



# Tanque de Provas Numérico

## Projeto

Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de  
São Sebastião - SP (TEBAR)

RT4 - CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DAS ESTRUTURAS DE ATRACAÇÃO E  
AMARRAÇÃO E RECOMENDAÇÕES PARA SUA INSPEÇÃO ESTRUTURAL



**PETROBRAS**

NOVEMBRO 2019



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Universidade de São Paulo



# Tanque de Provas Numérico

## Projeto

### Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de São Sebastião - SP (TEBAR)

PROJETO						
Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de São Sebastião - SP (TEBAR)						
	CÓDIGO DO RELATÓRIO		TÍTULO DO RELATÓRIO			
	RT4 – revC		Relatório de caracterização do projeto das estruturas de atracação e amarração e recomendações para sua inspeção estrutural			
CLIENTE	COORDENADOR CLIENTE		COORDENADOR TPN			
	Gerência de Eficiência Operacional e Novas Operações		Prof. Dr. Eduardo Aoun Tannuri			
	EQUIPE TPN-USP / Argonáutica					
		Eng. Msc. Felipe Ruggeri				
		Eng. Guilherme Feitosa Rosetti	Prof. Dr. Paolo Alfredini (Consultor)			
		Eng. Msc. Rodrigo Sauri Lavieri				
	ORIGINAL	REVISÃO A	REVISÃO B	REVISÃO C	REVISÃO D	REVISÃO E
DATA	19/09/2014	14/11/2014	07/04/2015	05/11/2019		
EXECUÇÃO	PA	PA/RSL	RSL	EAT		
VERIFICAÇÃO	PA	PA	EAT			
APROVAÇÃO	EAT	EAT	EAT			

## Sumário

SUMÁRIO EXECUTIVO .....	4
1. Introdução .....	6
2. Píer Sul.....	8
2.1. Descrição introdutória .....	8
2.2. Premissas originais do projeto de construção civil .....	10
3. Píer Norte .....	12
3.1. Descrição introdutória .....	12
3.2. Premissas originais do projeto de construção civil .....	15
4. Cargas decorrentes das atracações STS .....	17
4.1. Píer Sul.....	17
4.2. Píer Norte .....	19
5. Limites Operacionais para operações no PP1 e PP4 .....	25
6. Recomendações para a inspeção estrutural de obras de acostagem.....	27
6.1. Recomendações norte-americanas (US Navy).....	27
6.2. Recomendações alemãs (DIN).....	28
6.3. Recomendações PIANC .....	30
7. Conclusões.....	31
8. Referências.....	32

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório apresentou as principais premissas do projeto das estruturas de atracação e amarração do Terminal Aquaviário de São Sebastião (TEBAR-SP), bem como recomendações para sua inspeção estrutural. Verificaram-se as principais características adotadas no dimensionamento estruturas das obras civis de acostamento e amarração, o que se torna necessário tendo em vista a análise das operações a contrabordo que se pretende fazer nos berços do TEBAR.

A Figura 1 apresenta o arranjo geral de cada um dos Píeres, indicando também a numeração adotada para cada estrutura. As cargas resultantes da atracação de navios a contrabordo sujeitos a condições de vento e corrente simultâneos de 1 ano (calculadas no relatório RT1) foram então transferidas às estruturas dos berços, para configurações de navios a contrabordo. Estas foram então comparadas com os valores usados para o dimensionamento estrutural do terminal e são apresentadas na Tabela 1 para o Pier Sul e na Tabela 2 para o Pier Norte.

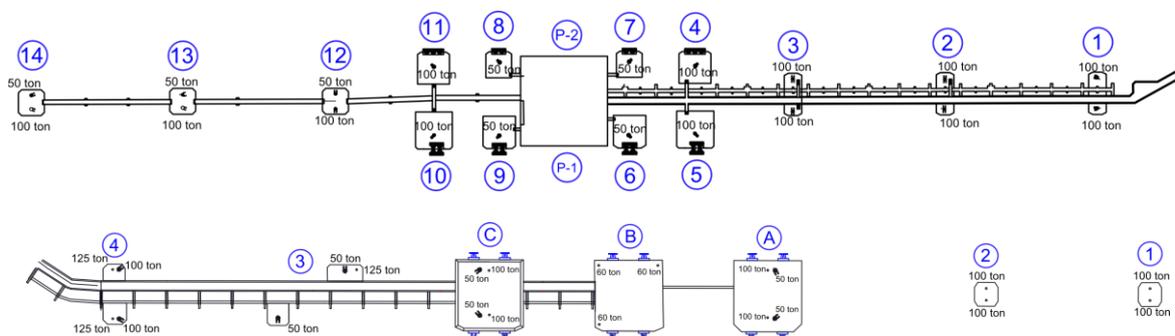


Figura 1 Planimetria do arranjo geral atual do Píer Sul (acima) e Pier Norte (abaixo).

Tabela 1 Resumo dos esforços nas estruturas do Píer Sul (até 2 navios VLCC no PP1 e 2 navios Suezmax no PP2)

Estrutura	Esforço (% máximo)
14	21.3%
13	59.9%
12	19.6%
10	0.0%
9	23.0%
6	15.3%
5	12.3%
3	84.5%
2	19.7%
1	8.4%
11	12.9%
8	16.5%
7	15.4%
4	3.9%

Tabela 2 Resumo dos esforços nas estruturas do Píer Norte (até 2 navios Suezmax no PP3 e 2 navios Panamax no PP4)

Estrutura	Esforço (% máximo)
4	116.1
3	46.1
B	70.5
C	25.9
A	160.5
2	31.1
1	36.8

Fica claro que em nenhuma das situações avaliadas no Píer Sul as cargas excederam os limites de projeto, alcançando o valor máximo de 84,5% da carga de projeto no dólfin 3 para o caso de 2 VLCCs carregados no PP1 simultaneamente a 2 Suezmax no PP2. Já no Píer Norte, há esforços longitudinais que em diversas situações excederam os limites de projeto, em particular para o dólfin 4 e para a plataforma de acostagem A.

Para o caso adicional de apenas um navio Suezmax atracado no PP3 e um PSV a contrabordo de um Handymax no PP4, verificou-se que as cargas nas estruturas portuárias não excederam em nenhuma condição os limites de dimensionamento da estrutura, mesmo considerando-se dólfin 4 e a plataforma de acostagem A.

Para a operação de algumas configurações de navios no PP1, PP2 e no PP4, avaliaram-se em seguida os limites operacionais, que correspondem às velocidades máximas de vento e/ou corrente que podem atuar no berço mantendo a integridade estrutural do mesmo. Verificou-se que os mesmos limites calculados no RT1 (reproduzidos aqui na Tabela 3) que garantem a integridade dos cabos e defensas também garantem que as cargas máximas nas estruturas portuárias mantenham-se abaixo dos limites de projeto.

Tabela 3 Limites ambientais (vento/corrente) para operação PP1, PP2 e PP4

	PP1		PP2	PP4
	VLCC / VLCC	Suezmax / Suezmax	Suezmax / Suezmax	Handysize / PSV
<b>Limite Ambiental</b>	Corrente < 2.8 nós	Corrente < 2.1 nós	Corrente < 2.1 nós	Corrente < 3.7 nós
	Vento < 30 nós	Vento < 30 nós	Vento < 30 nós	Vento < 37 nós

Ao final do relatório, são apresentadas diretrizes quanto à inspeção estrutural deste tipo de estruturas.

## 1. Introdução

O presente relatório visa apresentar as principais premissas do projeto das estruturas de atracação e amarração do Terminal Aquaviário de São Sebastião (Figura 2), o Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR) da Petrobrás, bem como recomendações para sua inspeção estrutural.

Neste documento foram sistematizadas as principais características adotadas no dimensionamento estruturas das obras civis de acostamento e amarração, coligidos diretamente das Memórias Justificativas e Descritivas do Eng.<sup>o</sup> Jayme Mason, projetista destas obras. Este embasamento torna-se necessário tendo em vista a análise das operações a contrabordo que se pretende fazer nos quatro berços do TEBAR.

Em seguida, as cargas oriundas da atracação de navios a contrabordo (calculadas no relatório técnico RT1) são comparadas com os valores usados para o dimensionamento estrutural do terminal.

Complementando as premissas do projeto estrutural, são apresentadas diretrizes quanto à inspeção estrutural deste tipo de estruturas.

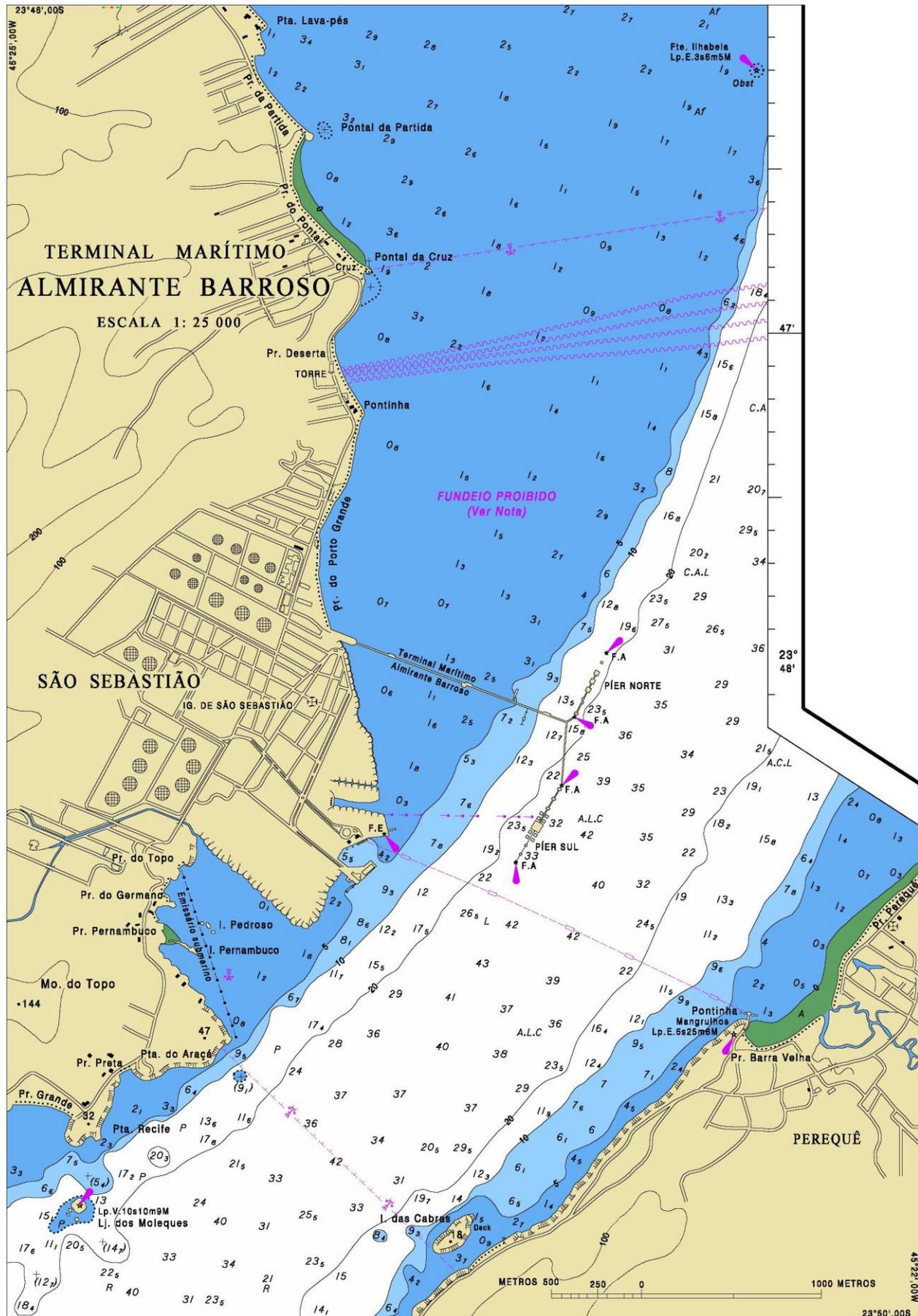


Figura 2: Carta Náutica 164502 – Terminal Marítimo Almirante Barroso.

## 2. Píer Sul

### 2.1. Descrição introdutória

O Píer Sul (Braço Sul) do Terminal Aquaviário de São Sebastião (Terminal Marítimo Almirante Barroso – TEBAR) possui 508 metros de extensão Figura 3. Tem um berço externo (PP-1) com 23,0 metros de calado máximo e um berço interno (PP-2) com 16,9 metros, e até 17,5 metros de calado máximo durante luz do dia e na preamar. O porte máximo das embarcações para atracação é de 300.000 TPB para atracações no PP-1, 155.000 TPB no PP-2 (Tabela 1). Informações quanto à atracação e amarração estão apresentadas na Tabela 2. O esquema de amarração recomendado está apresentado na Figura 6.

Tabela 4 Dimensões operacionais oficiais do Píer Sul (TRANSPETRO, 2006).

Nº do Berço	Compr. do Berço (metros)	Calado Máximo (metros)	Boca (máxima)	Comprimento da Embarcação (m)		Produtos Movimentados	Porte Máximo dos Navios TPB
				Máximo	Mínimo		
PP-1	508	23,0	NA	350	120	Petróleo, resíduo oleoso e bunker	300.000
PP-2	508	16,9	NA	280	120	Petróleo, resíduo oleoso e bunker	155.000

Observação: Berços de atracação equipados com instrumentos que registram a velocidade e distância de aproximação do navio em relação ao eixo longitudinal do píer.

Tabela 5: Informações oficiais para atracação e amarração no Píer Sul (TRANSPETRO, 2006).

Nº do Berço	Requer Prático para Manobras	Porte da Embarcação exemplo: TPB (máximo)	Nº & BP dos Rebocadores				Aproximação (Máxima)		Pontos de Amarração		Cabos de Amarração (proa e popa)		
			Atracação		Desatracação		Velocidade (cm/s)	Ângulo	Cabeços	Garos	Lançante	Través	Espringue
			Nº	BP	Nº	BP							
PP-1	Sim	Até 219.999	4	34	4	34	4	05°	4	22	4 fibra	4 aço	2 aço
		Até 300.000	5	36	4	34	4	05°	–	–	4 fibra	4 aço	2 aço
PP-2	Sim	155.000	4	34	4	34	6	05°	4	22	4 fibra	4 aço	2 aço



## 2.2. Premissas originais do projeto de construção civil

O Píer Sul do TEBAR constituiu-se na ampliação do Terminal Aquaviário de São Sebastião para o sul do pré-existente Píer Norte, tendo ocorrido na década de 1970. O projeto de construção civil seguiu as especificações contidas no documento 031-079-B-001, da Petrobrás, sob responsabilidade do Escritório de Cálculo Jayme Mason e tendo sido executado pela Construtora Christiani – Nielsen Engenheiros e Construtores S.A. (Christiani – Nielsen, 1972). Originalmente previsto para a atracação de petroleiros de até 250.000 TPB no PP-1, posteriormente foi permitida a atracação de petroleiros até 300.000 TPB, com as seguintes restrições:

Ângulo de acostamento máximo: 12°

Velocidade máxima de aproximação: 0,15m/s (0,30 nós)

O berço interno (PP-2) foi projetado para permitir a atracação de petroleiros até 115.000 TPB.

A solução adotada para o arranjo geral foi com dólfins rígidos de acostamento, com dois dólfins principais e dois secundários, tanto no PP-1, quanto no PP-2. A plataforma de operação tem estrutura independente. Completam o arranjo seis dólfins de amarração, três para sul e três para norte da plataforma de operações.

Os dólfins consistem de conjunto de estacas tubulares de aço e superestrutura de concreto armado, conforme mostrado nas figuras anteriores. Interligam-se entre si e com as demais estruturas por passadiços de estrutura de aço.

Os dólfins de acostamento eram equipados com um conjunto de defensas com amortecedores, cabeço de emergência de 200 tf para servir de fixação para amarras extras em caso de temporal, um conjunto de desengate rápido e um cabrestante, com as características apresentadas na Tabela 3. Tanto para o PP-1, quanto para o PP-2, já se previa que os navios tipo poderiam migrar para 300.000 TPB e 155.000 TPB. A força de fricção dos navios nas defensas foi considerada como 25% da força de impacto.

**Tabela 6: Informações de parâmetros de atracação e equipamento de amarração do projeto original do Píer Sul .**

Dólfins	Berço	Tipo	Energia de absorção (tfm)	Ganchos de desengate (tf)
5 e 10	PP-1	Principal	600	2 x 100
6 e 9	PP-1	Secundário	300	2 x 50
4 e 11	PP-2	Principal	280	2 x 100
7 e 8	PP-2	Secundário	140	2 x 50

Os dólfins de amarração foram equipados com ganchos de desengate rápido e cabrestantes, defensas simples e guarnições periféricas em madeira e escadas de marinheiro. Os ganchos de desengate voltados para o PP-1 eram de 2 x 100 tf e para o PP-2 de 2 x 50 tf. Os dólfins do lado da ponte de acesso são numerados de 1 a 3 e os da extremidade sul, progressivamente de 12 a 14. O projeto previa para cada dólfim de

amarração uma tração de 300 tf devido aos esforços do navio tipo no PP-1 e 180 tf devido aos esforços do navio no PP-2.

Em resumo, os cálculos dos esforços dinâmicos para dimensionamento das estacas de cada dólfim de acostamento levou em conta as seguintes cargas:

**Tabela 7: Cargas nos dólfinos de acostamento do projeto original do Píer Sul.**

Dólfim	Impacto nas defensas (tf)	Tração de amarração (tf)	Fricção nas defensas (tf)
6	300	150	75
7	270	150	67
4	540	300	135
5	600	300	150
9	300	150	75
8	270	150	67
11	540	300	135
10	600	300	150

Em resumo, os cálculos dos esforços dinâmicos para dimensionamento das estacas de cada dólfim de amarração (1 a 3 e 12 a 14) levaram em conta as seguintes cargas:

- Tração de 300 tf transversal rumo ao largo;
- Tração de 180 tf transversal rumo à costa;
- Tração simultânea de 300 tf e 180 tf longitudinais à linha de atracação.

### 3. Píer Norte

#### 3.1. Descrição introdutória

O Píer Norte (Braço Norte) do Terminal Aquaviário de São Sebastião (Terminal Marítimo Almirante Barroso – TEBAR) possui 395 metros de extensão. Tem um berço externo (PP-3) com 19,0 metros de calado máximo e um berço interno (PP-4) com 12,5 metros de calado máximo. O porte máximo das embarcações para atracação é de 150.000 TPB para atracações no PP-3, 65.000 TPB no PP-4 (Tabela 5). Informações quanto à atracação e amarração estão apresentadas na Tabela 6. O esquema de amarração recomendado está apresentado na Figura 11.

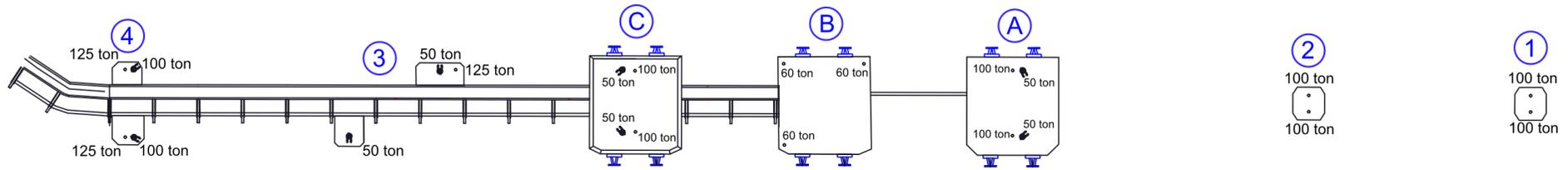


Figura 5: Planimetria do arranjo geral atual do Píer Norte.

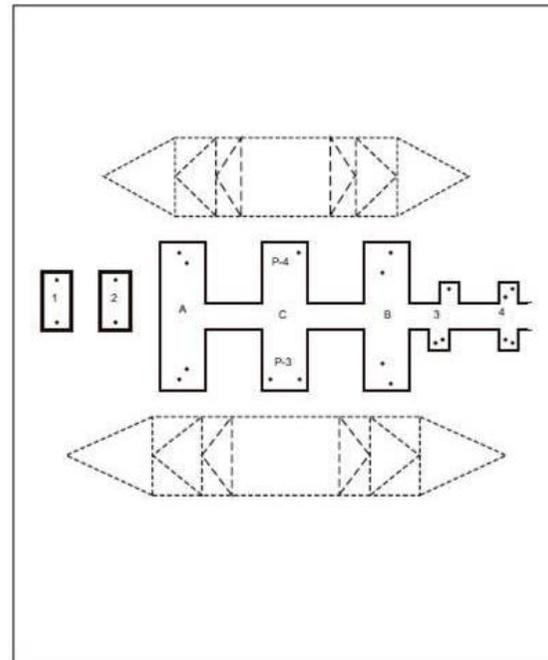


Figura 6 Esquema dos dólfins do píer norte apresentado no Port Information

Tabela 8: Dimensões operacionais oficiais do Pier Norte (TRANSPETRO, 2006).

Nº do Berço	Compr. do Berço (metros)	Calado Máximo (metros)	Boca (máxima)	Comprimento da Embarcação (m)		Produtos Movimentados	Porte Máximo dos Navios TPB
				Máximo	Mínimo		
PP-3	395	19,0	NA	280	120	Petróleo, derivados, resíduo oleoso e bunker	150.000
PP-4	395	12,5	NA	260	120	Petróleo, derivados, álcoois, resíduo oleoso e bunker	65.000

Observação: Berços de atracação equipados com instrumentos que registram a velocidade e distância de aproximação do navio em relação ao eixo longitudinal do píer.

Tabela 9: Informações oficiais para atracação e amarração no Pier Norte (TRANSPETRO, 2006).

Nº do Berço	Requer Prático para Manobras	Porte da Embarcação exemplo TPB (máximo)	Nº & BP dos Rebocadores				Aproximação (Máxima)		Pontos de Amarração		Cabos de Amarração (proa e popa)		
			Atracação		Desatracação		Velocidade [cm/s]	Ângulo	Cabeços	Gatos	Lançante	Través	Espringue
			Nº	BP	Nº	BP							
PP-3	Sim	150.000	4	34	4	34	6	05°	7	8	4 fibra	4 aço	2 aço
PP-4	Sim	65.000	3	34	3	34	6	05°	8	8	4 fibra	3 fibra	2 fibra

### **3.2 Premissas originais do projeto de construção civil**

O Píer Norte do TEBAR foi construído para implantar o Terminal Aquaviário de São Sebastião na década de 1960. O projeto de construção civil seguiu as especificações contidas no documento 031-079-B-001, da Petrobrás, sob responsabilidade do Escritório de Cálculo Jayme Mason e tendo sido executado pela Construtora Christiani – Nielsen Engenheiros e Construtores S. A..

Originalmente previsto para a atracação de petroleiros de até 105.000 TPB no PP-3, posteriormente foi permitida a atracação de petroleiros até 150.000 TPB.

O berço interno (PP-4) foi projetado para permitir a atracação de petroleiros de 16.500 TPB, sendo hoje permitida a atracação de petroleiros até 65.000 TPB.

A solução adotada para o arranjo geral foi com três plataformas rígidas de acostamento, utilizadas tanto pelo PP-3, quanto pelo PP-4. As plataformas de acostamento têm estruturas independentes entre si. Completam o arranjo dois dólfinos duplos de amarração para sul e dois dólfinos simples de amarração para norte das plataformas de acostamento, da mesma forma interligados por passadiços de estrutura de aço.

As estacas foram constituídas de tubulões de aço preenchidos de concreto e superestrutura de concreto armado.

As plataformas de acostamento eram equipadas com dois cabeços de amarração para 100 tf cada um. A força de fricção dos navios nas defensas foi considerada como 25% da força de impacto.

Os dólfinos duplos de amarração foram equipados originalmente com dois cabeços de 125 tf cada um.

Os dólfinos simples de amarração dispunham de dois cabeços de 125 tf cada um

Em resumo, os cálculos dos esforços dinâmicos para o dimensionamento estático do estaqueamento das plataformas de acostamento e dólfinos de amarração:

Para as plataformas de acostamento

- 1.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: impacto central, muito pouco provável, de 400 tf e com energia absorvida de 120 tfm;
- 2.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: impacto excêntrico de 172 tf, fricção de 43 tf e com energia absorvida de 46 tfm;
- 3.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: os cabeços são tracionados com força longitudinal total sobre as Plataformas A, B e C de 140 tf em cada uma. Não é claro no documento se este valor de 140ton corresponde ao limite de cada bordo ou da plataforma como um todo.

Para os dólfinos duplos de amarração (números 1 e 2)

- 1.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: impacto de petroleiro em manobra em defesa protetiva do lado menor do dólfim, pouco provável, de 300 tf;
- 2.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: tração simultânea em dois cabeços com força longitudinal de 250 tf;
- 3.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: tração somente num cabeço com força longitudinal de 125 tf.

Para os dólfinos simples de amarração (números 3 e 4)

- 1.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: 175 tf de tracionamento longitudinal total nos dois cabeços;

- 2.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: 175 tf de tracionamento a 45° com relação à linha de atracação, correspondendo a 124 tf nas componentes dos eixos horizontais;
- 3.<sup>a</sup> Hipótese de carregamento: 100 tf de tracionamento no sentido longitudinal somente sobre um cabeço.

## 4. Cargas decorrentes das atracções STS

Neste tópico foram resumidos os resultados das análises de amarração STS nos 4 berços estudados. Estes resultados condensam as máximas trações em cada um dos guinchos de desengate rápido, descritos em detalhes no RT1. Foram avaliadas diversas combinações de embarcações atracadas a fim de identificar as condições críticas. No caso do Berço Norte foram avaliadas ainda as atracções simples (apenas uma embarcação no píer).

Apenas a compressão estática nas defensas foi incorporada no cálculo das cargas, ou seja, não foram considerados trações e impactos de atracção simultaneamente.

Destaca-se que nestas análises, em favor da segurança, não foram considerados os limites de ruptura dos cabos, sendo assim, mesmo cargas que produziram a falha dos cabos estão sendo aplicadas às estruturas.

As numerações empregadas nas tabelas identificam os dólfin e plataformas e são apresentadas na Figura 3 e Figura 5. As cargas foram decompostas em componentes longitudinal, paralela à linha de atracção, e transversal, no sentido costa largo.

### 4.1. Píer Sul

Embora o Píer Sul receba embarcações de maior porte, as cargas nas estruturas mantiveram-se em níveis aceitáveis mesmo nos casos de atracção STS. A Tabela 10 apresenta os esforços longitudinais nas estruturas deste berço para as diversas combinações de navios atracados, e a Tabela 11 apresenta os esforços transversais. A Figura 7 apresenta os diagramas vetoriais das forças nas estruturas nos casos críticos.

Pode-se verificar que a estrutura mais solicitada foi o dólfin 13, como ilustra a Figura 7. Este dólfin em particular recebe os traveses de popa dos VLCCs atracados ao PP1 que são muito solicitados quando incide a corrente NE de 1,2m/s (2,4 nós). Mesmo assim, as cargas mantiveram-se inferiores aos critérios de projeto. Analogamente o dólfin 3 é o mais solicitado pelo conjunto de Suezmax por resistir aos esforços da corrente SW de 0,9m/s (1,8 nós).

Tabela 10 Esforços longitudinais nas estruturas do Píer Sul para todos os casos estudados

Cargas Longitudinais (Fx) em tf														
14	13	12	10	9	6	5	3	2	1	11	8	7	4	Arquivos
75.93	45.40	74.13	0.00	51.71	1.20	43.97	44.01	24.16	35.27	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1
74.71	46.37	73.99	0.00	49.76	1.19	41.35	36.67	20.84	35.75	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1
0.00	24.76	17.09	0.00	0.00	0.00	0.00	29.74	46.90	0.00	2.00	22.70	33.34	0.66	suez_lastro_suez_carregado_PP2
0.00	20.86	15.65	0.00	0.00	0.00	0.00	30.55	46.46	0.00	1.63	22.87	28.49	0.66	suez_carregado_suez_lastro_PP2
75.93	46.51	74.13	0.00	51.71	1.20	43.97	61.67	59.61	35.27	2.00	22.70	33.34	0.66	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1    suez_lastro_suez_carregado_PP2
75.93	51.94	74.76	0.00	51.71	1.20	43.97	57.12	59.33	35.27	1.63	22.87	28.49	0.66	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1    suez_carregado_suez_lastro_PP2
74.71	47.49	73.99	0.00	49.76	1.19	41.35	60.18	57.45	35.75	2.00	22.70	33.34	0.66	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1    suez_lastro_suez_carregado_PP2
74.71	52.92	74.61	0.00	49.76	1.19	41.35	53.87	57.17	35.75	1.63	22.87	28.49	0.66	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1    suez_carregado_suez_lastro_PP2
102.18	62.07	82.95	0.00	47.32	1.36	55.14	60.34	29.17	40.42	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_carregado_vlcc_carregado
102.18	63.19	82.95	0.00	47.32	1.36	55.14	83.85	67.25	40.42	2.00	22.70	33.34	0.66	vlcc_carregado_vlcc_carregado    suez_lastro_suez_carregado_PP2
102.18	68.62	83.57	0.00	47.32	1.36	55.14	77.50	66.97	40.42	1.63	22.87	28.49	0.66	vlcc_carregado_vlcc_carregado    suez_carregado_suez_lastro_PP2

Tabela 11 Esforços transversais nas estruturas do Píer Sul para todos os casos estudados

Cargas Transversais (Fy) em tf														Caso
14	13	12	10	9	6	5	3	2	1	11	8	7	4	
46.44	131.36	52.60	0.00	-47.73	-40.44	-39.95	-59.83	49.03	22.10	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1
45.69	134.18	52.50	0.00	-49.36	-40.26	-38.86	-54.94	42.10	22.39	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1
0.00	-22.30	-31.82	0.00	0.00	0.00	0.00	-59.48	-31.48	0.00	69.92	41.69	19.27	21.14	suez_lastro_suez_carregado_PP2
0.00	-18.79	-29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	-61.10	-31.15	0.00	56.93	44.57	23.77	20.98	suez_carregado_suez_lastro_PP2
46.44	130.35	52.60	0.00	-47.73	-40.44	-39.95	-119.31	38.83	22.10	69.92	41.69	19.27	21.14	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1    suez_lastro_suez_carregado_PP2
46.44	125.46	51.45	0.00	-47.73	-40.44	-39.95	-120.93	39.78	22.10	56.93	44.57	23.77	20.98	vlcc_lastro_vlcc_carregado_PP1    suez_carregado_suez_lastro_PP2
45.69	133.18	52.50	0.00	-49.36	-40.26	-38.86	-114.42	23.47	22.39	69.92	41.69	19.27	21.14	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1    suez_lastro_suez_carregado_PP2
45.69	128.29	51.34	0.00	-49.36	-40.26	-38.86	-116.03	28.44	22.39	56.93	44.57	23.77	20.98	vlcc_carregado_vlcc_lastro_PP1    suez_carregado_suez_lastro_PP2
62.49	179.62	58.86	0.00	-52.26	-45.99	-52.62	-91.09	59.07	25.33	0.00	0.00	0.00	0.00	vlcc_carregado_vlcc_carregado
62.49	178.61	58.86	0.00	-52.26	-45.99	-52.62	-150.57	48.87	25.33	69.92	41.69	19.27	21.14	vlcc_carregado_vlcc_carregado    suez_lastro_suez_carregado_PP2
62.49	173.72	57.71	0.00	-52.26	-45.99	-52.62	-152.19	49.81	25.33	56.93	44.57	23.77	20.98	vlcc_carregado_vlcc_carregado    suez_carregado_suez_lastro_PP2

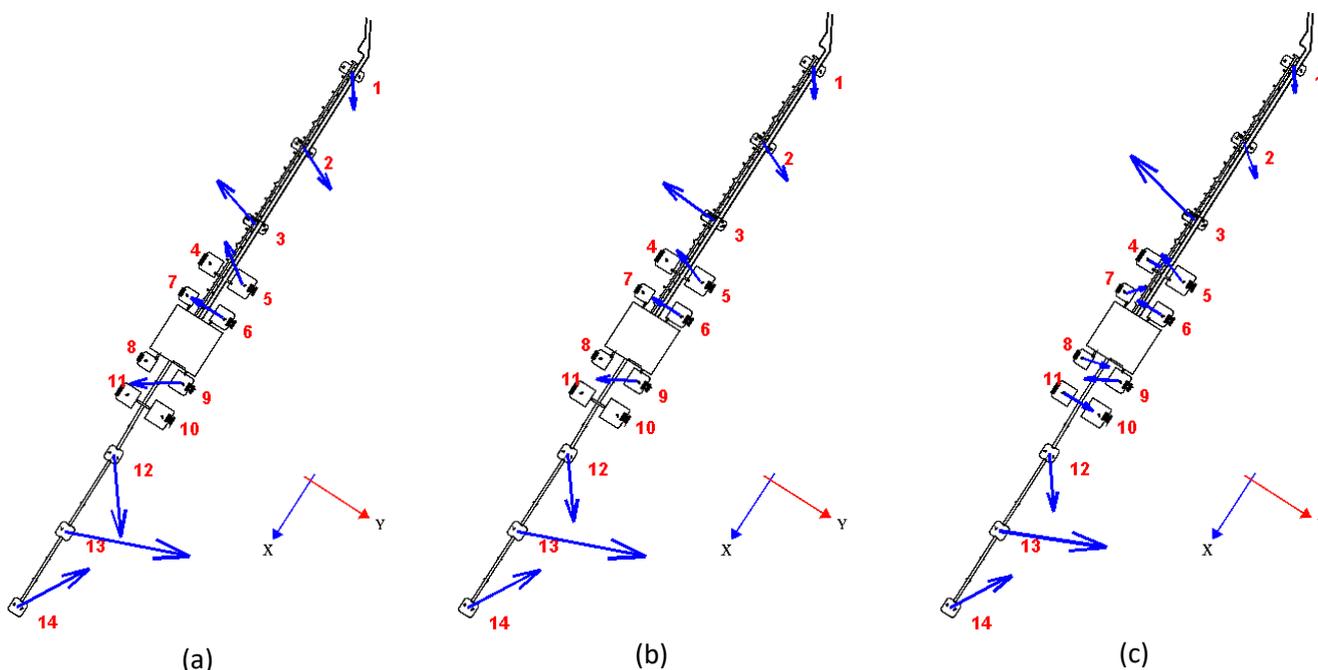


Figura 7 Exemplo gráfico de casos que produziram elevadas cargas transversais no Píer Sul. (a) 2 VLCCs atracados ao PP1; (b) 2 VLCCs no PP1 e 2 Suezmax no PP3; (c) 2 VLCCs Carregados no PP1 e 2 Suezmax no PP2

O resumo das cargas é apresentado na Tabela 12. Neste caso as cargas são descritas em termos de componentes longitudinal e transversal e para cada uma das estruturas dos berços. As identificações das estruturas empregadas nas tabelas a seguir correspondem àquelas da Figura 3.

Tabela 12 Resumo das cargas de projeto no Píer Sul

Cargas de projeto	14	13	12	10	9	6	5	3	2	1	11	8	7	4
<b>F<sub>x</sub>(tf)</b>	480	480	480	450	225	225	450	480	480	480	435	217	217	435
<b>F<sub>y</sub>(tf) ao largo</b>	300	300	300	300	150	150	300	300	300	300	540	270	270	540
<b>F<sub>y</sub>(tf) à costa</b>	180	180	180	600	300	300	600	180	180	180	300	150	150	300

A seguir são apresentadas tabelas resumidas das cargas calculadas nas estruturas já em termos percentuais.

Tabela 13 Resumo dos esforços longitudinais nas estruturas do Píer Sul

ESFORÇOS LONGITUDINAIS NAS ESTRUTURAS (Fx)	14	13	12	10	9	6	5	3	2	1	11	8	7	4
2 VLCCs no PP1	15.8%	9.5%	15.4%	0.0%	23.0%	0.5%	9.8%	9.2%	5.0%	7.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 VLCCs Carregados no PP1	21.3%	12.9%	17.3%	0.0%	21.0%	0.6%	12.3%	12.6%	6.1%	8.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 Suezmax no PP2	0.0%	4.3%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.4%	9.7%	0.0%	0.4%	10.5%	13.1%	0.2%
2 VLCCs no PP1 e 2 Suezmax no PP2	15.6%	9.9%	15.4%	0.0%	22.1%	0.5%	9.2%	12.5%	12.0%	7.4%	0.5%	10.5%	15.4%	0.2%
2 VLCCs Carregados no PP1 e 2 Suezmax no PP2	21.3%	14.3%	17.4%	0.0%	21.0%	0.6%	12.3%	16.1%	14.0%	8.4%	0.4%	10.5%	13.1%	0.2%

Tabela 14 Resumo dos esforços transversais nas estruturas do Píer Sul

ESFORÇOS TRANSVERSAIS NAS ESTRUTURAS (Fy)	14	13	12	10	9	6	5	3	2	1	11	8	7	4
2 VLCCs no PP1	15.5%	43.8%	17.5%	0.0%	15.9%	13.5%	6.7%	33.2%	16.3%	7.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 VLCCs Carregados no PP1	20.8%	59.9%	19.6%	0.0%	17.4%	15.3%	8.8%	50.6%	19.7%	8.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 Suezmax no PP2	0.0%	10.4%	16.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	33.9%	17.3%	0.0%	10.5%	16.5%	8.8%	3.9%
2 VLCCs no PP1 e 2 Suezmax no PP2	15.2%	44.4%	17.5%	0.0%	16.5%	13.4%	6.5%	63.6%	7.8%	7.5%	12.9%	15.4%	7.1%	3.9%
2 VLCCs Carregados no PP1 e 2 Suezmax no PP2	20.8%	57.9%	19.2%	0.0%	17.4%	15.3%	8.8%	84.5%	16.6%	8.4%	10.5%	16.5%	8.8%	3.9%

Fica claro que em nenhuma das situações avaliadas no Píer Sul as cargas excederam os limites de projeto, alcançando o valor máximo de 84,5% da carga de projeto no dólfin 3 (Tabela 14) para o caso de 2 VLCCs carregados no PP1 simultaneamente a 2 Suezmax no PP2.

## 4.2. Píer Norte

As cargas no Píer Norte mostraram-se mais elevadas que aquelas no Píer Sul. A Tabela 15 apresenta as cargas longitudinais para 44 combinações de navios atracados e a Tabela 16 apresenta as cargas transversais. Como discutido em RT1, embora as embarcações possuam porte inferior, a disposição dos pontos de amarração não permite arranjos adequados, levando a elevadas trações nos cabos e conseqüentemente cargas nas estruturas. Somam-se a esse fato as características da estrutura que, além de mais antiga, não foi dimensionada para esforços tão grandes quantos os do Píer Sul.

Destaca-se a plataforma de acostagem A que conta hoje com 2 gatos e 2 cabeços e que não foi dimensionada para grandes cargas longitudinais. Na Figura 8 fica evidente que para os arranjos avaliados os esforços longitudinais nesta plataforma são elevados.

Tabela 15 Esforços longitudinais nas estruturas do Pier Norte para todos os casos estudados

Cargas Longitudinais (Fx) em tf							
4	3	B	C	A	2	1	Arquivos
80.79	30.7	95.42	0.07	57.53	3.77	62.5	suez_lastro_suez_carregado_PP3
116.1	46.1	41.18	0.04	96.74	7.29	29.6	suez_carregado_suez_lastro_PP3
71.23	34.5	36.98	0.03	39.66	3.94	23.8	suez_vazio_PP3
81.86	44.5	38.9	0.03	63.77	3.35	58.3	suez_carregado_PP3
85.68	18.4	0.072	0.04	98.38	0	46.5	afra_lastro_afra_carregado_PP3
103	23.5	0.089	0.05	155.6	0	64.5	afra_carregado_afra_lastro_PP3
61.55	7.09	0.063	0.03	75.69	0	53.8	afra_vazio_PP3
68.89	10.2	0.064	0.03	79.74	0	51.7	afra_carregado_PP3
0	3.57	25.02	29.4	95.03	50.3	0	pana_lastro_pana_carregado_PP4
0	3.44	26.1	32.4	98.09	54.2	0	pana_carregado_pana_lastro_PP4
0	4.43	25.34	27.8	89.51	43	0	pana_vazio_PP4
0	4.43	25.35	29.8	99.69	48.6	0	pana_carregado_PP4
80.79	29.5	114.6	29.4	136	51.6	62.5	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
80.79	29.4	114	32.4	136.2	55.4	62.5	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
80.79	28.5	115.2	27.8	122.5	44.1	62.5	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
80.79	29.5	114.1	29.8	139.8	49.8	62.5	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
116.1	45.2	64.79	29.5	165.8	51.5	29.6	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
116.1	45	66.25	32.4	164.2	57.5	29.6	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
116.1	44.2	65.02	27.9	155.5	44.1	29.6	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_vazio_PP4
116.1	44.5	65.93	29.8	157.3	49.8	29.6	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_carregado_PP4
71.23	33.6	55.55	29.5	122.4	51.4	23.8	suez_vazio_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
71.23	33.4	54.98	32.4	124.4	55.3	23.8	suez_vazio_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
71.23	32.6	56.15	27.9	116.4	44.1	23.8	suez_vazio_PP3    pana_vazio_PP4
71.23	32.8	55.11	29.8	126.7	49.7	23.8	suez_vazio_PP3    pana_carregado_PP4
81.86	43.6	58.06	29.5	132.2	51.1	58.3	suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
81.86	43.4	57.49	32.4	129.4	54.9	58.3	suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
81.86	42.6	58.66	27.9	120.7	43.7	58.3	suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
81.86	42.8	57.62	29.8	125.5	49.3	58.3	suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
85.68	19.4	25.09	29.5	167	50.3	46.5	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
85.68	19.6	26.17	32.4	164.9	54.2	46.5	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
85.68	20.4	25.41	27.9	156.7	43	46.5	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
85.68	20.2	25.42	29.8	158.6	48.6	46.5	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
103	24.5	25.08	29.5	224.7	50.3	64.5	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
103	24.7	26.16	32.4	222.6	54.2	64.5	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
103	25.5	25.4	27.9	214.4	43	64.5	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_vazio_PP4
103	25.2	25.41	29.8	216.2	48.6	64.5	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_carregado_PP4
61.55	7.72	25.06	29.5	144.1	50.3	53.8	afra_vazio_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
61.55	7.91	26.14	32.4	142.3	54.2	53.8	afra_vazio_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
61.55	8.73	25.38	27.9	134.3	43	53.8	afra_vazio_PP3    pana_vazio_PP4
61.55	8.47	25.38	29.8	145.1	48.6	53.8	afra_vazio_PP3    pana_carregado_PP4
68.89	11.2	25.06	29.5	148.1	50.3	51.7	afra_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
68.89	11.4	26.14	32.4	146.1	54.2	51.7	afra_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
68.89	12.2	25.38	27.9	138.2	43	51.7	afra_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
68.89	12	25.38	29.8	148.5	48.6	51.7	afra_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
116.1	46.1	73.17	0.06	141.2	3.56	40.6	suez_carregado_suez_carregado_PP3
116.1	45.8	97.25	29.5	214.4	50.6	40.6	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
116.1	46.1	98.71	32.4	223.2	54.5	40.6	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
116.1	44.7	97.47	27.9	206.4	43.2	40.6	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
116.1	45	98.39	29.8	207.4	48.9	40.6	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
81.86	66.1	60.84	25.9	86.13	27.4	58.3	suez_carregado    handy_carregado_PSV_PP4

Tabela 16 Esforços transversais nas estruturas do Pier Norte para todos os casos estudados

Cargas Transversais (Fy) em tf							
4	3	B	C	A	2	1	Arquivos
59.83	87.32	-40.02	-71.41	-85.72	50.29	48.33	suez_lastro_suez_carregado_PP3
85.96	131.15	-66.75	-36.07	-60.30	98.01	22.91	suez_carregado_suez_lastro_PP3
52.75	98.08	-21.66	-29.35	-33.16	52.22	18.39	suez_vazio_PP3
60.62	126.53	-21.27	-32.30	-40.82	44.28	45.12	suez_carregado_PP3
43.80	89.88	-36.91	-39.33	60.90	0.00	12.79	afra_lastro_afra_carregado_PP3
52.64	118.18	-45.53	-48.25	96.65	0.00	17.72	afra_carregado_afra_lastro_PP3
31.46	93.93	-32.43	-31.29	48.82	0.00	14.79	afra_vazio_PP3
35.22	109.23	-32.71	-32.05	50.55	0.00	14.21	afra_carregado_PP3
0.00	-28.84	40.70	14.76	-58.84	-21.42	0.00	pana_lastro_pana_carregado_PP4
0.00	-27.82	45.75	19.77	-60.44	-23.04	0.00	pana_carregado_pana_lastro_PP4
0.00	-35.82	33.73	22.74	-54.51	-18.29	0.00	pana_vazio_PP4
0.00	-35.83	38.50	23.79	-61.12	-20.68	0.00	pana_carregado_PP4
59.83	77.67	51.55	-75.18	-130.28	36.56	48.33	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
59.83	76.46	56.60	-75.61	-136.40	38.42	48.33	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
59.83	69.22	44.58	-74.77	-123.69	42.43	48.33	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
59.83	77.35	49.36	-74.82	-123.76	36.99	48.33	suez_lastro_suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
85.96	123.63	40.70	-36.39	-100.34	85.61	22.91	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
85.96	122.10	45.75	-36.57	-100.92	88.39	22.91	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
85.96	115.44	-41.64	-36.20	-92.95	89.76	22.91	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_vazio_PP4
85.96	117.54	38.50	-36.48	-99.55	89.24	22.91	suez_carregado_suez_lastro_PP3    pana_carregado_PP4
52.75	90.55	50.39	-32.90	-91.84	39.83	18.39	suez_vazio_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
52.75	89.03	55.44	-33.11	-93.60	42.60	18.39	suez_vazio_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
52.75	82.37	43.42	-32.72	-87.67	43.98	18.39	suez_vazio_PP3    pana_vazio_PP4
52.75	84.47	48.19	-33.00	-94.27	43.45	18.39	suez_vazio_PP3    pana_carregado_PP4
60.62	119.00	48.99	-35.86	-99.50	34.05	45.12	suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
60.62	117.48	54.03	-36.08	-101.26	34.19	45.12	suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
60.62	110.82	42.02	-35.70	-95.33	35.66	45.12	suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
60.62	112.92	46.79	-35.97	-101.93	35.17	45.12	suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
43.80	82.36	-52.56	-41.23	-85.92	-21.42	12.79	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
43.80	80.83	-53.51	-41.50	-90.83	-23.04	12.79	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
43.80	74.17	-52.71	-41.09	-80.26	-18.29	12.79	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
43.80	76.27	-53.30	-41.36	-88.33	-20.68	12.79	afra_lastro_afra_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
52.64	110.65	-48.76	-39.90	-68.07	-21.42	17.72	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
52.64	109.13	-48.01	-40.08	-69.83	-23.04	17.72	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
52.64	102.47	-48.97	-39.71	72.29	-18.29	17.72	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_vazio_PP4
52.64	104.57	-48.90	-39.99	-70.50	-20.68	17.72	afra_carregado_afra_lastro_PP3    pana_carregado_PP4
31.46	86.40	40.70	-32.13	-67.05	-21.42	14.79	afra_vazio_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
31.46	84.88	45.75	-32.36	-68.81	-23.04	14.79	afra_vazio_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
31.46	78.22	-38.87	-31.97	-62.88	-18.29	14.79	afra_vazio_PP3    pana_vazio_PP4
31.46	80.31	-38.81	-32.25	-69.48	-20.68	14.79	afra_vazio_PP3    pana_carregado_PP4
35.22	101.71	40.70	-34.82	-72.35	-21.42	14.21	afra_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
35.22	100.18	45.75	-35.05	-74.11	-23.04	14.21	afra_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
35.22	93.52	-36.29	-34.66	-68.18	-18.29	14.21	afra_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
35.22	95.62	38.50	-34.94	-74.78	-20.68	14.21	afra_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
85.96	131.15	-24.41	-58.82	-93.40	47.22	31.39	suez_carregado_suez_carregado_PP3
85.96	128.10	40.70	-62.72	-152.08	39.84	31.39	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_lastro_pana_carregado_PP4
85.96	131.15	45.75	-63.12	-153.85	39.97	31.39	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_carregado_pana_lastro_PP4
85.96	119.32	33.73	-62.53	-147.92	39.33	31.39	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_vazio_PP4
85.96	122.08	38.50	-62.78	-154.52	39.06	31.39	suez_carregado_suez_carregado_PP3    pana_carregado_PP4
60.6	145	53.19	36.61	72.444	56.8	45.1	suez_carregado    handy_carregado_PSV_PP4

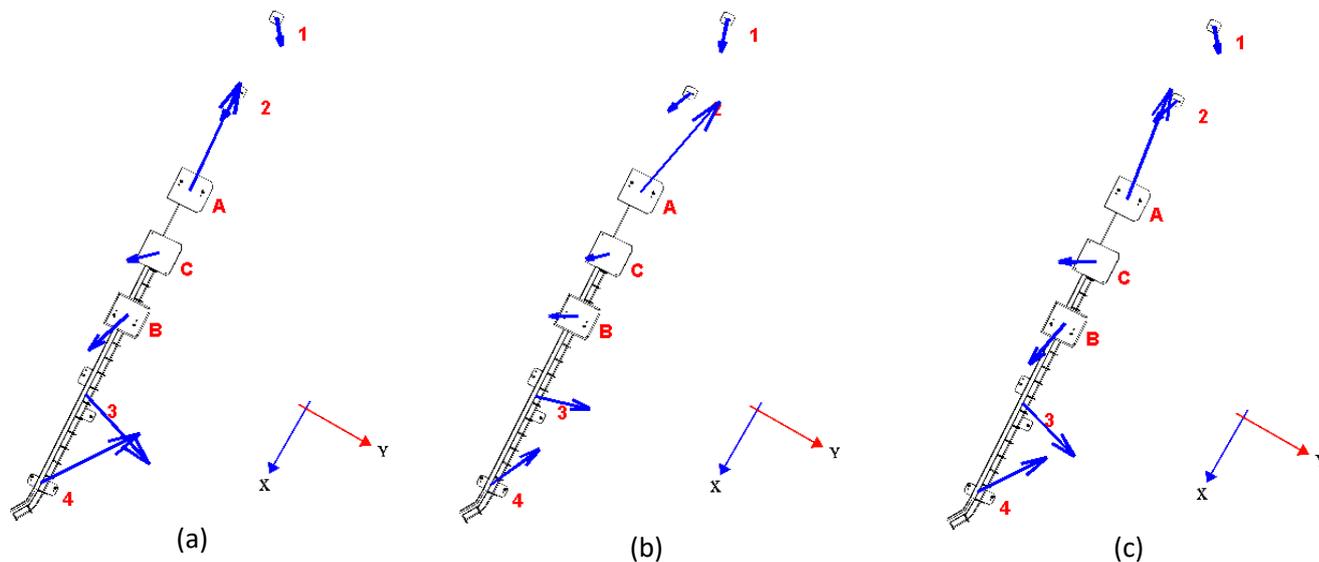


Figura 8 Exemplo gráfico de casos que produziram elevadas cargas longitudinais no Píer Norte. (a) 2 Suezmax atracados ao PP3 e 1 Panamax atracado ao PP4; (b) 2 Aframax no PP3 e 2 Panamax no PP4; (c) 2 Suezmax carregados no PP3 e 2 Panamax no PP4

O resumo das cargas de projeto são apresentadas na Tabela 17. Neste caso as cargas são descritas em termos de componentes longitudinal e transversal e para cada uma das estruturas dos berços. As identificações das estruturas empregadas nas tabelas a seguir correspondem àquelas da Figura 5.

Tabela 17 Resumo das cargas de projeto no Píer Norte

Cargas de projeto	4	3	B	C	A	2	1
$F_x$ (tf)	100	100	140	125	140	175	175
$F_y$ (tf)	300	300	400	400	400	125	125

A seguir são resumidos os resultados referentes ao Berço Norte, já comparados às cargas de projeto.

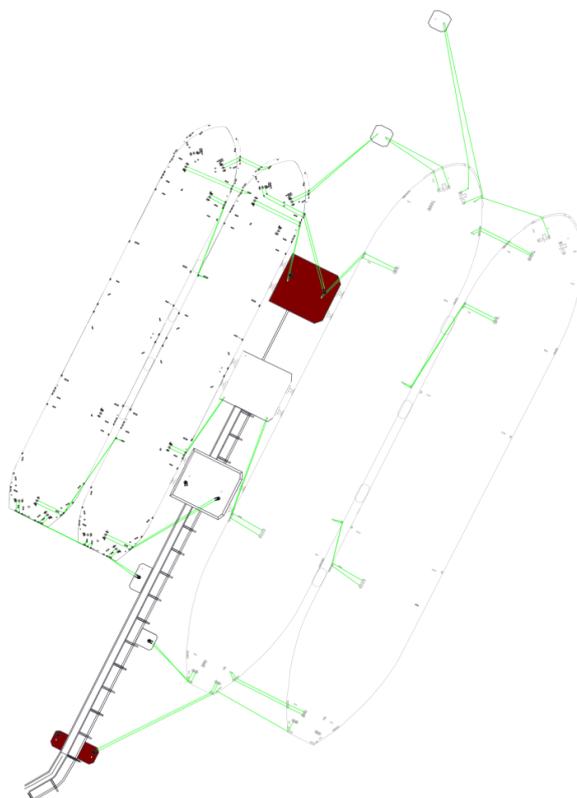
Tabela 18 Resumo dos esforços longitudinais nas estruturas do Píer Norte

ESFORÇOS LONGITUDINAIS NAS ESTRUTURAS (Fx)	4	3	B	C	A	2	1
1 Suezmax no PP3	81.9%	44.5%	27.8%	0.0%	45.6%	1.9%	33.3%
2 Suezmax no PP3	116.1%	46.1%	29.4%	0.0%	69.1%	4.2%	16.9%
2 Suezmax Carregados no PP3	116.1%	46.1%	52.3%	0.0%	100.8%	2.0%	23.2%
1 Aframax no PP3	68.9%	10.2%	0.0%	0.0%	57.0%	0.0%	29.5%
2 Aframax no PP3	103.0%	23.5%	0.1%	0.0%	111.2%	0.0%	36.8%
1 Panamax no PP4	0.0%	4.4%	18.1%	23.8%	71.2%	27.8%	0.0%
2 Panamax no PP4	0.0%	3.4%	18.6%	25.9%	70.1%	30.9%	0.0%
1 Suezmax no PP3 e 1 Panamax no PP4	81.9%	42.8%	41.2%	23.8%	89.7%	28.2%	33.3%
2 Suezmax no PP3 e 1 Panamax no PP4	116.1%	44.5%	47.1%	23.8%	112.4%	28.4%	16.9%
2 Suezmax no PP3 e 2 Panamax no PP4	116.1%	45.2%	46.3%	23.6%	118.4%	29.4%	16.9%
1 Suezmax no PP3 e 2 Panamax no PP4	81.9%	43.6%	41.5%	23.6%	94.4%	29.2%	33.3%
2 Suezmax Carregados no PP3 e 1 Panamax no PP4	116.1%	45.0%	70.3%	23.9%	148.1%	27.9%	23.2%
2 Suezmax Carregados no PP3 e 2 Panamax no PP4	116.1%	46.1%	70.5%	25.9%	159.4%	31.1%	23.2%
1 Aframax no PP3 e 1 Panamax no PP4	68.9%	12.0%	18.1%	23.8%	106.0%	27.8%	29.5%
2 Aframax no PP3 e 1 Panamax no PP4	103.0%	25.2%	18.1%	23.8%	154.5%	27.8%	36.8%
2 Aframax no PP3 e 2 Panamax no PP4	103.0%	24.5%	17.9%	23.6%	160.5%	28.8%	36.8%
1 Aframax no PP3 e 2 Panamax no PP4	68.9%	11.2%	17.9%	23.6%	105.8%	28.8%	29.5%
1 Suezmax no PP3 Handysize + PSV no PP4	81.9%	66.1%	43.5%	20.7%	61.5%	15.7%	33.3%

Tabela 19 Resumo dos esforços transversais nas estruturas do Píer Norte

ESFORÇOS TRANSVERSAIS NAS ESTRUTURAS (Fy)	4	3	B	C	A	2	1
1 Suezmax no PP3	14.6%	30.0%	9.2%	9.8%	15.2%	0.0%	10.2%
2 Suezmax no PP3	17.6%	32.7%	5.4%	7.3%	8.3%	41.8%	14.7%
2 Suezmax Carregados no PP3	28.7%	42.7%	10.2%	15.7%	38.0%	31.9%	25.1%
1 Aframax no PP3	0.0%	9.6%	10.2%	3.7%	14.7%	17.1%	0.0%
2 Aframax no PP3	10.5%	31.3%	8.1%	7.8%	12.2%	0.0%	11.8%
1 Panamax no PP4	19.9%	25.9%	12.9%	18.8%	32.6%	29.2%	38.7%
2 Panamax no PP4	0.0%	11.9%	8.4%	5.7%	13.6%	14.6%	0.0%
1 Suezmax no PP3 e 1 Panamax no PP4	14.6%	27.5%	13.1%	10.3%	21.5%	17.1%	10.2%
2 Suezmax no PP3 e 1 Panamax no PP4	17.6%	30.2%	12.6%	8.2%	23.0%	31.9%	14.7%
2 Suezmax no PP3 e 2 Panamax no PP4	28.7%	40.7%	11.4%	9.1%	25.2%	70.7%	18.3%
1 Suezmax no PP3 e 2 Panamax no PP4	20.2%	39.2%	13.5%	9.0%	25.3%	27.4%	36.1%
2 Suezmax Carregados no PP3 e 1 Panamax no PP4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 Suezmax Carregados no PP3 e 2 Panamax no PP4	28.7%	39.8%	8.4%	15.6%	37.0%	31.5%	25.1%
1 Aframax no PP3 e 1 Panamax no PP4	28.7%	43.7%	6.1%	14.7%	23.4%	37.8%	25.1%
2 Aframax no PP3 e 1 Panamax no PP4	10.5%	28.8%	10.2%	8.0%	16.8%	17.1%	11.8%
2 Aframax no PP3 e 2 Panamax no PP4	17.5%	36.4%	12.0%	10.0%	17.5%	18.4%	14.2%
1 Aframax no PP3 e 2 Panamax no PP4	11.7%	33.4%	11.4%	8.8%	18.5%	18.4%	11.4%
1 Suezmax no PP3 Handysize + PSV no PP4	20.2%	48.3%	13.3%	9.2%	18.1%	45.4%	36.1%

Como mencionado no tópico 4, o principal problema da atracação no Píer Norte está associado aos esforços longitudinais (Tabela 18). Em diversas situações as cargas excederam os limites de projeto, em particular para o dólfim 4 e para a plataforma de acostagem A. A Figura 9 identifica as estruturas críticas.



**Figura 9 Estruturas sujeitas a falhas no Píer Norte**

Estas falhas concentram-se em todas as operações STS realizadas no PP3 envolvendo embarcações do porte Suezmax e Aframax a contrabordo.

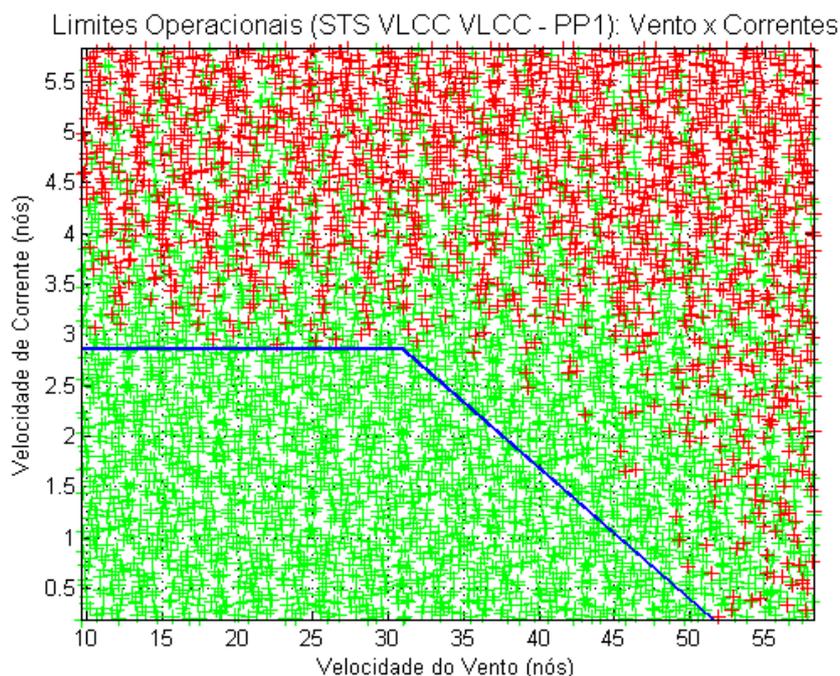
Para o caso adicional (última linha da tabela) de apenas um navio Suezmax atracado no PP3 e um PSV a contrabordo de um Handymax no PP4, verificou-se que as cargas nas estruturas portuárias não excederam em nenhuma condição os limites de dimensionamento da estrutura, mesmo considerando-se dólfin 4 e a plataforma de acostagem A.

## 5. Limites Operacionais para operações no PP1 e PP4

Assim como no relatório RT1, foram estabelecidos limites operacionais para as operações no PP1 levando-se em consideração critérios estruturais. Neste caso, foram adotados como limites as capacidades dos ganchos dos gatos de desengate rápido dispostos ao longo do PP1. Esta hipótese incorpora os critérios apresentados nos tópicos anteriores uma vez que se assumem as estruturas dos dólfins e plataformas de acostagem adequadamente capazes de comportarem o sistema de gatos e defensas conectadas a elas.

Os gatos de desengate rápido são dimensionados para suportarem cargas equivalentes ou superiores ao MBL dos cabos conectados e eles. Sendo assim, pode-se dizer que o SWL (*Safe Working Load*) do sistema de gatos e cabeços deve ser equivalente ao limite dos cabos que, por sua vez, possuem SWL na ordem de 50% da sua capacidade. Por tanto, como regra geral, o critério adotado para os cabos tende a ser mais restritivo que o adotado a partir do sistema de gatos em terra. Entretanto, a resistência dos cabos vem crescendo com o passar do tempo, de modo que em alguns casos o “fusível” do sistema pode passar a ser o gancho do gato de desengate rápido.

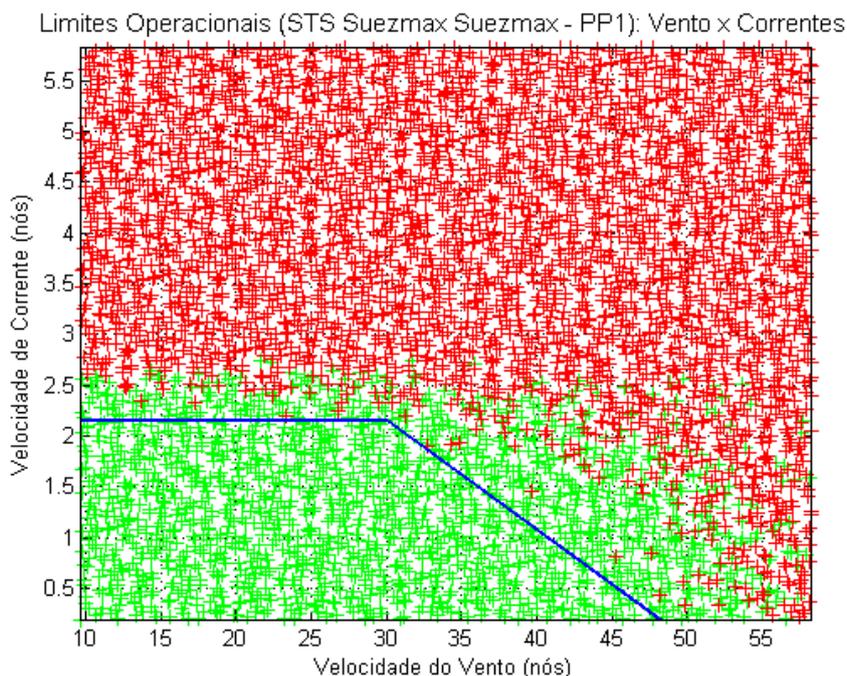
No caso da atracação STS entre VLCCs este fato ocorre no caso do gato dos springs de popa, que possui capacidade de 50tf por unha. Nesse caso as o SWL dos cabos é superior ao SWL das unhas e, por isso, o critério deve estar atrelado ao gato. Incluindo esta restrição nas análises foi construído o gráfico apresentado na Figura 10.



**Figura 10** Limites operacionais para STS entre VLCCs no PP1 incluindo a restrição de capacidade dos gatos de desengate rápidos situado na plataforma de acostagem 9 (Figura 4)

Se comparado aos limites apresentados no RT1, onde apenas os critérios de falhas nos cabos foram avaliados, não foi observada modificação nos limites operacionais. Isto se deve ao fato de que os springs possuem baixos níveis de solicitação (cerca de 20% do MBL, verificar gráficos do tópico 5.2 do RT1).

Repetindo-se o processo para a atracção entre Suezmax no PP1, produziu-se o gráfico da Figura 11.



**Figura 11 Limites operacionais para STS entre dois Suezmax no PP1 incluindo a restrição de capacidade dos gatos de desengate rápidos situado na plataforma de acostagem 9 (Figura 4)**

Como era esperado, no caso do STS entre Suezmax não houve modificação nos limites operacionais, pois os limites adotados para os cabos são mais restritivos (55% do MBL dos cabos é menor que 50tf correspondente ao SWL dos ganchos na plataforma de acostagem 9). Como mencionado no RT1, constatou-se que a atracção de 2 navios de porte Suezmax no PP2 ocasiona menores níveis de esforços que no PP1, assim, os limites adotados ao PP1 podem ser adotados ao PP2 com segurança.

Com relação às operações no PP4 entre Handysize e PSV, não foram recalculados os limites operacionais, pois os cabos adotados possuem MBL entre 50% e 200% inferior às capacidades dos gatos de desengate rápido. Sendo assim o critério dos cabos é muito mais restritivo que o dos equipamentos ou estruturas do píer. Destaca-se que essa conclusão restringe-se à atracção STS entre Handysize e PSV no PP4, não anulando as sobrecargas observadas no tópico anterior para as demais atracções no berço norte.

## 6. Recomendações para a inspeção estrutural de obras de acostagem

### 6.1. Recomendações norte-americanas (US Navy)

As definições de padrões de níveis na tarefa de exame de elementos individuais inspecionados, incluindo os acessórios de amarração (ganchos de desengate rápido, cabeços e cabrestantes), atracação (defensas e suas fixações) e as estruturas de interligação e acesso (passadiços metálicos de ligação, guarda-corpos, escadas e aparelhos de apoio), frequentemente são uma combinação de pelo menos dois dos seguintes níveis, que foram propostos pela US Navy:

- **Nível I:** Com a finalidade de uma visualização em um exame geral através de inspeção visual e/ou tátil para confirmar as condições de as-built e detectar dano severo.

Os defeitos detectáveis no aço e estruturas metálicas são a corrosão generalizada e/ou severos danos mecânicos, enquanto no concreto armado são maiores carbonatações e fraturamentos, severas corrosões na armadura e estacas rompidas.

- **Nível II:** Realizada num exame detalhado para detectar defeitos superficiais normalmente obscurecidos pelo crescimento de organismos marinhos. Frequentemente requerem a limpeza dos elementos estruturais em áreas restritas críticas, ou que sejam representativas de toda a estrutura, por meio de quantificações e medidas detalhadas.

Os defeitos detectáveis no aço e estruturas metálicas são moderados danos mecânicos e maiores corrosões alveolares, enquanto no concreto armado são a carbonatação e fraturamentos superficiais, oxidação na armadura e exposição de armadura e/ou cabos de pré-tensão.

- **Nível III:** Visa detectar com exames muito detalhados danos ocultos interiores, ou para coletar informações mais detalhadas. Frequentemente requer a limpeza prévia dos elementos estruturais e o uso de técnicas de testes não destrutivos, mas pode também requerer o uso parcial de técnicas de testes destrutivos em amostras do material.

Os defeitos detectáveis no aço e estruturas metálicas são na espessura do material, enquanto no concreto armado são a localização da armadura, início de corrosão do aço da armadura, vazios internos e mudança na resistência do material.

Os defeitos detectáveis, entendidos como quaisquer anomalias na forma, ou na estrutura interna de um elemento inspecionado e/ou materiais que afetam de forma adversa sua capacidade funcional ou vida útil, na estrutura do TEBAR dizem respeito ao comportamento do aço e outras partes metálicas e do concreto das estruturas. Para as partes constantemente submersas das estacas metálicas a recomendação de projeto foi de contar com a proteção integral contra o ataque corrosivo, causado pela água do mar, por intermédio de um sistema de proteção catódica com corrente impressa. A eficiência desta proteção deve ser mandatoriamente mantida, tendo em vista a preservação da integridade das estacas do Píer Sul.

Em termos de tipos e frequências das inspeções, as recomendações americanas estabelecem quatro tipos:

- **Inspeção de Rotina:** não mais do que uma vez a cada três anos, podendo-se estender para cinco anos, em ambientes considerados de menor agressividade.

Tem a finalidade de avaliar as condições gerais da estrutura, atribuindo uma condição de hierarquização e recomendando ações para futuras medidas de manutenção. Tipicamente devem ser inspecionados em Nível I todos os elementos emersos e submersos, 10% dos elementos em Nível II e 5% dos elementos em Nível III.

- **Inspeção de Avaliação Expedita:** a seguir de um evento com significativo potencial causador de dano. São investigações de curta duração normalmente por emergência.

Tem a finalidade de realizar uma rápida visualização, por avaliação emersa e/ou submersa de uma estrutura, tipicamente após uma tempestade, impacto de embarcação, acomodações do terreno, incêndio, ou eventos similares, tendo por objetivo determinar a integridade da estrutura e se a mesma demandará uma atenção mais específica. Tipicamente trata-se de inspeção de Nível I para todos os elementos emersos apropriados.

- **Investigação de Engenharia:** excepcionalmente, quando julgado necessário como resultado de uma das outras três modalidades de inspeção, ou para determinar a adequação para um uso diferente.

Tem a finalidade de realizar testes detalhados, ou a investigação de uma estrutura, de modo a entender a natureza e/ou a extensão da deterioração, e/ou avaliar a capacidade da estrutura para uma específica condição de carregamento. Tipicamente são inspeções de Nível II ou III nos elementos apropriados.

- **Inspeção para o Projeto do Reparo:** quando tenha sido tomada a decisão de proceder a reparos na estrutura.

Com a finalidade de documentar as características relevantes de cada defeito a ser reparado, de modo que possam ser gerados documentos. Tipicamente são inspeções de Nível II para todos os elementos emersos e imersos.

## 6.2. Recomendações alemãs (DIN)

Segundo a recomendação europeia de estruturas de acostagem, a frequência de inspeções depende da idade da estrutura, suas condições gerais, os materiais de construção usados, as condições de subsolo, as influências ambientais e os requisitos operacionais e de cargas estruturais. Como uma orientação geral, que pode ser ajustada em cada caso, se necessário, recomenda-se quanto segue da Norma DIN:

- **Avaliações:** as estruturas de acostagem e amarração principais dos píeres devem ser avaliadas em intervalos regulares, sempre levando em conta o conhecimento apreendido de avaliações anteriores. Estruturas secundárias não estão sujeitas a estas avaliações ou inspeções mandatórias, devendo ser verificadas como parte das inspeções de segurança de rotina, sendo facultativas as avaliações. As referidas avaliações compreendem:

- **Avaliações Principais:** sua periodicidade é de seis anos. Todos os elementos estruturais, emersos e imersos, devem ser avaliados a distância de toque, utilizando-se de todos os equipamentos que facilitem a visualização e o acesso (como andaimes, etc.) onde sejam requeridos. Elementos em compartimentos fechados devem ser abertos. Todos os elementos devem ser cuidadosamente limpos antes de serem avaliados, de modo a expor quaisquer danos ou defeitos escondidos. No relatório de avaliação os danos e defeitos devem ser identificados, recomendando aqueles que requerem avaliações adicionais nas subseqüentes avaliações secundárias, ou em intervalos mais curtos. Isto se aplica particularmente aos danos e defeitos cujo efeito individual ou cumulativo possa comprometer a estabilidade, segurança ou durabilidade da estrutura. Estas avaliações principais no concreto armado e no aço são similares às já comentados no item 4.1, recomendando-se que áreas que já tenham sido reparadas devem ser avaliadas com redobrada atenção, bem como o sistema de proteção catódica das estruturas metálicas.
- **Avaliações secundárias:** uma avaliação secundária da estrutura deve ser realizada três anos após a realização da avaliação principal. Estas avaliações devem levar em conta o conhecimento obtido na avaliação principal precedente, devendo investigar os danos e defeitos reportados. Se estas avaliações secundárias revelarem situações dúbias, ou evidências de maiores alterações ocorridas na estrutura, uma investigação mais minuciosa deverá ser promovida, a qual poderá ser parcialmente ou integralmente atender o escopo de uma avaliação maior.
- **Avaliações não periódicos:** devem ser efetuados após eventos mais severos que possam ter afetado as condições da estrutura, ou se as avaliações de inspeção geral e/ou de rotina de monitoramento assim recomendem esta ação. Não deve substituir uma avaliação principal, nem uma secundária.
- **Avaliações em conformidade com requisitos regulatórios:** determinados componentes de maquinaria ou de equipamentos elétricos, como os motores de cabrestantes, ou a proteção catódica, também devem ser inspecionados de acordo com as recomendações e padrões regulatórios. Deve-se verificar se todas as avaliações necessárias e o trabalho de manutenção tenha sido efetuado em tais componentes ao longo de sua operação e inspeção.
- **Inspeção geral:** todas as estruturas devem ser vistoriadas aproximadamente na mesma época a cada ano, observando-se explicitamente os danos e defeitos com os recursos disponíveis ordinariamente na operação a partir de locais acessíveis. Esta inspeção poderá ser omitida nos anos de realização de avaliações principais ou secundárias. A atenção nestas inspeções estará voltada aos danos e defeitos já mencionados anteriormente. Adicionalmente, as estruturas deverão ser inspecionadas após eventos excepcionais que possam produzir efeito deletério na estabilidade e segurança das estruturas, tipicamente após uma tempestade, impacto de embarcação, incêndio, acomodações do terreno, ou eventos similares.
- **Inspeção de rotina:** são observações do dia—a-dia de todas as estruturas de acostagem com respeito à sua segurança, como parte do monitoramento geral do terminal. Adicionalmente, todos os componentes estruturais devem ser vistoriados duas vezes ao ano, sem auxílios especiais, para evidenciar danos ou defeitos que possam produzir risco à segurança. Somente devem ser reportadas as ocorrências mais sérias.

### 6.3. Recomendações PIANC

APIANC considera inicialmente uma questão de opções de estratégias para a manutenção geral no ciclo de vida a ser gerenciado:

- **Estratégia de ruptura:** os levantamentos e reparos são normalmente limitados a danos localizados e diretamente observáveis.
- **Estratégia de inspeção:** são realizadas inspeções regulares da estrutura, de modo a identificar os danos em seu início e limitá-lo por manutenção ou reparo.
- **Estratégia de prevenção:** proteções preventivas regulares e/ou renovação da estrutura e acréscimos de utilidades que evitem futuro dano.

A PIANC recomenda que, na estratégia de inspeção, a inspeção de todas as estruturas portuárias sujeitas a degradação e danos seja realizada com base anual ou, em alguns casos, mais frequentemente. Preconiza três formas de inspeção:

- **Periódica:** realizada em intervalos regulares, de acordo com um programa pré-determinado e com o objetivo de observar e registrar a condição das estruturas portuárias e, também, detectar prematuramente o início de quaisquer alterações adversas que necessitem de alguma intervenção para restaurar a integridade. A inspeção de elementos típicos pode ser suficiente quando há repetição de estruturas. O intervalo mais frequente de inspeção é influenciado pela estratégia de manutenção adotada, mas o intervalo mais frequente para inspeções de estruturas em portos comerciais varia de 3 a 12 meses. Na prática, esta variabilidade ocorre dependendo do ambiente, tipo de material e significância das estruturas individualmente. As inspeções subaquáticas são usualmente realizadas uma vez a cada 3 a 5 anos. Estruturas existentes e não previamente submetidas a avaliações regulares devem ser examinadas detalhadamente, de modo a obter uma base de fundamentação para o estabelecimento do programa de inspeções.
- **Estendidas:** estas inspeções devem ser realizadas sempre que as inspeções periódicas indicarem a necessidade. Também se pressupõe a inclusão de todos os elementos estruturais. Nos anos iniciais de uma estrutura, estas inspeções podem ser mais espaçadas, mas à medida que a idade aumenta, ou uma inspeção anterior indicar a necessidade, a frequência deve ser aumentada.
- **Especiais:** são normalmente realizadas antes ou depois de trabalhos de reparo maiores e quando ocorrem eventos anormais, como sobrecargas, colisões de navios, tempestades, incêndios, vazamentos de produtos químicos tóxicos. São normalmente realizadas após a constatação de defeitos inesperados durante avaliação regular, de tal ordem que possa comprometer a segurança ou funcionalidade da estrutura, ou possa indicar a necessidade de medidas de remediação.

## 7. Conclusões

As cargas oriundas da atracação de navios a contrabordo foram comparadas com os valores usados para o dimensionamento estrutural do terminal.

Os resultados indicaram que para o Píer Sul, as cargas resultantes da amarração de 2 navios VLCC (PP1) e 2 navios Suezmax (PP2) simultâneos são compatíveis com as estruturas portuárias, alcançando 63,6% da carga de projeto para o dólphin 3.

Considerando o caso extra analisado (2 VLCCs carregados em contrabordo no PP1 simultâneos a 2 navios Suezmax no PP2), esta carga máxima é elevada para 84,5% da carga de projeto do dólphin 3.

Já para o Píer Norte, os resultados indicaram que em qualquer combinação que envolva 2 navios em STS no PP3, simultâneo ou não a operações no PP2, levará a cargas acima das de dimensionamento da Plataforma de Acostagem A e do dólphin 4.

## 8. Referências

Alfredini, P. e Arasaki, E. *Engenharia Portuária*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2014.

Christiani-Nielsen Engenheiros e Construtores S. A. *Terminal de São Sebastião - Diretrizes para cálculo de projeto definitivo*. O. N. 45905, 1961.

\_\_\_\_\_. *Ampliação do Terminal Marítimo Almirante Barroso - TEBAR São Sebastião - Estado de São Paulo - Lay-out preliminar*. O. N. 48205- PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. - PETROBRÁS, 1969.

\_\_\_\_\_. *Ampliação do Terminal Marítimo Almirante Barroso - TEBAR São Sebastião - Estado de São Paulo - Construção Civil - Memória Justificativa e Descritiva*. O. N. 48326- PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. - PETROBRÁS, 1972.

Deutsche Norm. *Highway structures- Testing and inspection*. DIN 1076, 1999.

\_\_\_\_\_. *Solid structures in hydraulic engineering - bearing capacity, serviceability and durability*. DIN 19702, 2013.

New York City Economic Development Corporation; prepared by Han-Padron Associates Consulting Engineers. *Waterfront facilities maintenance management system - Inspection Guidelines Manual*. New York, 1999.

PETROBRÁS TRANSPORTES S.A. - TRANSPETRO. *Informações Portuárias - Terminal São Sebastião*. 3.<sup>a</sup> Edição, 2006.

PIANC. *Life cycle management of port structures - General principles*. Report of Working Group 31 of the Permanent Commission Committee II, Brussels (Belgium), 1998.

\_\_\_\_\_. *Inspection, maintenance and repair of maritime structures exposed to damage and material degradation caused by a salt water environment*. Report of Working Group 17 Maritime Navigation Commission, Brussels (Belgium), 2004.

SHE - Society For Harbour Engineering And The German Society For Soil Mechanics And Foundation Engineering 2000. *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways EAU 1996*. Ernst & Sohn, 2000.

VALE. *Inspeção em estruturas metálicas e de concreto armadas instalações industriais*. Nº: PRO-003591 Rev.: 03-08/05/2014.