TRANSPETRO	**ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA**	**Nº ET-4450.72-6611-962-E3C-001**
	CLIENTE: TP/DOP/DTNNESE/UO-NORTE/MP/TRANSBEL	**FOLHA:** 1 DE 21
	PROGRAMA: -	TPP-138
	ÁREA: TERMINAL DE BELÉM	
DIRETORIA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA	**TÍTULO:** **DEFENSAS, PAINÉIS E ACESSÓRIOS**	DTEC/ENG/PPL/DPL/DP1
		NP-1

RAZÃO SOCIAL: Exe Engenharia Ltda.		**Nº CONTRATO:** 4501657187	
RESP. TÉCNICO: Engº Rubens da Costa Sabino Filho		**Nº CREA:** RJ 38915/D	
RÚBRICA:		**Nº INTERNO:** ES-323.001-200-17-001	

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Emissão Original.

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	19/10/2022								
EXECUÇÃO	DNG								
VERIFICAÇÃO	PVF								
APROVAÇÃO	LFT								

DE ACORDO COM O DOCUMENTO PE-3TP-00218 AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA TRANSPETRO, SENDO PROIBIDA A.
UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE. FORMULÁRIO PERTENCENTE A PETROBRAS N-381 REV M.

ÍNDICE

1. OBJETIVO 3
2. NORMAS DE PROJETO 3
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 3
4. PREMISSAS DE CÁLCULO DAS DEFENSAS 7
5. SELEÇÃO DE DEFENSA 11
6. DEFINIÇÃO DE ÁREA PARA PAINÉIS DA DEFENSA 17
7. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS DEFENSAS 19
8. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS PAINÉIS 20
9. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ACESSÓRIOS 21

1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo descrever as especificações técnicas das defensas, painéis e acessórios que deverão ser utilizadas na execução das obras referentes à Ampliação do Terminal Petroquímico de Miramar, localizado à Av. Arthur Bernardes s/n – Bairro Val-de-Cães em Belém/PA.

2. NORMAS DE PROJETO

2.1. NORMAS ABNT

NBR 8681 - Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimento

2.2. NORMAS PETROBRÁS

N-2037 – Pintura de Equipamentos Submersos em água do Mar

2.3. NORMAS / PUBLICAÇÕES INTERNACIONAIS OU ESTRANGEIRAS

OCIMF MEG4 – Mooring Equipment Guidelines, 4th edition

PIANC Report Nº 25 / Supplement to Bulletin nº 88 – Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours: A Practical Guide

PIANC Report Nº 33 – Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002

PIANC Report Nº 149 – Guidelines for Marina Design, 2016

PIANC Report Nº 121 - Harbour Approach Channels Design Guidelines, 2014

PIANC Report Nº 153 - Recommendations for the Design and Assessment of Marine Oil and Petrochemical Terminals, 2016

BS 6349-4 – Maritime Structures, Part 4: Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems, 1994

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

3.1. PROJETO BÁSICO

[1] RL-4450.72-6611-940-E3C-002 (Reavaliação / Consistência do Projeto Conceitual);

[2] RL-4450.72-6611-940-E3C-003 (Critérios de Projeto);

[3] MC-4450.72-6611-962-E3C-001 (Memória de Cálculo de Amarração);

[4] ET-4450.72-6611-962-E3C-002 (Especificação Técnica – Cabeços de Amarração);

[5] FD-4450.72-6611-962-E3C-001 (Folha de Dados – Defensas, Painéis e Acessórios);

[6] FD-4450.72-6611-962-E3C-002 (Folha de Dados dos Cabeços de Amarração);

[7] RM-4450.72-6611-962-E3C-001 (Requisição de Material – Defensas, Painéis e Acessórios);

[8] RM-4450.72-6611-962-E3C-002 (Requisição de Material – Cabeços de Amarração);

[9] DE-4450.72-6611-940-E3C-001 (Planta de Situação do Empreendimento);

[10] DE-4450.72-6611-950-E3C-001 (Arranjo Geral de Amarração);

[11] DE-4450.72-6611-191-E3C-001 (Ampliação do Píer 100);

[12] DE-4450.72-6611-121-E3C-001 (Estaqueamento);

[13] DE-4450.72-6611-131-E3C-005 (Estruturas);

[14] DE-4450.72-6611-131-E3C-001 (Estrutura dos Dolfins de Atracação – Fôrmas e Detalhes);

[15] DE-4450.72-6611-131-E3C-002 (Estrutura dos Dolfins de Amarração – Fôrmas e Detalhes);

[16] DE-4450.72-6611-131-E3C-003 (Estrutura da Nova Plataforma de Operações – Planta e Cortes);

[17] DE-4450.72-6611-131-E3C-004 (Detalhes);

[18] DE-4450.72-6611-140-E3C-001 (Passarelas de Acesso aos Dolfins de Atracação e Guarda-Corpo);

3.2. DOCUMENTOS RECEBIDOS

a) Especificação técnica para contratação dos serviços, elaborado em 2022:

[19] ET-4450.72-6000-940-PTD-001_R0_F1-18_rodizio: Especificação técnica;

b) Projeto conceitual do píer 100, elaborados em 2019:

[20] DE-4450.72-6611-100-PTD-001_R0_F1-1 (Desenho de levantamento de campo da plataforma existente – Projeto conceitual);

[21] DE-4450.72-6611-941-PTD-001_R0_F1-1 - Proposta de revisão (Dolfins de atracação – Pier 100 – Projeto conceitual);

[22] DE-4450.72-6611-942-PTD-001_R0_F1-1 (Planta de Locação/ Dolfins de atracação – Píer 100);

OBS: Referência 4 apresenta batimetria;

c) Projeto conceitual dos dolfins (píer 1) e reforço/ recuperação dos píeres 1 e 2, elaborado em 2019:

[23] MD-4450.72-6611-941-PTD-001_R0_F1-17 (memorial descritivo);

[24] MC-4450.72-6611-962-PTD-001_R0_F1-20 (memorial de cálculo);

Obs: Referência 5 apresenta diversos critérios relevantes, ambientais, etc.;

d) Memória de cálculo e projeto dos dolfins de amarração existentes:

[25] Projeto píer 1 - Dolfins amarração MC, elaborado em setembro de 2004;

Obs: Referência 6 apresenta sondagens;

[26] Projeto píer 1 - Dolfins amarração 1.pdf;

[27] Projeto píer 1 - Dolfins amarração 2.pdf;

[28] Projeto píer 1 - Dolfins amarração 3.pdf;
[29] Projeto píer 1 - Dolfins amarração 4.pdf;
[30] Projeto píer 1 - Dolfins amarração MC.pdf;

e) Anteprojeto de dragagem do Terminal de Miramar (PA), elaborado em 2017:
[31] 2017.08.02_19_Anteprojeto de Dragagem Belém.pdf;

f) Projeto básico da obra de dragagem nos píeres, elaborado em 2010:
[32] DE-4450.72-6631-934-LAQ-001_R0_F1-1.DWG (Planta de Situação);

g) Carta de correntes de maré Rio Pará, elaborado em 1962:
[33] Corrente ccm-salinopolis-a-belem.pdf;

h) Sondagens:
[34] Sondagem 2007 e 2008 Croquis.pdf;
[35] Sondagem 2007-11.pdf;
[36] Sondagem 2008-01.pdf;
[37] Sondagem 2008-02.pdf;
[19] Sondagem 2009-03.pdf;
[38] Sondagem 2010-03.pdf;
i) Batimetria:
[39] Batimetria 2002.DWG;
[40] Batimetria 2004.dwg;
[41] Batimetria 2005.DWG;
[42] Batimetria 2005.pdf;
[43] Batimetria 2017.pdf;

j) Dados de navios:
[44] PORT INFORMATION BELEM Atualizacao 2021.pdf;
[45] Portaria nº 67-CPAOR Calado Maximo Operacional 7,60m Miramar.pdf;
[46] Rebocador LACERTA 27-04-2018 - porto de Miramar.pdf;
[47] Relação de Balsas.pdf;
[48] Relação de Navios.pdf;

k) Geometria Píer 1 - levantamento de campo da estrutura principal:
[49] DE-4450.72-6611-100-PTD-002_R0_F1-1.dwg;
[50] DE-4450.72-6611-100-PTD-002_R0_F1-1.pdf;
[51] Informações geometria plataforma pier 100.txt;

l) Esforços de amarração no píer 100 com novos dolfins de atracação:
[52] MC-4450.72-6610-962-PTD-003_R0_F1-12.pdf (memória de cálculo);
[53] MC-4450.72-6611-962-PTD-002_R0_F00001-92-01.pdf.

3.3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

[54] https://www.naval.com.br/ngb/P/P005/P005.htm (Dados de embarcação)

[55] https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/File/Agu/AQU_3_4_2_1_2_3.XLSX&ved=2ahUKEwj-geLVh4r5AhWWFrkGHXx4AQkQFnoECAcQAQ&usg=AOvVaw1r7wq1u6tv_GEGwL06v-RJ (Relação de embarcações)

[56] Trelleborg Marine and Infraestructure - Fender Systems: Product Brochure (catálogo do fabricante, disponível em https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/resources/brochures)

4. PREMISSAS DE CÁLCULO DAS DEFENSAS

4.1. ESPAÇAMENTO E COMPRIMENTO

Para as defensas tipo cônica, adotou-se espaçamento mínimo de $0{,}25 * L_{OA}$ da maior embarcação, no caso de 210m, resultando em espaçamento de 52,5m.

Para as defensas tipo arco adotou-se espaçamento máximo conforme indicação de PIANC nº 153, item 7.4.9, sendo igual a $0{,}15 * L_{OA}$ da menor embarcação, no caso de 48m, resultando em espaçamento máximo de 7,2m. Portanto, adotou-se o uso de 4 defensas na estrutura de ampliação da plataforma de operações, que possui largura total de 19m (incluso passarela para prancha de acesso ao navio), resultando em espaçamentos da ordem de 6m. Além disso, adotou-se comprimento de 4,0m, adotando-se como critério um comprimento de contato mínimo com o casco das balsas de 1,5m, analisados para as situações mais desfavoráveis, sendo: calado mínimo com nível de maré máximo (+3,31 DHN); e calado máximo com nível de maré mínimo (+0,31 DHN). A Figura 1 exemplifica estas considerações.

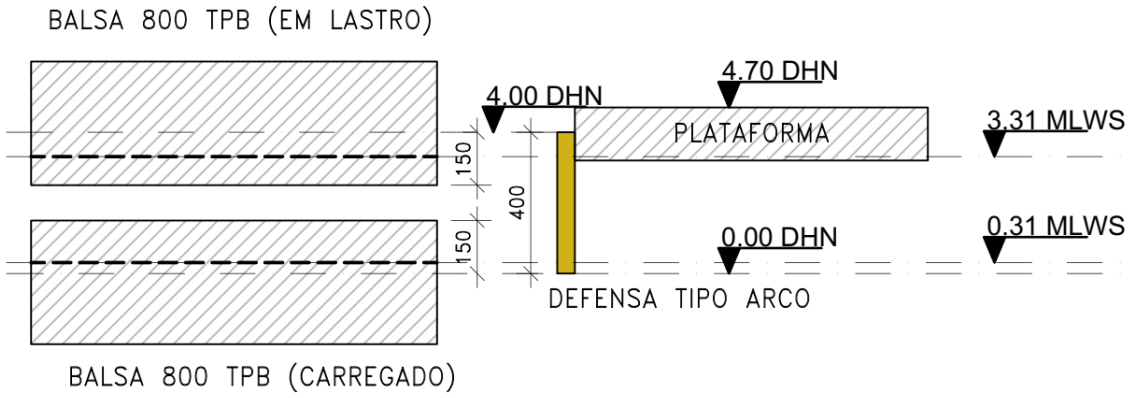


Figura 1 – Defensa tipo arco – alturas e níveis

4.2. FATORES DE SEGURANÇA - η

Os fatores de segurança, para energia de atracação anormal, foram adotados conforme a tabela 4.2.5 de PIANC nº 33, sendo:

- Para os navios de 30.000 TPB e 50.000 TPB (aliviado para 30.000 TPB) foi adotado fator de segurança igual a 1,25 ('*Tanker*', '*Largest Vessel*');
- Para os demais navios, incluindo o navio de 5.000TPB (gaseiro), foi adotado fator de segurança igual a 1,75.

4.3. ÂNGULO DE ATRACAÇÃO - α

De acordo com PIANC nº 33, item 4.2.4, os ângulos de atracação são geralmente menores que 5 graus até 6 graus ocasionalmente, para embarcações acima de 50.000 DWT. Para embarcações menores (especialmente sem assistência de rebocadores, o que não é o caso em análise), o ângulo de atracação pode ser maior, até cerca de 10 a 15 graus. Foram adotados os seguintes ângulos máximos de atracação:

- 10 graus, para os navios de 30.000 TPB e 50.000 TPB aliviado;
- 15 graus para os demais.

4.4. VELOCIDADE DE ATRACAÇÃO - v

Seguem abaixo as recomendações da PIANC nº 33, item 4.2.3, conforme ilustrado na Figura 2, as quais apresentam velocidades de atracação aproximadas iguais a:

- 0,11 m/s para o navio de 50.000 TPB;
- 0,12 m/s para o navio de 30.000 TPB;
- 0,22 m/s para o navio de 5.000 TPB;
- 0,35 m/s para o navio de 800 TPB.

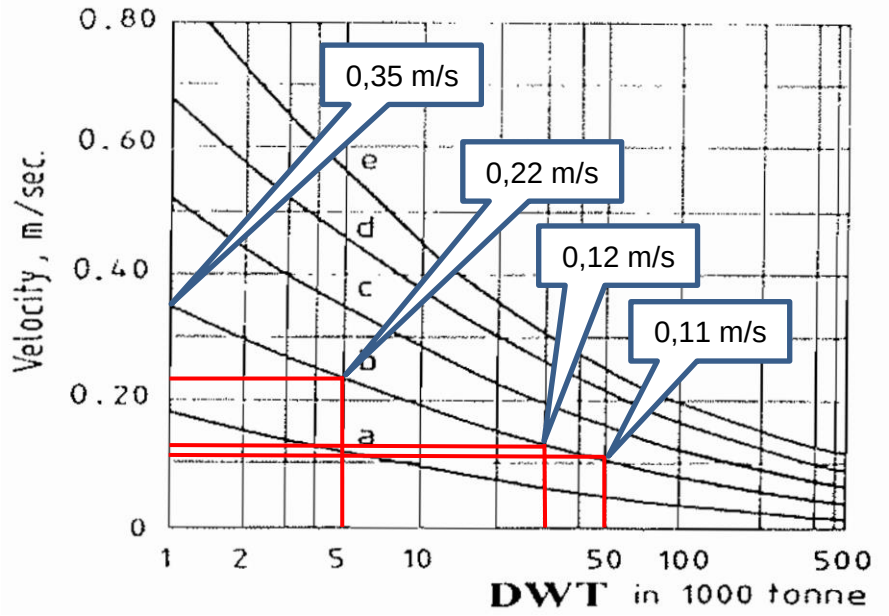


Figura 2 – Velocidade de atracação de projeto em função de condições de navegação e porte do navio
FONTE: PIANC nº 33, Figura 4.2.1

Entretanto, cita-se a recomendação da ROM 2.0-11, tabela 4.6.4.36, em que há a recomendação de velocidade perpendicular de atracação mínima na ordem de 0,15 m/s para as embarcações de 50.000 TPB e 30.000 TPB, para condições climáticas moderadas e com auxílio de rebocadores, conforme ilustrado na Figura 3.

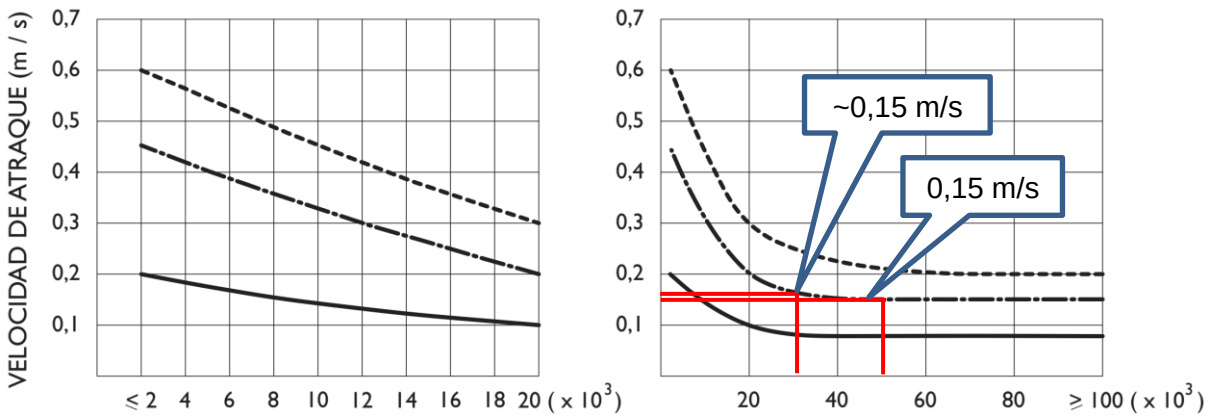


Figura 3 – Velocidades de atracação recomendadas pela ROM 2.0-11
FONTE: ROM 2.0-11, tabela 4.6.4.36

Como critério de segurança, considerou-se prudente adotar velocidades maiores que as recomendadas pela PIANC nº 33 para os navios de 50.000 TPB aliviado e 30.000 TPB, em conformidade com recomendações da ROM 2.0-11. Portanto, para o cálculo da energia de atracação das defensas, foram adotadas as seguintes velocidades de atracação:

- 0,15 m/s para o navio de 50.000 TPB aliviado;
- 0,15 m/s para o navio de 30.000 TPB;
- 0,22 m/s para o navio de 5.000 TPB;
- 0,35 m/s para a embarcação de 800 TPB.

4.5. ENERGIA DE ATRACAÇÃO (E)

De acordo com PIANC nº 33, item 4.2.1, tem-se:

$$E = \frac{1}{2} M * v^2 * C_E * C_M * C_S * C_C$$

Em que:

M : deslocamento da embarcação em toneladas;

v : velocidade da embarcação perpendicular ao berço de atracação;

C_E : coeficiente de excentricidade;

C_M : coeficiente de massa virtual;

C_S : coeficiente de suavização;

C_C : coeficiente de configuração do berço.

4.6. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDADE (C_E)

De acordo com PIANC nº 33, item 4.2.4, tem-se que o fator de excentricidade C_E é dado por:

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 * cos^2 \emptyset}{K^2 + R^2}$$

Em que:

$$K = (0{,}19 * Cb + 0{,}11) * L_{BP}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{L_{BP}}{2} - x\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

$$Cb = \frac{M}{L_{BP} * B * D * \rho}$$

Sendo:

K : raio de giração da embarcação;

R : distância do ponto de impacto ao centro de massa do navio;

$\emptyset$: ângulo formado entre o vetor de velocidade de aproximação da embarcação e a linha que une o ponto de impacto e o centro de gravidade da embarcação;

x : distância medida da frente da embarcação ao ponto de impacto (ver Figura 4 para valores adotados);

Cb : coeficiente de bloco;

ρ : densidade da água (adotado igual a 1,00t/m³);

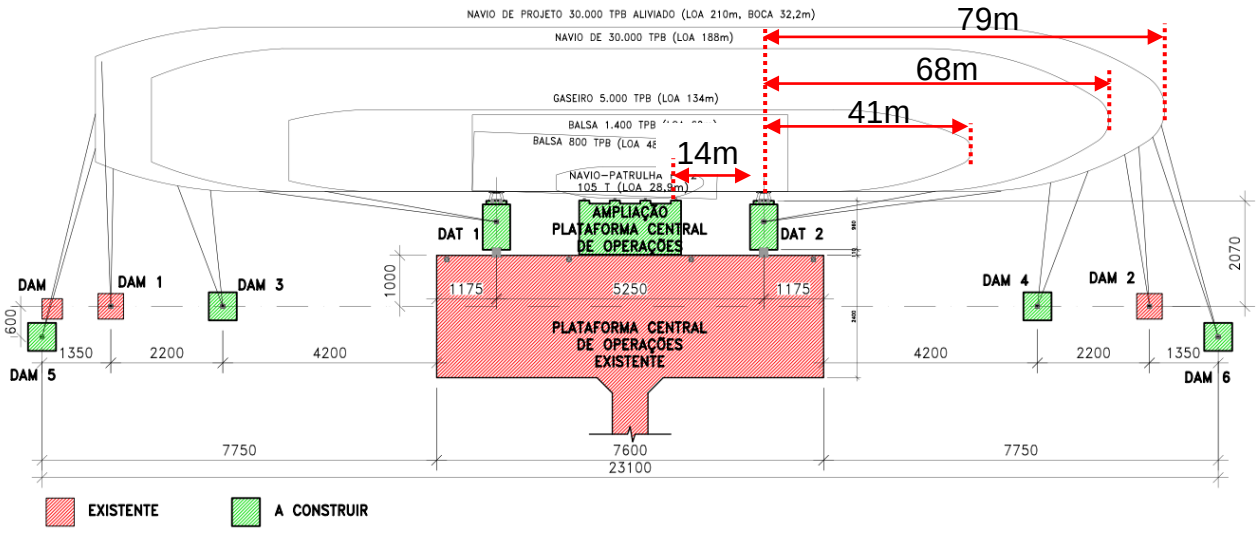


Figura 4 – Valores de x para as embarcações de L_{OA} iguais a 210m, 188m, 134m e 48m

NOTA: para a balsa de L_{OA} de 48m admitiu-se x máximo de 14m, visto que valores maiores são impraticáveis devido à localização do berço de atracação.

Para ∅, de acordo com ROM 2.0-11, item 4.6.4.4.3.1.2, tem-se:

$$\emptyset = 90° - \alpha - arccos\left(\frac{B}{2R}\right)$$

4.7. COEFICIENTE DE MASSA VIRTUAL - C_M

De acordo com PIANC nº 33, item 4.2.5, adotou-se:

$C_M = 1{,}80$ para $K_C/D \leq 0{,}10$

$C_M = 1{,}50$ para $K_C/D \geq 0{,}50$

$C_M = 1{,}875 - 0{,}75 * K_C/D$ para $0{,}10 < K_C/D < 0{,}50$

4.8. COEFICIENTE DE SUAVIZAÇÃO - C_S

De acordo com PIANC nº 33, item 4.2.6, este valor fica entre 0,9, para embarcações equipadas com defensa de borracha contínuas, e 1,0 para as demais. Portanto, adotou-se valor igual a 1,0.

4.9. FATOR DE CONFIGURAÇÃO DO BERÇO.- C_C

Em acordo com PIANC nº 33, item 4.2.7, classifica-se a estrutura como sendo do tipo 'aberta' (cais sobre estacas) e, portanto, adotou-se o valor igual a 1,0.

4.10. ENERGIA DE ATRACAÇÃO ANORMAL.- E_A

São apresentados, na Tabela 1, os resultados de cálculo para as embarcações de 50.000 TPB aliviado, 30.000 TPB, 5.000 TPB e 800 TPB. As energias cinéticas de atracação anormal para os navios estão relacionadas na última linha da referida tabela.

Símbolo	Unidade	Valor				Descrição
DWT	t	50000*	30000	5000	800	Porte bruto da embarcação
M	t	46400**	39500	8800	868	Deslocamento do navio
L_{OA}	m	210	188	134	48	Comprimento total do navio
L_{BP}	m	200	178	126	45	Comprimento do navio entre perpendiculares
B	m	32,2	28,0	16,0	11,5	Boca (largura) do navio, excluindo cinturões
D	m	11***	10,8	8,1	2,31	Calado máximo carregado do navio
ρ_{SW}	t/m³	1,00	1,00	1,00	1,00	Densidade da água
C_B	-	0,655	0,734	0,539	0,726	Coeficiente de bloqueio do casco do navio
D_D	m	12	12	12	12	Profundidade de projeto do berço (DHN)
K_C	m	1	1,2	3,9	9,69	Espaço entre a quilha e o leito
C_M	-	1,800	1,792	1,514	1,500	Coeficiente de massa (adicionada) hidrodinâmica
x	m	79,0	68,0	41,0	14,0	Distância da frente do navio ao ponto de impacto
R	m	26,46	25,24	23,41	10,26	Distância do ponto de impacto ao centro de massa do navio
α	graus	10,0	10,0	15,0	15,0	Ângulo de atracação (linha de centro do navio à linha de atracação)
Φ	graus	42,5	46,3	55,0	40,9	Ângulo vetor de velocidade (entre 'R' e 'v')
K	m	46,9	44,4	26,8	11,2	Raio de giro do navio
C_E	-	0,890	0,872	0,709	0,803	Coeficiente de excentricidade
C_C	-	1	1	1	1	Coeficiente de configuração de atracação
C_S	-	1	1	1	1	Coeficiente de suavização
v	m/s	0,150	0,150	0,220	0,350	Velocidade do navio perpendicular à linha de atracação (atracação abrigada e condições de atracação difíceis)
E	kN.m	836	695	229	64	Energia cinética de atracação normal da embarcação
η	-	1,25	1,25	1,75	1,75	Fator de segurança para atracação anormal
E_A	kN.m	1045	868	400	112	Energia cinética de atracação anormal do navio

Tabela 1: Cálculo de energia de atracação

NOTAS:

* 50.000 TPB aliviado para 30.000 TPB.

** Deslocamento do navio 50.000 TPB aliviado para 30.000 TPB.

*** Calado parcial informado no edital.

5. SELEÇÃO DE DEFENSA

Com base nas energias calculadas, conforme Tabela 1, seguiu-se à seleção de uma defensa referencial. Ressalta-se que a escolha do fornecedor / fabricante a ser utilizado na obra não está condicionada aos modelos aqui indicados. Porém, o modelo a ser adotado deve

atender aos critérios de projeto aqui estabelecidos (absorção mínima de energia cinética devido à atracação anormal e reações máximas admissíveis).

5.1. GEOMETRIA

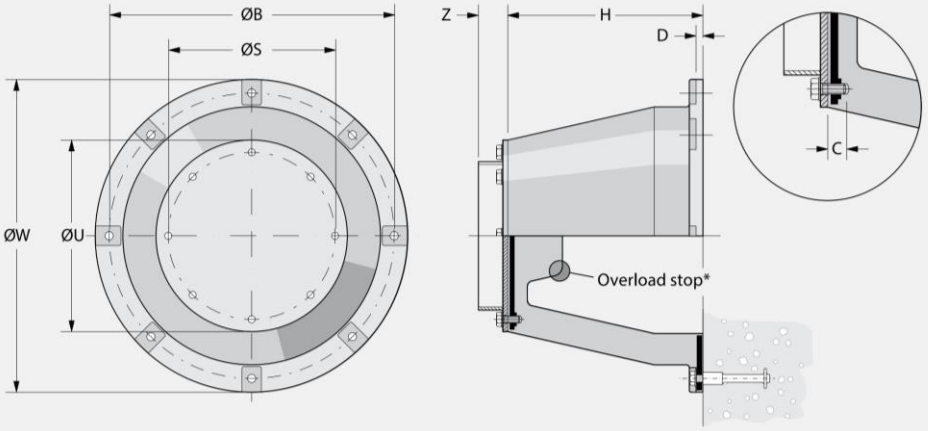
Para as defensas externas, situadas nos dolfins de atracação, optou-se pela defensa do tipo 'CÔNICA' com altura igual a 1400mm, conforme ilustrado na Figura 5.

DIMENSIONS

	H	ØW	ØU	C	D	ØB	ØS	F0.9- 1.8 ANCHORS / HEAD BOLTS ^	F1.9- 3.1 ANCHORS / HEAD BOLTS ^	Z_{min}	WEIGHT
SCN 1400	1400	2240	1370	65 – 90	60 – 70	2040	1195	8 x M36	8 x M42	210	3105

^ Fender anchors / head bolts indicated are based on a particular grade of steel. Please contact our local office for precise size, material and type for different grades of fenders pertaining to the project requirements.

[Units: mm, kg]



Some SCN sizes have a modified flange for reduced shipping dimensions.



SIZE	V
SCN 950	1440
SCN 1400	2180
SCN 1600	2390
SCN 1800	2700

* Contact our local offices

[Units: mm]

Figura 5 – Defensa tipo cônica: dados geométricos

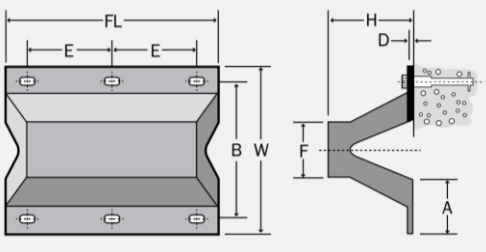
Para as defensas da estrutura de ampliação da plataforma de operações, optou-se por defensa do tipo 'ARCO' de altura igual a 500mm, conforme ilustrado na Figura 6.

DIMENSIONS

BODY DIMENSIONS SAN / SANP								WEIGHT (kg/m)	
H	A	B	W	F	D	P	Q	SAN	SANP
SAN/SANP 500	325	840	1000	375	40	46	92	363	409

[Units: mm, kg/m]

SAN SUPER ARCH FENDER



FL = L + H x 0.5

SANP SUPER ARCH FENDER

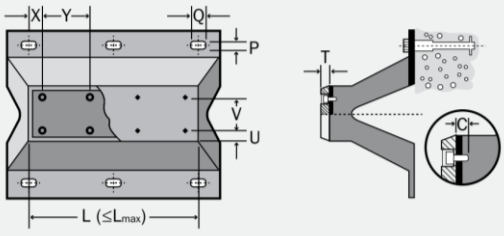


Figura 6 –Defensa tipo arco: dados geométricos

5.2. FATOR DE TOLERÂNCIA DE FABRICAÇÃO - F_{tol}

Aplica-se fator de correção das energias e reações conforme indicação da fabricante, tomando-se, para os modelos analisados, uma variação desfavorável de 10% em relação aos valores tabelados.

5.3. FATOR ANGULAR – F_{ang}

Aplica-se fator de correção para energias e reação nas defensas cônicas conforme informado pela fabricante e ilustrado na Figura 7.

ANGLE FACTOR (AF) TABLE

ANGLE (°)	ENERGY FACTOR	REACTION FACTOR
0	1.000	1.000
3	1.039	1.000
5	1.055	1.000
8	1.029	1.000
10	1.000	1.000
15	0.856	0.950
20	0.739	0.800

Figura 7 –Defensa cônica: fator angular

Para as defensas tipo arco, aplica-se fator de correção para energias e reação conforme informado pela fabricante e ilustrado na Figura 8e Figura 9. Para tais casos, adotou-se ângulo α igual a 0 (ver Figura 10), resultando em fator igual a 1,0.

Energy Correction Factors

L/H \ α	0	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
0.750	1.000	0.924	0.910	0.896	0.882	0.868	0.854	0.825	0.781	0.706	0.632	0.563
1.000	1.000	0.901	0.882	0.863	0.844	0.824	0.805	0.765	0.703	0.602	0.509	0.434
1.100	1.000	0.891	0.870	0.850	0.828	0.807	0.785	0.740	0.672	0.561	0.466	0.394
1.200	1.000	0.882	0.859	0.836	0.812	0.788	0.764	0.715	0.640	0.522	0.428	0.361
1.300	1.000	0.872	0.847	0.822	0.796	0.770	0.743	0.689	0.608	0.486	0.395	0.334
1.400	1.000	0.863	0.836	0.808	0.780	0.751	0.722	0.663	0.578	0.453	0.367	0.310
1.500	1.000	0.853	0.824	0.794	0.764	0.733	0.701	0.638	0.547	0.423	0.342	0.289
1.600	1.000	0.844	0.812	0.780	0.747	0.714	0.680	0.613	0.518	0.396	0.321	0.271
1.700	1.000	0.834	0.800	0.766	0.730	0.695	0.659	0.588	0.491	0.373	0.302	0.255
1.800	1.000	0.824	0.788	0.751	0.713	0.675	0.637	0.564	0.465	0.352	0.285	0.241
1.900	1.000	0.814	0.776	0.736	0.696	0.656	0.616	0.540	0.441	0.334	0.270	0.228
2.000	1.000	0.804	0.763	0.722	0.679	0.637	0.595	0.517	0.419	0.317	0.257	0.217
3.000	1.000	0.700	0.636	0.574	0.515	0.462	0.416	0.348	0.279	0.211	0.171	0.145
4.000	1.000	0.594	0.514	0.445	0.390	0.347	0.312	0.261	0.209	0.159	0.128	0.108
5.000	1.000	0.495	0.415	0.356	0.312	0.277	0.250	0.209	0.168	0.127	0.103	0.087

Figura 8 – Defensa tipo arco: fator angular para energia de atracação

Reaction Force Correction Factors

L/H \ α	0	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
0.750	1.000	0.873	0.866	0.862	0.862	0.864	0.867	0.878	0.896	0.921	0.926	0.907
1.000	1.000	0.863	0.862	0.865	0.870	0.878	0.886	0.903	0.922	0.921	0.817	0.777
1.100	1.000	0.862	0.863	0.869	0.876	0.885	0.895	0.912	0.926	0.907	0.824	0.708
1.200	1.000	0.862	0.866	0.873	0.883	0.893	0.903	0.919	0.927	0.882	0.767	0.649
1.300	1.000	0.863	0.869	0.879	0.890	0.900	0.911	0.924	0.923	0.849	0.709	0.600
1.400	1.000	0.865	0.873	0.885	0.897	0.908	0.917	0.927	0.914	0.806	0.658	0.556
1.500	1.000	0.867	0.878	0.891	0.903	0.914	0.922	0.927	0.899	0.759	0.614	0.519
1.600	1.000	0.871	0.883	0.897	0.909	0.919	0.925	0.924	0.879	0.712	0.576	0.487
1.700	1.000	0.874	0.888	0.903	0.915	0.923	0.927	0.917	0.854	0.670	0.542	0.458
1.800	1.000	0.878	0.893	0.908	0.919	0.926	0.927	0.908	0.823	0.632	0.512	0.433
1.900	1.000	0.882	0.899	0.913	0.923	0.927	0.924	0.894	0.789	0.599	0.485	0.410
2.000	1.000	0.887	0.903	0.917	0.925	0.927	0.920	0.878	0.752	0.569	0.461	0.389
3.000	1.000	0.922	0.927	0.912	0.876	0.819	0.747	0.624	0.501	0.379	0.307	0.260
4.000	1.000	0.919	0.876	0.795	0.699	0.622	0.561	0.468	0.376	0.285	0.230	0.195
5.000	1.000	0.858	0.745	0.639	0.560	0.498	0.448	0.375	0.301	0.228	0.184	0.156

Figura 9 –Defensa tipo arco: fator angular para reação de atracação

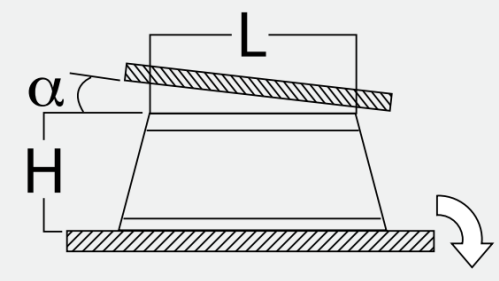


Figura 10 – Defensa tipo arco: ângulo α

5.4. FATOR DE VELOCIDADE

Esta fator é tabelado em função do tempo de compressão, calculado segundo a fórmula:

$$t = \frac{d}{f * Vd}$$

Em que:

- t : tempo de compressão, em segundos;
- f : fator de desaceleração informado como sendo igual a 0,74 no modelo adotado;
- d : deflexão nominal, igual a 72% para defensa cônica e 51,5% para defensas tipo arco em relação à altura da defensa;
- Vd : velocidade de atracação perpendicular à linha de atracação (ver valores na Tabela 1, conforme definidos na seção 4.4).

A Figura 11 mostra os valores do fator de velocidade em função do tempo de compressão da defensa para as defensas cônicas.

VELOCITY FACTOR (VF) TABLE

COMPRESSION TIME (SECONDS)	BLEND OF NATURAL AND SYNTHETIC RUBBER (CATALOG COMPOUND)	100% NATURAL RUBBER (REFER TO APPENDIX A)	100% SYNTHETIC RUBBER (SBR)
	VF	VF	VF
1	1.20	1.14	1.31
2	1.16	1.10	1.25
3	1.14	1.09	1.22
4	1.13	1.07	1.20
5	1.11	1.06	1.19
6	1.10	1.06	1.17
7	1.09	1.05	1.16
8	1.09	1.04	1.15
9	1.08	1.04	1.14
10	1.07	1.03	1.14
11	1.07	1.03	1.13
12	1.06	1.02	1.12
13	1.06	1.02	1.12
14	1.05	1.02	1.11
15	1.05	1.01	1.11
16	1.05	1.01	1.10
17	1.04	1.01	1.10
18	1.04	1.01	1.09
19	1.04	1.00	1.09
20	1.03	1.00	1.08

Figura 11 – Defensa cônica: fator de velocidade

A Figura 12 mostra os valores do fator de velocidade em função do tempo de compressão da defensa para as defensas do tipo arco.

VELOCITY FACTOR (VF) TABLE

COMPRESSION TIME (SECONDS)	BLEND OF NATURAL AND SYNTHETIC RUBBER (CATALOG COMPOUND)	100% NATURAL RUBBER	100% SYNTHETIC RUBBER (SBR)
	VF	VF	VF
1	1.20	1.14	1.31
2	1.16	1.10	1.25
3	1.14	1.09	1.22
4	1.13	1.07	1.20
5	1.11	1.06	1.19
6	1.10	1.06	1.17
7	1.09	1.05	1.16
8	1.09	1.04	1.15
9	1.08	1.04	1.14
10	1.07	1.03	1.14
11	1.07	1.03	1.13
12	1.06	1.02	1.12
13	1.06	1.02	1.12
14	1.05	1.02	1.11
15	1.05	1.01	1.11
16	1.05	1.01	1.10
17	1.04	1.01	1.10
18	1.04	1.01	1.09
19	1.04	1.00	1.09
20	1.03	1.00	1.08

Figura 12 – Defensa tipo arco: fator de velocidade

5.5. FATOR DE TEMPERATURA

Adotou-se temperatura de +40°C para cálculo da energia cinética de absorção ajustada, e +10°C para cálculo da reação na defensa ajustada.

A Figura 13 mostra os valores do fator de temperatura em função da temperatura para as defensas cônicas, que são idênticas para defensas do tipo arco.

TEMPERATURE FACTOR (TF) TABLE

TEMPERATURE (°C)	BLEND OF NATURAL AND SYNTHETIC RUBBER (CATALOG COMPOUND)	100% NATURAL RUBBER (REFER TO APPENDIX A)	100% SYNTHETIC RUBBER (SBR)
	TF	TF	TF
+50	0.916	0.914	0.918
+40	0.947	0.946	0.948
+30	0.978	0.978	0.979
+23	1.000	1.000	1.000
+10	1.030	1.025	1.038
+0	1.075	1.053	1.108
-10	1.130	1.080	1.206
-20	1.249	1.142	1.410
-30	1.540	1.315	1.877

Figura 13 – Defensa cônica e tipo arco: fator de temperatura

5.6. ENERGIA DE ATRACAÇÃO AJUSTADA

Aplicando os fatores de velocidade (seção 5.4), temperatura (seção 5.5), angular (seção 5.3) e de tolerância de fabricação (seção 5.2) aos valores de energia de atracação anormal (E_A) da Tabela 1, chega-se aos valores de energia cinética de atracação anormal ajustados, conforme exibidos na Tabela 2.

Símbolo	Unidade	Valor				Descrição
DWT	t	50.000	30.000	5.000	800	Porte bruto da embarcação
-	-	Cônica	Cônica	Cônica	ARCO	Tipo de defensa
H	mm	1400	1400	1400	500	Altura da defensa
F_{tol}	-	0,90	0,90	0,90	0,90	Fator de tolerância de fabricação
$F_{ang,E}$	-	1	1	0,856	1	Fator angular
F_{temp}	-	0,947	0,947	0,947	0,947	Fator de temperatura (40°C)
f	-	0,74	0,74	0,74	0,74	fator de desaceleração
d	mm	1008	1008	1008	258	deflexão nominal - 72% (cônica) e 51,5% (arco), em relação a H
*t = d/(f*Vd)*	s	9,1	9,1	6,2	1,0	tempo de compressão, em segundos
F_{vel}	-	1,07	1,07	1,10	1,20	Fator de velocidade
E_A	kN.m	1045	868	400	112	Energia cinética de atracação do navio anormal
$E_{A,aj}$	kN.m	1145,8	951,9	498,4	109,6	Energia cinética de atracação do navio anormal - valores ajustados

Tabela 2: Energia de atracação anormal – valores ajustados

Com base nos resultados da Tabela 2, tem-se, para as energias de atracação máximas ajustadas a serem absorvidas pelas defensas, os seguintes valores:

- 1145,8 kN.m, para as 2 defensas dos dolfins de atracação;
- 109,6 kN.m, para as defensas da ampliação da plataforma de operações.

As defensas em arco possuem comprimento de 4,0m lineares. Entretanto, considera-se, a favor da segurança, um comprimento de contato mínimo de 1,5m com o casco das balsas (ver Figura 1), resultando em uma energia de atracação requerida de 73,1 kN.m/m.

5.7. SELEÇÃO DAS DEFENSAS

Com propósito referencial, cita-se a defensa cônica de altura de 1400mm, com graduação 'F 1.5', que atende ao critério de absorção de energia requerido para os dolfins de atracação, conforme ilustrado na Figura 14. Para esta defensa tem-se uma capacidade de absorção de energia de 1168,0 kN.m (maior que 1145,8 kN.m calculado) e uma reação nominal máxima de 1400,0kN.

PERFORMANCE DATA*

			F 0.9^	F 1.0	F 1.1	F 1.2	F 1.3	F 1.4	F 1.5	F 1.6	F 1.7	F 1.8	F 1.9	F 2.0
1400	CV	E	927.0	1030.0	1057.6	1085.2	1112.8	1140.4	1168.0	1195.4	1222.8	1250.2	1277.6	1305.0
		R	1111.5	1235.0	1268.0	1301.0	1334.0	1367.0	1400.0	1447.2	1494.4	1541.6	1588.8	1636.0
	RPD	E_R	1001.2	1112.4	1142.2	1172.0	1201.8	1231.6	1261.4	1291.0	1320.6	1350.2	1379.8	1409.4
		R_R	1200.4	1333.8	1369.4	1405.1	1440.7	1476.4	1512.0	1563.0	1614.0	1664.9	1715.9	1766.9

Figura 14 – Defensas cônicas: tabela de absorção de energia e reação

Para as defensas da ampliação da plataforma de operações, cita-se a defensa tipo arco de altura de 500mm, com graduação 'E 1.6', que atende ao critério de absorção de energia requerido para as defensas da ampliação da plataforma de operações, considerando 4 metros lineares de defensa e 1,5m de contato efetivo (ver Figura 1), conforme ilustrado na Figura 15. Para esta defensa tem-se uma capacidade de absorção de energia de 75,4 kN.m/m (maior que 73,1 kN.m/m calculado) e uma reação nominal máxima de 357,0kN/m.

PERFORMANCE DATA*

			E 1.0	E 1.1	E 1.2	E 1.3	E 1.4	E 1.5	E 1.6	E 1.7	E 1.8	E 1.9	E 2.0
500	CV	E	60.0	62.6	65.2	67.8	70.4	73.0	75.4	77.8	80.2	82.6	85.0
		R	286.0	297.8	309.6	321.4	333.2	345.0	357.0	369.0	381.0	393.0	405.0
	RPD	E_R	69.3	72.3	75.3	78.3	81.3	84.3	87.1	89.9	92.6	95.4	98.2
		R_R	330.3	344.0	357.6	371.2	384.8	398.5	412.3	426.2	440.1	453.9	467.8

Figura 15 – Defensas em arco: tabela de absorção de energia e reação – valores por metro linear

6. DEFINIÇÃO DE ÁREA PARA PAINÉIS DA DEFENSA

6.1. REAÇÃO DE ATRACAÇÃO AJUSTADA

Aplicando os fatores de velocidade (seção 5.4), temperatura (seção 5.5), angular (seção 5.3) e de tolerância de fabricação (seção 5.2) aos valores de reação das defensas devido à atracação anormal, mencionados na seção 5.7, chega-se aos valores de reação nas defensas ajustados, conforme mostrados na Tabela 3.

Símbolo	Unidade	Valor				Descrição
DWT	t	50000	30000	5000	800	Porte bruto da embarcação
F_{tol}	-	1,1	1,1	1,1	1,1	Fator de tolerância de fabricação
$F_{ang,R}$	-	1	1	0,95	1	Fator angular
F_{temp}	-	1,03	1,03	1,03	1,03	Fator de temperatura (10°C)
F_{vel}	-	1,07	1,07	1,10	1,20	Fator de velocidade
R	kN e kN/m	**1400,0**	**1400,0**	**1400,0**	**357,0**	Reação máxima na defensa (catálogo)
R_A	kN e kN/m	**1697,2**	**1697,2**	**1657,6**	**485,4**	Reação na defensa / painel (valor ajustado)

Tabela 3: Reação nas defensas para atracação anormal – valores ajustados

Portanto, tem-se que a reação máxima é de:

- 1697,2 kN, para as defensas dos dolfins de atracação;
- 485,4 kN/m, para as defensas da ampliação da plataforma de operações.

Considerando o comprimento de contato mínimo adotado de 1,5m com o casco das balsas, para as defensas em arco, tem-se uma reação de atracação de 728,1 kN.

6.2. PRESSÃO NO CASCO

Para a pressão máxima admissível no casco do navio adotaram-se os valores indicados em PIANC nº 33, tabela 4.4.1, sendo:

- 20 tf/m² para navios de transporte de gás liquefeito (5.000 TPB);
- 30 tf/m² para navio petroleiro (30.000 TPB e 50.000 TPB aliviado).

A Tabela 4 apresenta a verificação da tensão atuante nos cascos das embarcações para uma certa área de painel adotada, em função dos valores de reação ajustados apresentados na Tabela 3.

Símbolo	Unidade	Valor			Descrição
DWT	t	50000	30000	5000	Porte bruto da embarcação
A_P	m²	10	10	10	Área do painel da defensa
σ	tf/m²	17	17	17	Tensão no casco do navio
$\sigma_{máx}$	tf/m²	30,0	30,0	20,0	Tensão máxima admissível no casco do navio
		OK	OK	OK	OK: atende ao critério de pressão máxima no casco do navio

Tabela 4: Verificação de tensão máxima atuante no casco das embarcações

7. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS DEFENSAS

São apresentadas a seguir as características mínimas que as defensas devem possuir, independentemente do fabricante e modelo a serem adotados na obra.

7.1. PARA AS DEFENSAS DOS DOLFINS DE ATRACAÇÃO

As defensas para os dolfins de atracação devem atender aos seguintes critérios:

- Devem ser em formato cônico;
- Devem ser de borracha sintética, natural ou mista, com aditivos resistentes aos efeitos do ozônio e da radiação ultravioleta;
- Devem ter altura de 1400mm;
- Devem atender às seguintes características de desempenho mínimas:

Símbolo	Unidade	Valor	Descrição
E_A	kN.m	1045	Energia cinética de atracação do navio anormal
$E_{A,aj}$	kN.m	1145	Energia cinética de atracação anormal do navio - valores ajustados (catálogo)
*R**	kN	1400	Reação máxima na defensa (catálogo)
R_A	kN	1700	Reação na defensa / painel (valor ajustado)

Tabela 5: Defensa cônica – requisitos mínimos

7.2. PARA AS DEFENSAS DA AMPLIAÇÃO DA PLATAFORMA DE OPERAÇÕES

As defensas para a estrutura de ampliação da plataforma de operações devem atender aos seguintes critérios:

- Devem ser em formato do tipo ‘arco’;
- Devem ser de borracha sintética, natural ou mista, com aditivos resistentes aos efeitos do ozônio e da radiação ultravioleta;
- Devem ter altura de 500mm, e comprimento maior ou igual a 4,0m;
- Devem ser instaladas verticalmente, com nível da borda inferior no nível 0,00 DHN;
- Devem atender às seguintes características de desempenho:

Símbolo	Unidade	Valor	Descrição
E_A	kN.m /m	75	Energia cinética de atracação do navio anormal por metro linear
$E_{A,aj}$	kN.m /m	75	Energia cinética de atracação anormal do navio por metro linear - valores ajustados (catálogo)
*R**	kN /m	357	Reação máxima na defensa por metro linear (catálogo)
R_A	kN /m	485	Reação na defensa / painel por metro linear (valor ajustado)

Tabela 6: Defensa tipo arco – requisitos mínimos

8. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS PAINÉIS

Os painéis para as defensas cônicas dos dolfins de atracação devem ser atender aos seguintes critérios:

- Material dos blocos do painel em polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMW-PE), com espessura mínima de 50mm, devendo atender às características dadas na Tabela 7;

Propriedades	ASTM	Valor típico	Unidade
Densidade	D-792	0,94	g/cm³
Resist. à ruptura	D-638	520	Kgf/cm²
Resist. à escoamento	-	200	Kgf/cm²
Alongamento na ruptura	-	200	%
Deformação sob carga	-	5.1	% espessura
Deformação retirada a carga	-	1.8	-
Resist. à abrasão	D-1044	23	mg/1000 ciclos
Dureza	D-2240	63	shore D
Coef. de atrito (aço polido 23°C)	D-1894	-	-
Estático	-	0.15	-
Dinâmico	-	0.12	-
Os dados acima são valores típicos obtidos em laboratórios segundo critérios ASTM em condições padrão de teste.			

Tabela 7: Características do revestimento do painel

- Cada painel das defensas dos dolfins de atracação deve possuir largura mínima de 2,5m, altura mínima de 4,0m e área mínima de 10,0m²;
- Devem possuir estrutura de aço de caixas fechadas;
- As estruturas dos painéis devem ser dimensionadas para atender às cargas de atracação;
- Todos os perfis devem possuir espessura mínima, de:
  - 12mm – para chapas expostas em ambas as superfícies;
  - 10mm – para chapas expostas em apenas uma superfície;
  - 8mm – para chapas em elementos internos (não expostos).
- Devem conter pintura em acordo com o sistema de pintura tipo A ou B da norma N-2037 da Petrobrás, com espessura de película seca total mínima de 450 µm;
- Os painéis devem ser verificados quanto à pressão para garantir estanqueidade à água. Destaca-se que a alternativa de painéis estanques é a melhor alternativa em relação à opção de painéis abertos, visto que reduz consideravelmente a necessidade de manutenção e evita acúmulo de impurezas;
- Não deve haver pinos ou ligações sobressalentes que possam danificar o casco de embarcações;
- O sistema deve garantir resistência ao impacto e desgaste para as diversas embarcações de projeto;
- A instalação dos painéis deve ocorrer de tal modo que o nível do chanfro inferior fique no nível +0,00 DHN.

9. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ACESSÓRIOS

Todas as defensas devem ser providas de correntes e demais acessórios conforme indicados pela fabricante, devendo atender às seguintes características mínimas:

- Material das correntes em aço galvanizado;
- Deve haver correntes suficientes para resistir a esforços provenientes de cargas verticais (peso próprio dos painéis) e devem ser dimensionadas para resistir às cargas de atracação (cargas longitudinais e cargas transversais);
- As correntes devem estar tensionadas;
- Comprovação de carga atestada e certificada, devendo atender aos valores mínimos para o projeto.