Interpolate for other grades

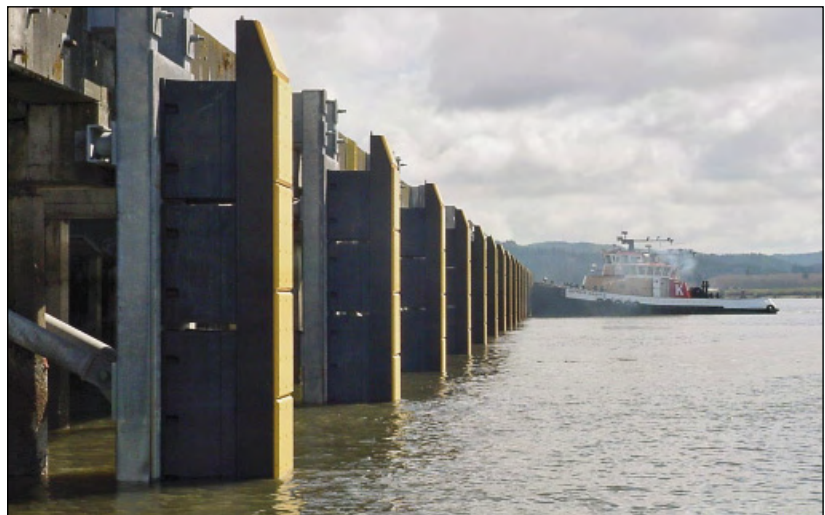
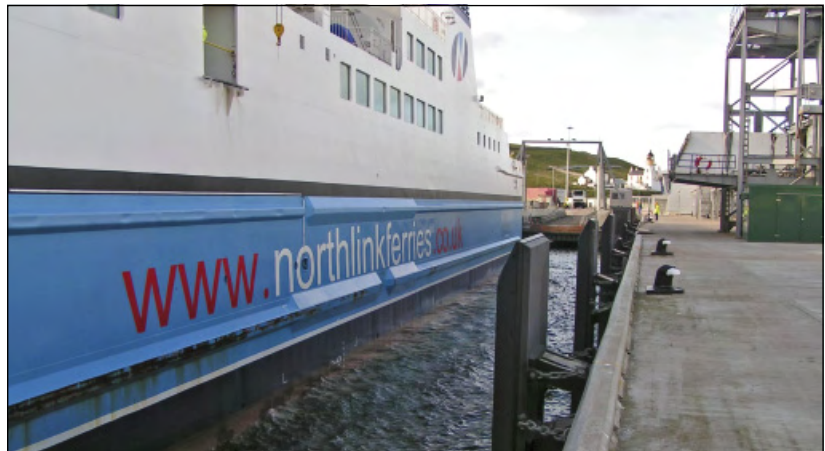
Fenders in tension



If the tensile load exceeds the rated reaction then tension chains may be required. Please ask for advice on the design of tension chains.

UE SYSTEMS

Proven in practice



UE V-FENDERS

Pairs of Unit Elements can be combined with a UHMW-PE shield into a V-shape to make a simple, economical and multi-purpose fender. The shield can be narrow or wide, and can also span several pairs of elements to make very long fenders. Please ask for advice about UE-V fenders which use UE 900 or larger elements.

Features

- | Simple, modular design
- | Low-friction shield
- | Non-marking face
- | Reduced hull pressure
- | Easy maintenance

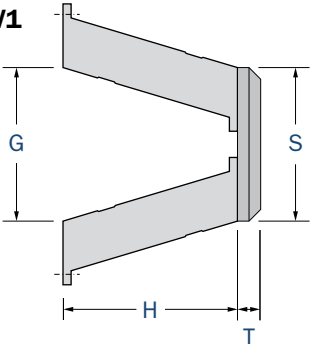
Applications

- | Multi-user berths
- | Small RoRo terminals
- | Workboat berths
- | Pontoon fenders

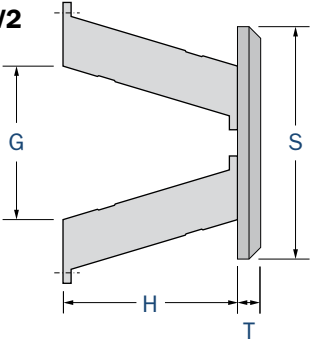
Element	P _{min}
UE 250 – UE 300	30
UE 400 – UE 1600	50

[Units: mm]

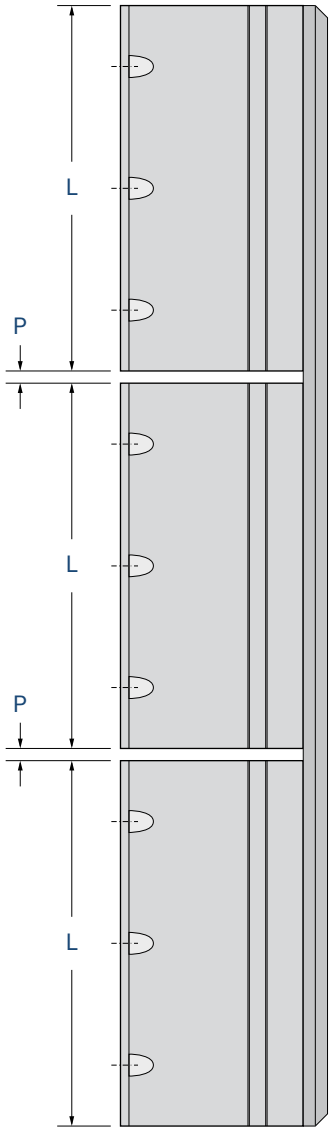
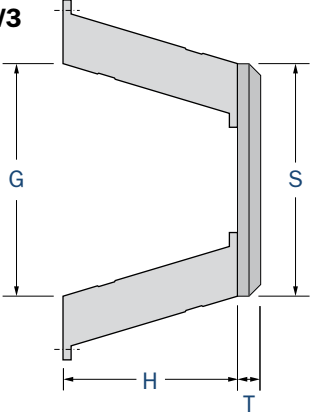
Type V1



Type V2



Type V3

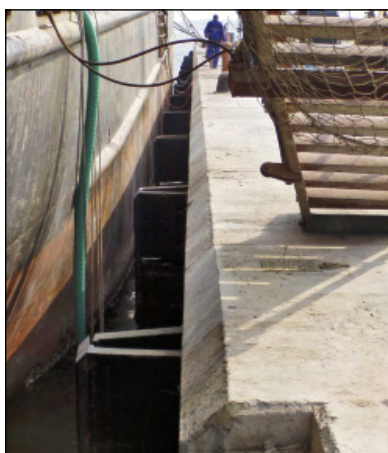


	H	Type V1		Type V2		Type V3		P	T	Anchors
		S	G	S	G	S	G			
UE 250	250	250	250	460	250	460	460	30	70	M20
UE 300	300	290	290	550	290	550	550	30	70	M24
UE 400	400	370	370	690	370	690	690	50	80	M24
UE 500	500	440	440	830	440	830	830	50	90	M30
UE 550	550	470	470	890	470	890	890	50	90	M30
UE 600	600	500	500	950	500	950	950	50	90	M30
UE 700	700	590	590	1130	590	1130	1130	50	100	M36
UE 750	750	620	620	1190	620	1190	1190	50	100	M36
UE 800	800	640	640	1230	640	1230	1230	50	100	M36

[Units: mm]

UE V-FENDERS

Proven in practice



ARCH FENDERS

Arch fenders are simple and rugged, providing reliable and trouble-free service for a wide variety of berths even under the most severe conditions. The AN-fender is a traditional rubber faced unit whilst the ANP-fender can be fitted with either UHMW-PE face pads or connected to a steel panel.

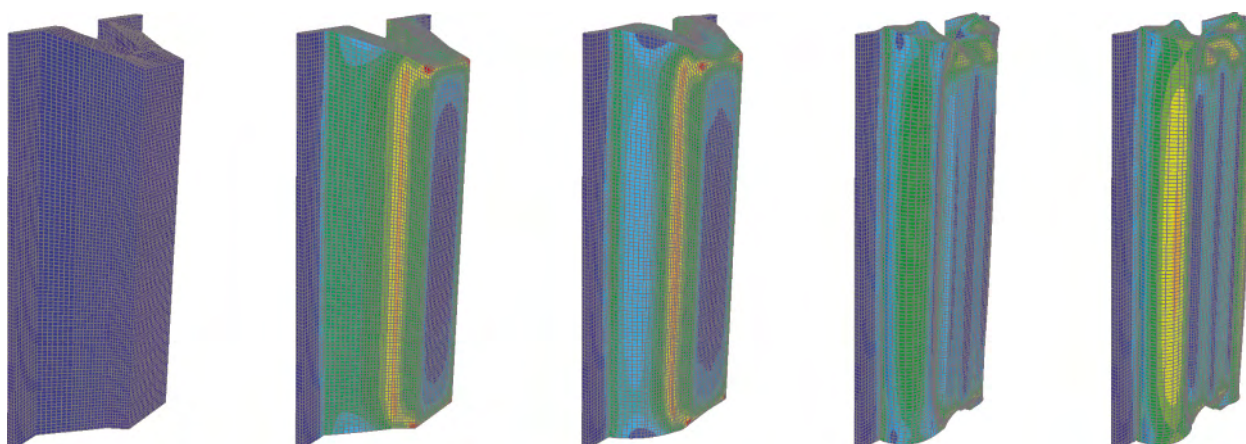
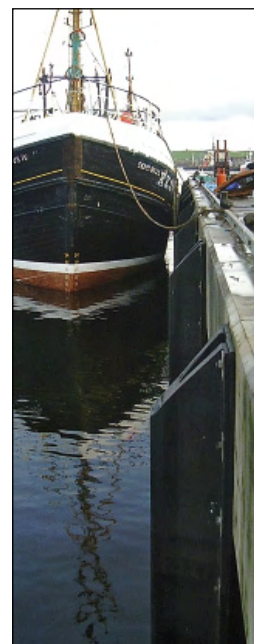


Features

- | Simple one-piece design
- | Strong and hard wearing
- | Excellent shear performance
- | Large range of standard sizes

Applications

- | RoRo berths
- | General cargo
- | Workboat harbours
- | Barge and tug berths

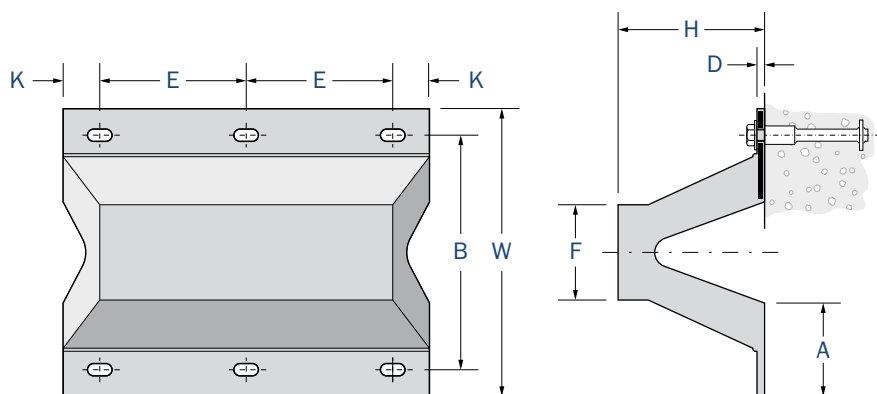


ARCH FENDERS

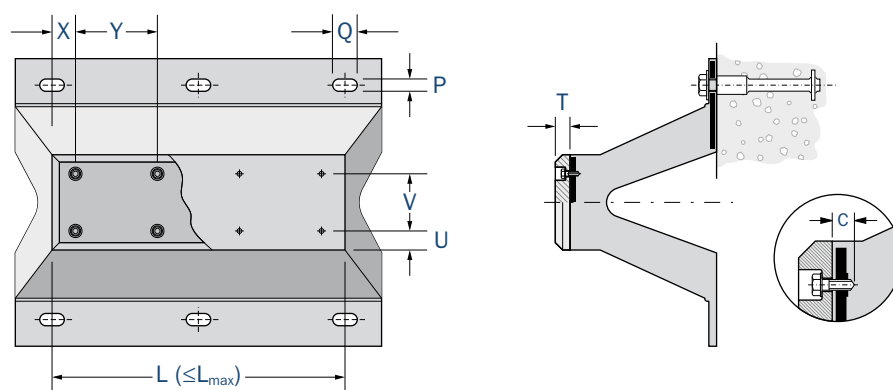
	L_{max}	H	A	B	W	F	D	K	E	P × Q	Anchors	Weight	
												AN	ANP
AN/ANP 150	3000	150	108	240	326	98	16–20	50	500	20 × 40	M16	28	35
AN/ANP 200	3000	200	142	320	422	130	18–25	50	500	25 × 50	M20	48	62
AN/ANP 250	3500	250	164	400	500	163	20–30	62.5	500	28 × 56	M24	69	90
AN/ANP 300	3500	300	194	480	595	195	25–32	75	500	28 × 56	M24	107	128
AN/ANP 400	3500	400	266	640	808	260	25–32	100	500	35 × 70	M30	185	217
AN/ANP 500	3500	500	318	800	981	325	25–32	125	500	42 × 84	M36	278	352
AN/ANP 600	3000	600	373	960	1160	390	28–40	150	500	48 × 96	M42	411	488
AN/ANP 800	3000	800	499	1300	1550	520	41–50	200	500	54 × 108	M48	770	871
AN/ANP 1000	3000	1000	580	1550	1850	650	50–62	250	500	54 × 108	M48	1289	1390

[Units: mm, kg/m]

AN Arch fender



ANP Arch fender



	U	V	C	UHMW-PE face pads				Steel frame	
				X	Y	T	Bolt size	X	Y
ANP 150	49	0	20–30	60–70	330–410	30	M16	70–90	250–300
ANP 200	65	0	30–45	60–70	330–410	30	M16	70–90	250–300
ANP 250	45	73	30–45	70–85	330–410	30	M16	70–90	250–300
ANP 300	50	95	30–45	70–85	330–410	40	M16	70–90	250–300
ANP 400	60	140	30–50	70–85	330–410	40	M16	70–90	250–300
ANP 500	65	195	30–50	70–85	330–410	50	M20	70–90	250–300
ANP 600	65	260	35–60	70–85	330–410	50	M20	70–90	250–300
ANP 800	70	380	50–70	70–85	330–410	60	M24	70–90	250–300
ANP 1000	80	490	50–70	70–85	330–410	60	M24	70–90	250–300

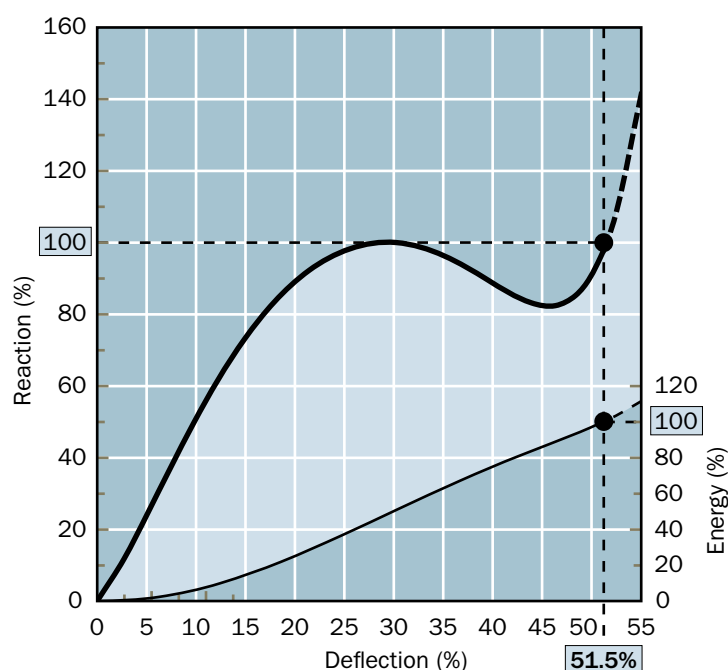
Larger bolts are required when connecting ANP fenders to steel panels. Refer to TMS.

[Units: mm]

L	Anchors
1000	6 No
1500	8 No
2000	10 No
2500	12 No
3000	14 No
3500	16 No

Non-standard lengths, profiles and bolting patterns are available on request.

AN FENDER



Rated Performance Data (RPD)*

		E1.0	E1.5	E2.0	E2.5	E3.0
AN 150	E _R	4.3	5.0	5.6	6.5	7.4
	R _R	74.0	85.1	96.2	112	127
AN 200	E _R	7.6	8.8	10.0	11.6	13.1
	R _R	98.6	113	128	149	169
AN 250	E _R	11.9	13.8	15.6	18.1	20.5
	R _R	123	142	160	186	211
AN 300	E _R	17.1	19.8	22.5	26.0	29.5
	R _R	148	170	192	223	253
AN 400	E _R	30.5	35.3	40.0	46.3	52.5
	R _R	197	227	256	297	338
AN 500	E _R	47.6	55.0	62.4	72.2	82.0
	R _R	247	284	321	372	422
AN 600	E _R	68.6	79.3	89.9	103	116
	R _R	296	341	385	446	507
AN 800	E _R	122	141	160	185	210
	R _R	394	454	513	594	675
AN 1000	E _R	191	221	250	289	328
	R _R	493	567	641	743	844

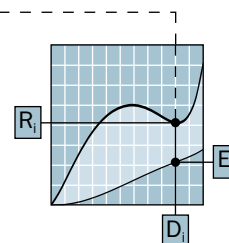
*In Accordance with PIANC. [Units: kN, kNm]
Performance per metre length.

Intermediate deflections

D _i (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	51.5	55
E _i (%)	0	1	6	14	25	37	50	63	74	85	96	100	111
R _i (%)	0	24	51	73	89	98	100	96	89	82	91	100	141

Nominal rated deflection may vary at RPD. Refer to p12-35.

example



PIANC factors (from 3rd party witnessed Type Approval testing)

Angle factor

Angle (°)	AF
0	1.000
3	0.963
5	0.952
8	0.939
10	0.924
15	0.817
20	0.535

Temperature factor

Temperature (°C)	TF
50	0.882
40	0.926
30	0.969
23	1.000
10	1.056
0	1.099
-10	1.143
-20	1.186
-30	1.230

Velocity factor

Time (seconds)	VF
1	1.014
2	1.005
3	1.004
4	1.003
5	1.003
6	1.002
8	1.000
≥10	1.000

For steady state deceleration, the compression time is:

$$t \text{ (seconds)} = \frac{2d}{V_i}$$

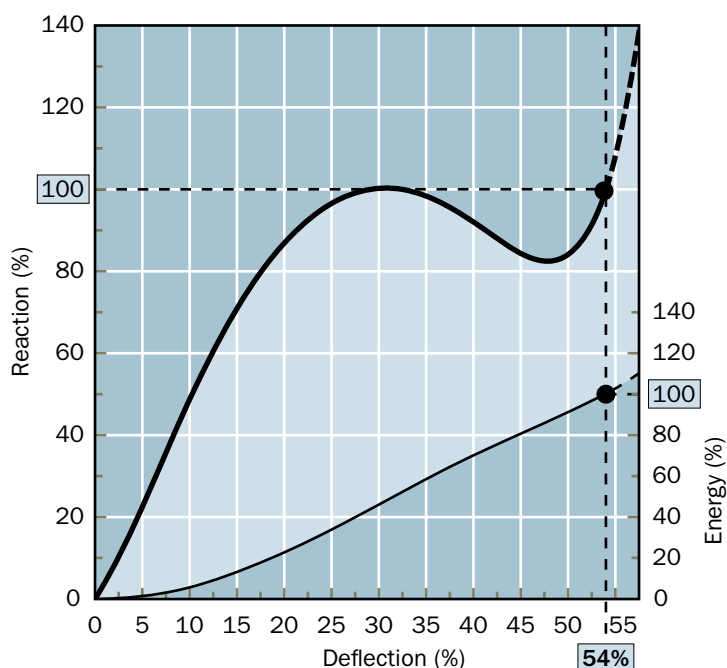
d = fender deflection (mm)

V_i = impact speed (mm/s)

If compression time t < 4s, please ask.

Refer to page 1-2 for further information.

ANP FENDER



Rated Performance Data (RPD)*

		E1.0	E1.5	E2.0	E2.5	E3.0
ANP 150	E _R	5.6	6.5	7.3	8.4	9.5
	R _R	88.8	102	115	133	150
ANP 200	E _R	9.9	11.4	13	14.9	16.8
	R _R	118	136	154	177	200
ANP 250	E _R	15.6	17.9	20.2	23.3	26.3
	R _R	148	170	192	221	250
ANP 300	E _R	22.4	25.8	29.1	33.5	37.8
	R _R	178	205	231	266	300
ANP 400	E _R	39.8	45.8	51.7	59.5	67.2
	R _R	237	273	308	354	400
ANP 500	E _R	62.1	71.5	80.8	92.9	105
	R _R	296	341	385	443	500
ANP 600	E _R	89.3	103	116	134	151
	R _R	355	409	462	531	600
ANP 800	E _R	159	183	207	238	269
	R _R	473	544	615	708	800
ANP 1000	E _R	249	286	323	372	420
	R _R	592	681	769	885	1000

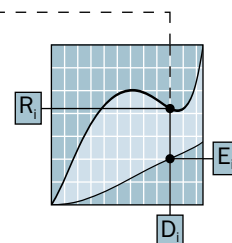
*In Accordance with PIANC. [Units: kN, kNm]
Performance per metre length.

Intermediate deflections

D _i (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	54	57.5
E _i (%)	0	1	6	13	23	34	46	58	70	81	91	100	110
R _i (%)	0	23	49	71	87	96	100	98	92	84	84	100	139

Nominal rated deflection may vary at RPD. Refer to p12–35.

example



PIANC factors (from 3rd party witnessed Type Approval testing)

Angle factor

Angle (°)	AF
0	1.000
3	0.945
5	0.905
8	0.840
10	0.794
15	0.669
20	0.529

Temperature factor

Temperature (°C)	TF
50	0.882
40	0.926
30	0.969
23	1.000
10	1.056
0	1.099
-10	1.143
-20	1.186
-30	1.230

Velocity factor

Time (seconds)	VF
1	1.008
2	1.003
3	1.002
4	1.001
5	1.000
6	1.000
8	1.000
≥10	1.000

For steady state deceleration, the compression time is:

$$t \text{ (seconds)} = \frac{2d}{V_i}$$

d = fender deflection (mm)

V_i = impact speed (mm/s)

If compression time t < 4s, please ask.

Refer to page 1–2 for further information.

CORNER ARCH

Berth corners are very difficult to protect. Corner Arch fenders are available in three standard sizes and provide a simple, easily installed solution to prevent damage from smaller vessels.



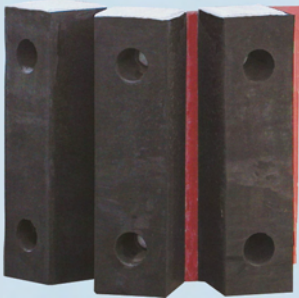
Other corner fender solutions



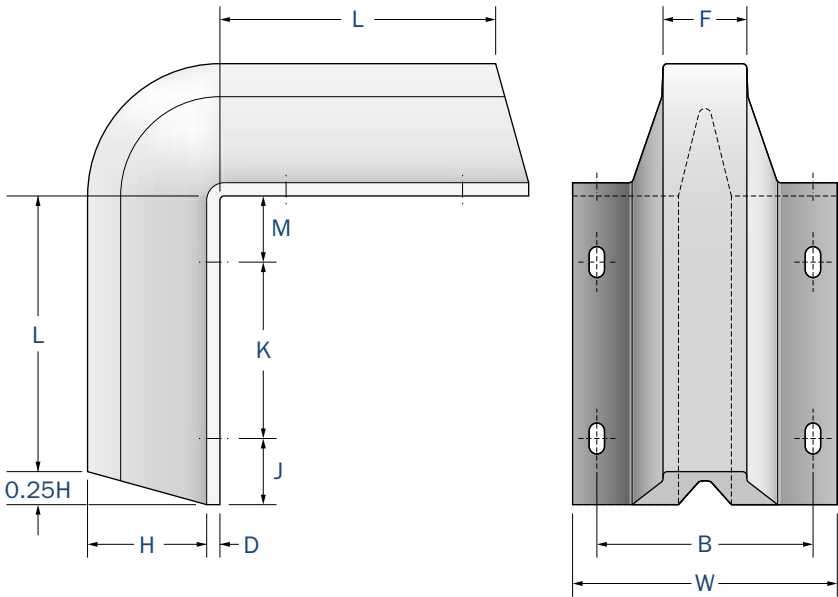
Donut



Wheels



Fender Bars



Dimensions

	H	L	W	B	D	F	J	K	M	Anchors	Weight
CA 150	150	1000	300	240	25	95	110	690	237	8 × M20	80
CA 250	250	750	500	410	40	160	130	420	262	8 × M24	142
CA 300	300	625	600	490	44	190	140	360	200	8 × M30	208

[Units: mm, kg]

ARCH FENDERS

**Proven
in practice**



Trelleborg Marine Systems is part of Trelleborg's Engineered Systems Business Area and specialises in the safe berthing and mooring of vessels within ports and harbours, on offshore structures and in waterways around the world.

We bring together the industry's best known and respected brands for fendering and mooring systems with the unrivalled

collective experience and knowledge of its sales and engineering staff. Our customers benefit from great choice and helpful support at every stage from initial concept and detailed design right through to supply, commissioning and after-sales service – all provided by our network of regional offices and local agents.



Americas

Tel: +1 540 667 5191
tms.americas@trelleborg.com

Asia

Tel: +65 6268 8005
tms.asia@trelleborg.com

Australia

Tel: +61 2 9285 0200
tms.australia@trelleborg.com

Benelux

Tel: +31 180 434040
tms.benelux@trelleborg.com

Brazil

Tel: +55 11 5035 1353
tms.brazil@trelleborg.com

Central Asia

Tel: +91 79 4003 8700
tms.india@trelleborg.com

China

Tel: +86 532 8077 0098
tms.china@trelleborg.com

France

Tel: +33 1 41 39 22 20
tms.france@trelleborg.com

Germany

Tel: +49 40 600 4650
tms.germany@trelleborg.com

Japan

Tel: +81 3 3512 1981
tms.japan@trelleborg.com

Middle East

Tel: +971 4 886 1825
tms.middleeast@trelleborg.com

Scandinavia

Tel: +46 410 51 667
tms.scandinavia@trelleborg.com

Spain

Tel: +34 945 437 906
tms.spain@trelleborg.com

UK

Tel: +44 1666 827660
tms.uk@trelleborg.com

Harbour Marine

Tel: +61 3 9575 9999
sales@harbourmarine.com

Presented by

Trelleborg AB has made every effort to ensure that the technical specifications and product descriptions in this catalogue are correct. The responsibility or liability for errors and omissions cannot be accepted for any reason whatsoever. Customers are advised to request a detailed specification and certified drawing prior to construction and manufacture. In the interests of improving the quality and performance of our products and systems, we reserve the right to make specification changes without prior notice. All dimensions, material properties and performance values quoted are subject to normal production and testing tolerances. This catalogue supersedes the information provided in all previous editions. If in doubt, please check with Trelleborg Marine Systems.

www.trelleborg.com/marine
tms@trelleborg.com

