UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - ESCOLA POLITÉCNICA
Curso de Engenharia Civil
Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas

ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DE UM PÍER

GUILHERME GUERRA AMENDOLA

Projeto de Final de Curso apresentado ao corpo docente do Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado por:

_____
Augusto Claudio Paiva e Silva
Prof. Adjunto, M.Sc., EP/UFRJ

_____
Cláudia Ribeiro Éboli
Prof. Associado, D.Sc., EP/UFRJ

_____
Francisco José Costa Reis
Prof. Assistente, M.Sc., EP/UFRJ

MAIO/2010

Dobra

GUILHERME GUERRA AMENDOLA
ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DE UM PÍER

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE MECÂNICA APLICADA E ESTRUTURAS

PROJETO CONCEITUAL E ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DE UM PÍER

GUILHERME GUERRA AMENDOLA

UFRJ
2010

MAIO DE 2010

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus e a Santo Expedito por terem me dado força quando eu precisei e nunca terem deixado eu desistir dos meus objetivos. Sempre acreditei que conseguiria.

Agradeço a minha mãe Cleyde, mulher da minha vida, minha força e minha guia, sempre presente ao meu lado, seja incentivando ou criticando. Só consegui chegar aonde cheguei por ter ela como mãe.

Agradeço ao meu pai Sergio, meu melhor amigo, sempre o primeiro a estender a mão, se fosse preciso deixava de fazer as coisas dele para fazer as minhas. Me fez amadurecer para a vida mais rápido. Me sinto mais seguro ao seu lado.

Agradeço ao meu irmão Ricardo, minha inspiração, minha paixão, é por ele que eu luto, é por ele que eu me esforço e sempre tento evoluir. A vida fez com que eu me responsabilizasse mais por ele e amadurecesse por isso.

Agradeço a toda a minha família e aos amigos que sempre me deram força e incentivo para os desafios. Sem eles não teria chegado a lugar algum.

Agradeço ao meu amigo Daniel Taissum Cardoso, meu maior incentivador na profissão, meu primeiro amigo na UFRJ, o melhor engenheiro de estruturas da minha geração, exemplo de profissionalismo, sem ele não teria terminado essa peça que falta para a graduação.

Agradeço ao professor Augusto Cláudio, meu maior tutor na profissão. Hoje eu sou a semente que você plantou na TECTON. Exemplo de que alegria, profissionalismo e competência podem caminhar lado a lado.

Agradeço a minha orientadora Cláudia Éboli não só pela sua orientação acadêmica mas pela preocupação com a minha formação como ser humano. Sempre admirei muito a sua sinceridade e a forma direta de falar com as pessoas.

Agradeço ao professor Costa Reis, que de última hora me recebeu de braços abertos para avaliar este projeto final. O departamento de estruturas da UFRJ está muito bem representado com um professor do seu gabarito.

E para todos os outros que em algum momento não acreditaram:

“Verás que um filho teu não foge à luta...” (Hino Nacional)

RESUMO

O presente trabalho de fim de curso consiste na análise estrutural de um estaqueamento de um píer, abordando ainda aspectos peculiares de projetos de obras portuárias, como a consideração de cargas provenientes das atracações e amarrações de navios, equipamentos de manuseio de carga, normas portuárias nacionais e internacionais e as implicações da economia global e metodologia construtiva na escolha do sistema estrutural.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: PROCESSO DE EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DA BAUXITA. 2
FIGURA 1-2: VISÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO. LIGAÇÃO ENTRE AS JAZIDAS E O PORTO, FEITA POR RODOVIAS. 2
FIGURA 1-3: LOCALIZAÇÃO MUNDIAL ESTRATÉGICA DO PORTO DE BUBA. 3
FIGURA 1-4: LOCALIZAÇÃO DO RIO GRANDE DE BUBA. 3
FIGURA 1-5: LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO PORTO DE BUBA. 4
FIGURA 1-6: ARRANJO GERAL DO PORTO DE BUBA. 5
FIGURA 1-7: VISTA EM PERSPECTIVA DA PONTE DE ACESSO E DO PÍER. 5
FIGURA 2-1: ARRANJO GERAL COM OS NAVIOS DE PROJETO. 8
FIGURA 2-2: POSICIONAMENTO DO NAVIO 1. 9
FIGURA 2-3: POSICIONAMENTO DO NAVIO 2. 9
FIGURA 2-4: POSICIONAMENTO DO NAVIO 3. 10
FIGURA 2-5: POSICIONAMENTO DO NAVIO 4. 10
FIGURA 2-6: POSICIONAMENTO DO NAVIO 5. 11
FIGURA 2-7: POSICIONAMENTO DO NAVIO 6. 11
FIGURA 2-8: EXEMPLO DE OPERAÇÃO COM "*CATITRAVEL*". 12
FIGURA 3-1: TREM-TIPO DO CARREGADOR DE NAVIOS. 16
FIGURA 3-2: EXEMPLO DE CARREGADOR DE NAVIOS COM TORRE GIRATÓRIA (MRN – PORTO DE TROMBETAS). 17
FIGURA 4-1: ARRANJO GERAL DO PÍER E DA PONTE DE ACESSO (DIMENSÕES EM METROS). 19
FIGURA 4-2: ARRANJO GERAL DO PÍER (DIMENSÕES EM MILÍMETROS) 20
FIGURA 4-3: SEÇÃO TRANSVERSAL DO PÍER (CORTE A – DIMENSÕES EM MILÍMETROS). 21
FIGURA 4-4: SEÇÃO LONGITUDINAL DO PÍER (CORTE B – DIMENSÕES EM MILÍMETROS). 22
FIGURA 4-5: ARRANJO DAS VIGAS (DIMENSÕES EM MILÍMETROS) 24
FIGURA 4-6: LAJES PRÉ-MOLDADAS: A) POSICIONAMENTO DOS PRÉ-MOLDADOS; B) CONCRETAGEM DE UNIÃO DOS PRÉ-MOLDADOS; C) PRÉ-MOLDADO TÍPICO 26
FIGURA 4-7: SEÇÃO TRANSVERSAL DAS VIGAS DO PÍER (DIMENSÕES EM MILÍMETROS) 26
FIGURA 4-8: ARRANJO DO ESTAQUEAMENTO 27
FIGURA 5-1: PERSPECTIVA DO MODELO ESTRUTURAL 29
FIGURA 5-2: VISTA SUPERIOR DO VIGAMENTO DA SUPERESTRUTURA (ELEMENTOS DE BARRA) 30
FIGURA 5-3: PROPRIEDADES DO AÇO ESTRUTURA (USI SAC 300) 30
FIGURA 5-4: PROPRIEDADES DO CONCRETO (CONCRETO C40) 31
FIGURA 5-5: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS ESTACAS 31
FIGURA 5-6: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS TRANSVERSAIS PRINCIPAIS DE 2 ALMAS, LOCALIZADAS NOS EIXOS 1 A 28. 32
FIGURA 5-7: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS TRANSVERSAIS SECUNDÁRIAS. 32
FIGURA 5-8: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS LONGITUDINAIS PRINCIPAIS LOCALIZADAS NOS EIXOS W, X, Y, Z. 33
FIGURA 5-9: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA LAJE. 33
FIGURA 5-10: DETALHE DA APLICAÇÃO DA SOBRECARGA DISTRIBUÍDA COM AS REDUÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO DA CARGA DE TRABALHO DAS ESTACAS (kN/m^2). 35

FIGURA 5-11: DETALHE DA APLICAÇÃO DA SOBRECARGA DISTRIBUÍDA COM AS REDUÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO PÍER (kN/m2). 35
FIGURA 5-12: DETALHE DA APLICAÇÃO DA VARIAÇÃO TÉRMICA DE + 15 ºC (ºC) 36
FIGURA 5-13: DETALHE DA APLICAÇÃO DA VARIAÇÃO TÉRMICA DE - 15 ºC (ºC) 36
FIGURA 5-14: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE CONTENTORES DE 60.000 TPB. 39
FIGURA 5-15: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE GRANÉIS LÍQUIDOS DE 75.000 TPB. 39
FIGURA 5-16: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO GRANELEIRO DE 75.000 TPB. 40
FIGURA 5-17: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO INTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE CARGA GERAL DE 10.000 TPB. 41
FIGURA 5-18: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO EXTERNO NA EXTREMIDADE LESTE DO PÍER. 42
FIGURA 5-19: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO EXTERNO NO MEIO DO PÍER. 42
FIGURA 5-20: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO INTERNO NA EXTREMIDADE LESTE DO PÍER. 43
FIGURA 5-21: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, PERPENDICULAR A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER. 44
FIGURA 5-22: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, PARALELO A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER. 44
FIGURA 5-23: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO INTERNO, PERPENDICULAR A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER. 45
FIGURA 5-24: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO INTERNO, PARALELO A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER. 45
FIGURA 5-25: CARREGADOR DE NAVIOS NA EXTREMIDADE OESTE DO PÍER. ... 46
FIGURA 5-26: CARREGADOR DE NAVIOS NO MEIO DO PÍER (EXTREMIDADE LESTE DO TRILHO). 47
FIGURA 6-1: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA O CARREGAMENTO DE PESO PRÓPRIO. 48
FIGURA 6-2: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA A SOBRECARGA, COM AS REDUÇÕES PREVISTAS NA NBR 9782 [6] PARA A VERIFICAÇÃO DA CARGA DE TRABALHO NAS ESTACAS. 49
FIGURA 6-3: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA A SOBRECARGA, COM AS REDUÇÕES PREVISTAS NA NBR 9782 [6] PARA A VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS ESTACAS. 49
FIGURA 6-4: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A VARIAÇÃO DE +15ºC DA SUPERESTRUTURA. 50
FIGURA 6-5: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A VARIAÇÃO DE -15ºC DA SUPERESTRUTURA. 50
FIGURA 6-6: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 01. 51
FIGURA 6-7: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 02. 51

FIGURA 6-8: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 01. 52
FIGURA 6-9: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PERPENDICULAR NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 01. 52
FIGURA 6-3: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PARALELA NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 02. 53
FIGURA 6-11: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PERPENDICULAR NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 01. 53
FIGURA 6-12: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PARALELA NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 02. 54
FIGURA 6-13: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA O CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 01. 54
FIGURA 6-14: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA O CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 02. 55
FIGURA A-1: *CONE FENDERS* – CATÁLOGO TÉCNICO DA AMDO 64

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1: LEGENDA. 7
TABELA 2-2: CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS DE PROJETO. 8
TABELA 3-1: TIPOS DOS NAVIOS, CAPACIDADE DE CARGA E VELOCIDADE DE ATRACAÇÃO 17
TABELA 5-1: TABELA 5 DA NBR 9782 [6]. 43
TABELA 7-1: COMBINAÇÃO DAS AÇÕES PARA A ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO. 56
TABELA 9-1: ENVOLTÓRIA DOS ESFORÇOS CONCOMITANTES PARA AS COMBINAÇÕES NOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (COMPRESSÃO (+) / TRAÇÃO (-)) 58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 CONCEPÇÃO DO PROJETO 7
2.1 OPERAÇÃO PORTUÁRIA 7
2.2 CUSTO 7
2.3 DIMENSÕES E TIPOS DOS NAVIOS 8
2.4 METODOLOGIA CONSTRUTIVA 12
2.5 ESCOLHA DO MATERIAL 12
3 CRITÉRIOS DE PROJETO 13
3.1 INTRODUÇÃO 13
3.2 NORMAS TÉCNICAS 13
3.3 MATERIAIS 14
3.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS 14
3.4.1 Ventos 14
3.4.2 Temperatura 14
3.4.3 Variações do Nível d' Água 14
3.4.4 Correntes 14
3.4.5 Ondas 14
3.4.6 Terremotos 15
3.5 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS 15
3.6 CARGAS PERMANENTES 15
3.7 SOBRECARGAS VERTICAIS 15
3.8 CARGAS MÓVEIS 15
3.9 CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS 17
3.10 NÍVEIS DAS ESTRUTURAS MARÍTIMAS 17
4 MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTRUTURA DO PÍER 18
4.1 PÍER 18
4.2 SUPERESTRUTURA 23
4.3 ESTAQUEAMENTO 27
4.4 SISTEMA DE ATRACAÇÃO E AMARRAÇÃO DOS NAVIOS 28
4.5 UTILIDADES E COMPLEMENTOS 28
5 MODELO ESTRUTURAL 29
5.1 INTRODUÇÃO 29
5.2 GEOMETRIA 29
5.3 CARREGAMENTOS 34

5.3.1 PESO PRÓPRIO (DEAD) 34
5.3.2 SOBRECARGA CARACTERÍSTICA 34
5.3.3 TEMPERATURA (TEMP(+), TEMP(-)) 35
5.3.4 ATRACAÇÃO 36
5.3.5 AMARRAÇÃO 43
5.3.6 CARREGADOR DE NAVIOS (CARREG01, CARREG02) 46
6 ANÁLISE ESTRUTURAL 48
6.1 ANÁLISE DOS ESFORÇOS 48
6.1.1 PESO PRÓPRIO (DEAD) 48
6.1.2 SOBRECARGA (SC_EST) 49
6.1.3 SOBRECARGA (SC) 49
6.1.4 TEMPERATURA – VARIAÇÃO POSITIVA (TEMP(+)) 50
6.1.5 TEMPERATURA – VARIAÇÃO NEGATIVA (TEMP(-)) 50
6.1.6 ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (ATRACA_EXT01) 51
6.1.7 ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (ATRACA_EXT02) 51
6.1.8 ATRACAÇÃO INTERNANA POSIÇÃO 01 (ATRACA_INT01) 52
6.1.9 AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_EXT01) 52
6.1.10 AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_EXT02) 53
6.1.11 AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_INT01) 53
6.1.12 AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_INT02) 54
6.1.13 CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 01 (CARREG01) 54
6.1.14 CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 02 (CARREG02) 55
7 COMBINAÇÃO DOS ESFORÇOS 56
8 CARGA DE TRABALHO (VERIFICAÇÃO DA CARGA LIMITE EM SERVIÇO) 57
9 ENVOLTÓRIA DOS ESFORÇOS NOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS 58
10 VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS ESTACAS PELA NBR 8800 [5] 59
11 CONCLUSÃO 62
REFERÊNCIAS 63
ANEXO A – CATÁLOGO DAS DEFENFAS TIPO CONE FENDERS DA AMDO 64
ANEXO B – CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ENGASTAMENTO FICTÍCIO 65

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, os portos sempre foram utilizados como o meio principal para troca de mercadorias entre as regiões. E ainda hoje, no século XXI, as vantagens econômicas oferecidas pela construção e operação portuária continuam fazendo valer a máxima de que os portos são os portões de entrada e saída para um país ou uma cidade.

Os portos constituem, ainda, um instrumento essencial para o crescimento e desenvolvimento social e econômico das cidades. Dessa forma, o investimento na construção de terminais portuários é sempre visto com bons olhos pelos governantes, pela população local e atualmente pela iniciativa privada.

Com a globalização e a economia mundial integrada, as relações comerciais entre os países crescem cada dia mais. Esse fator tem contribuído de forma decisiva para a construção em massa de portos nos últimos anos, sobretudo em países da América do Sul, África e Ásia.

Na África, o continente que apresenta os menores índices de desenvolvimento humano, a construção de novos terminais portuários alavancará o crescimento dos países africanos e contribuirá positivamente para elevar a qualidade de vida das populações desses países.

Atualmente, uma das mais importantes obras portuárias em planejamento é a construção do Porto de Buba, localizado em Guiné Bissau, na costa oeste do continente africano. A construção do porto faz parte de uma série de investimentos em infra-estrutura da empresa angolana *Bauxite Angola Sociedade Mineira e Investimentos S.A.* na região, sob supervisão dos governos de Guiné Bissau e Angola. A mineradora, que obteve em 2008 a concessão para exploração das minas de bauxita na região de Boé, em Angola, tem como objetivo principal dessas obras facilitar o escoamento da produção de bauxita.

As figuras 1-1 e 1-2 ilustram o processo de extração e transporte da bauxita e a visão geral do empreendimento, respectivamente.

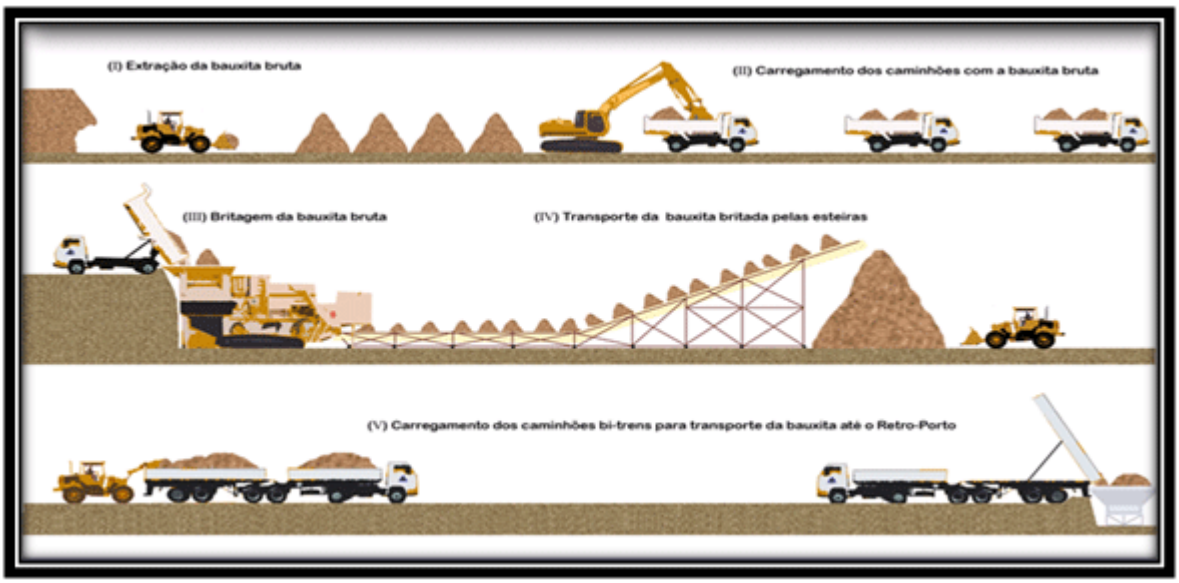


FIGURA 1-1: PROCESSO DE EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DA BAUXITA.

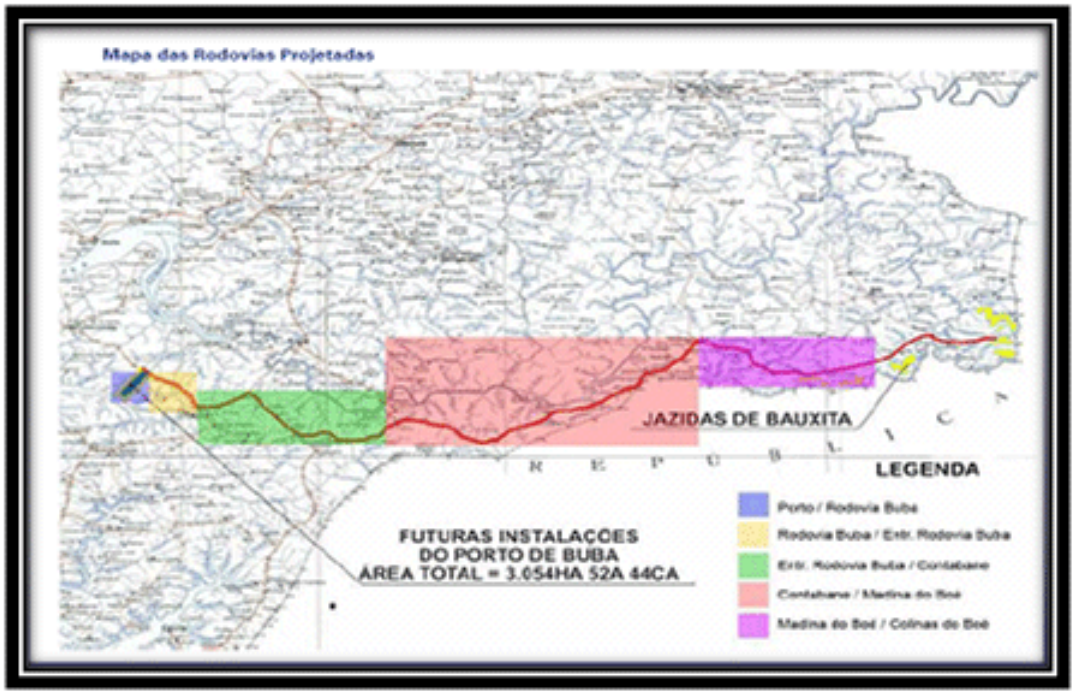


FIGURA 1-2: VISÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO. LIGAÇÃO ENTRE AS JAZIDAS E O PORTO, FEITA POR RODOVIAS.

As condições naturais de Buba, a sua posição geográfica estratégica para trocas comerciais com países limítrofes e com outros continentes e o calado natural do rio[1] que banha a cidade, o Rio Grande de Buba, justificam a escolha do local como ponto ideal para a construção do porto.

[1] Apesar da nomeação de rio, o Rio Grande de Buba corresponde a um braço de mar de grande extensão, o que causa a impressão para a população "ribeirinha" de tratar-se de um rio.

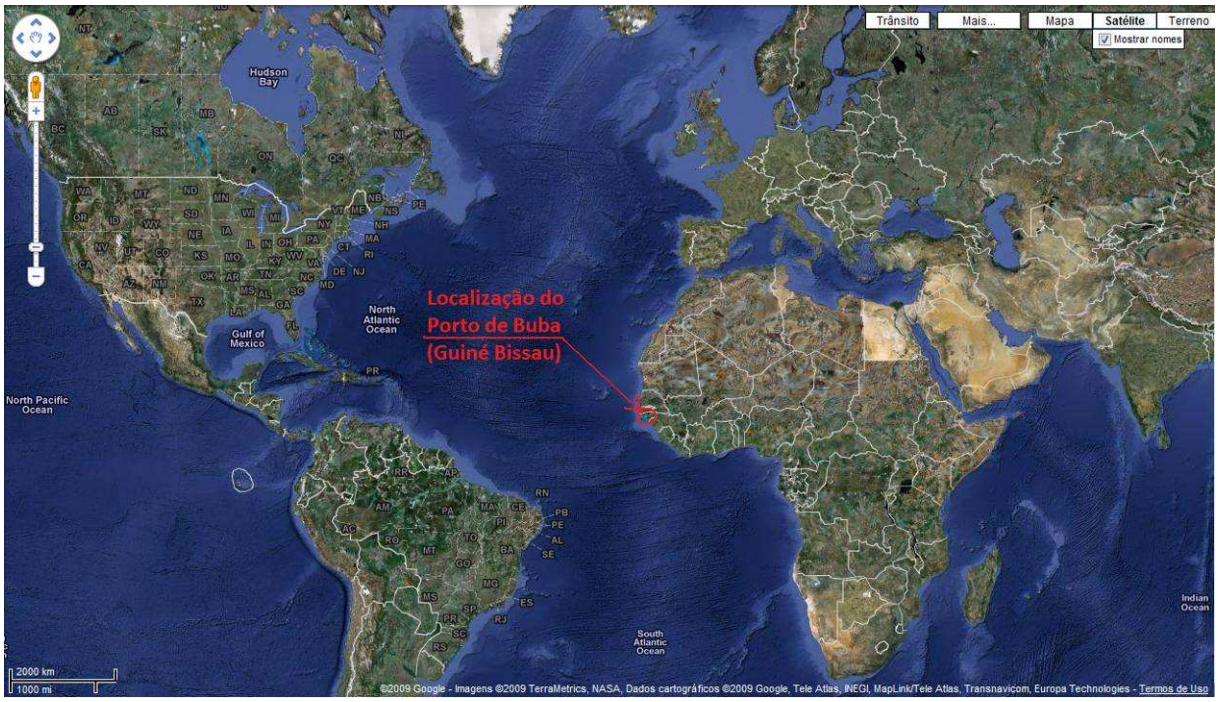


FIGURA 1-3: LOCALIZAÇÃO MUNDIAL ESTRATÉGICA DO PORTO DE BUBA.

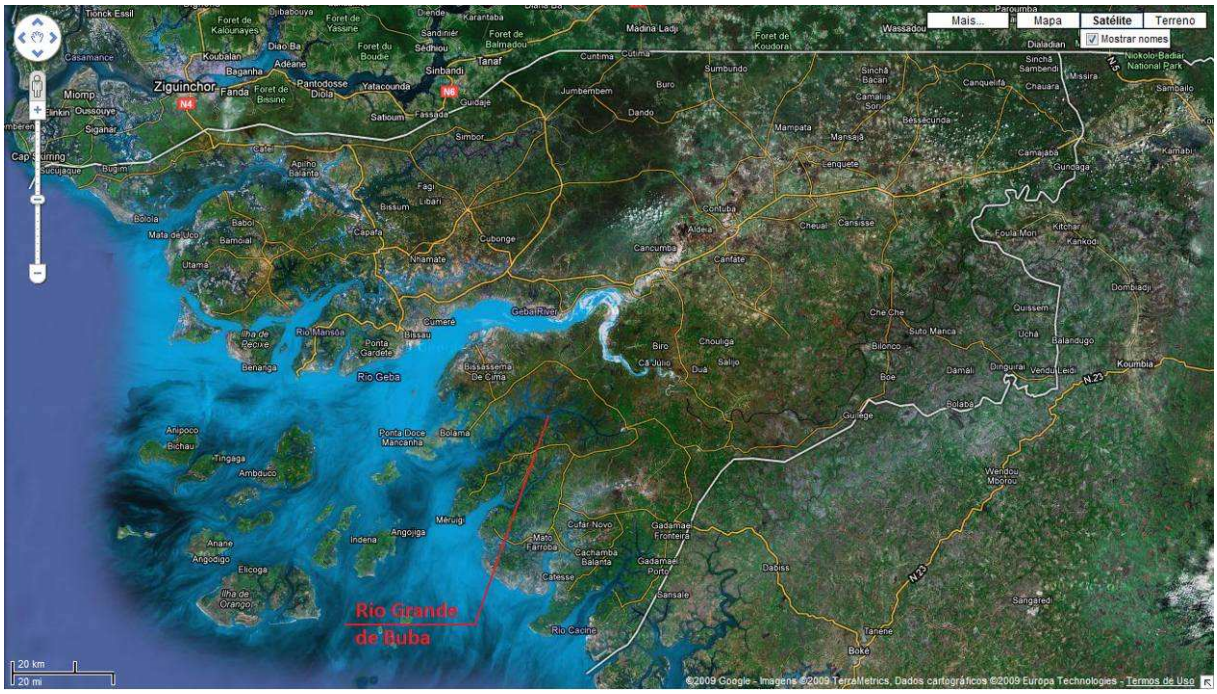


FIGURA 1-4: LOCALIZAÇÃO DO RIO GRANDE DE BUBA.

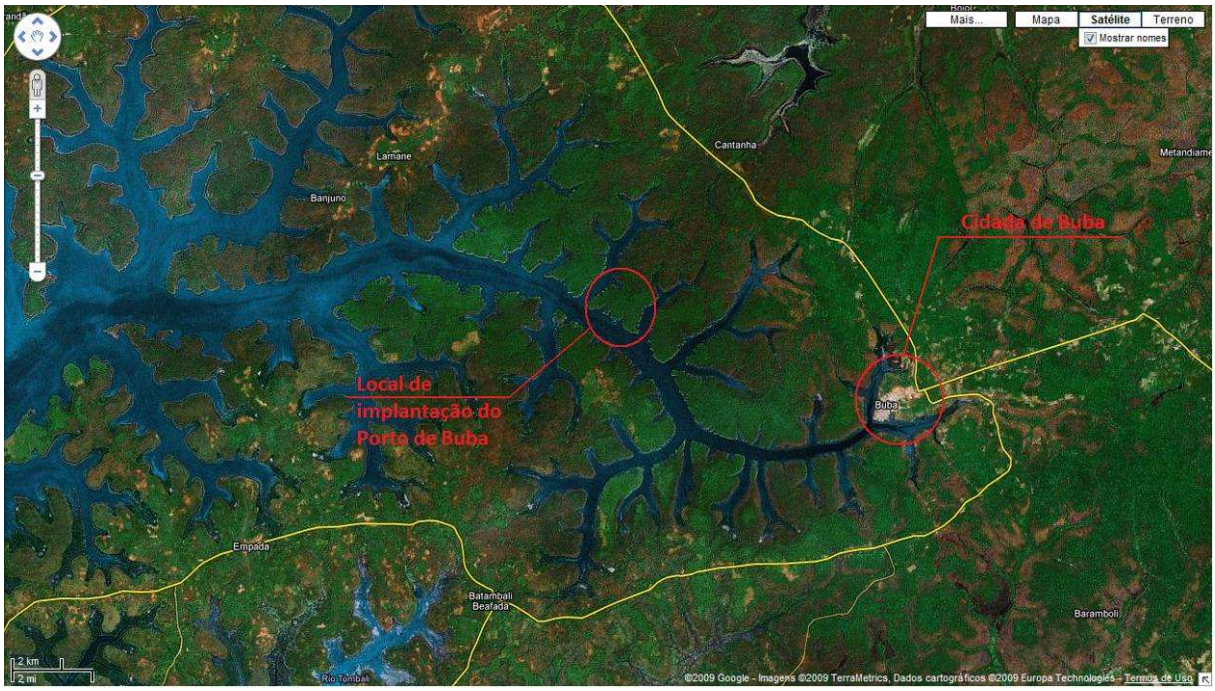


FIGURA 1-5: LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO PORTO DE BUBA.

Estima-se que o custo do empreendimento é da ordem de 500 milhões de dólares e que, através do porto, 2 milhões de toneladas de bauxita serão exportadas por ano. O porto foi projetado para receber navios de até 75.000 TPB e será o maior porto de Guiné Bissau. Apenas para efeito comparativo, o maior porto do país na atualidade recebe navios de, no máximo, 10.000 TPB.

A figura 1-6 a seguir apresenta uma visão geral do porto, mostrando como o arranjo geral do mesmo. A figura 1-7, extraída de maquete eletrônica, mostra a ponte de acesso e o píer.

FIGURA 1-6: ARRANJO GERAL DO PORTO DE BUBA.

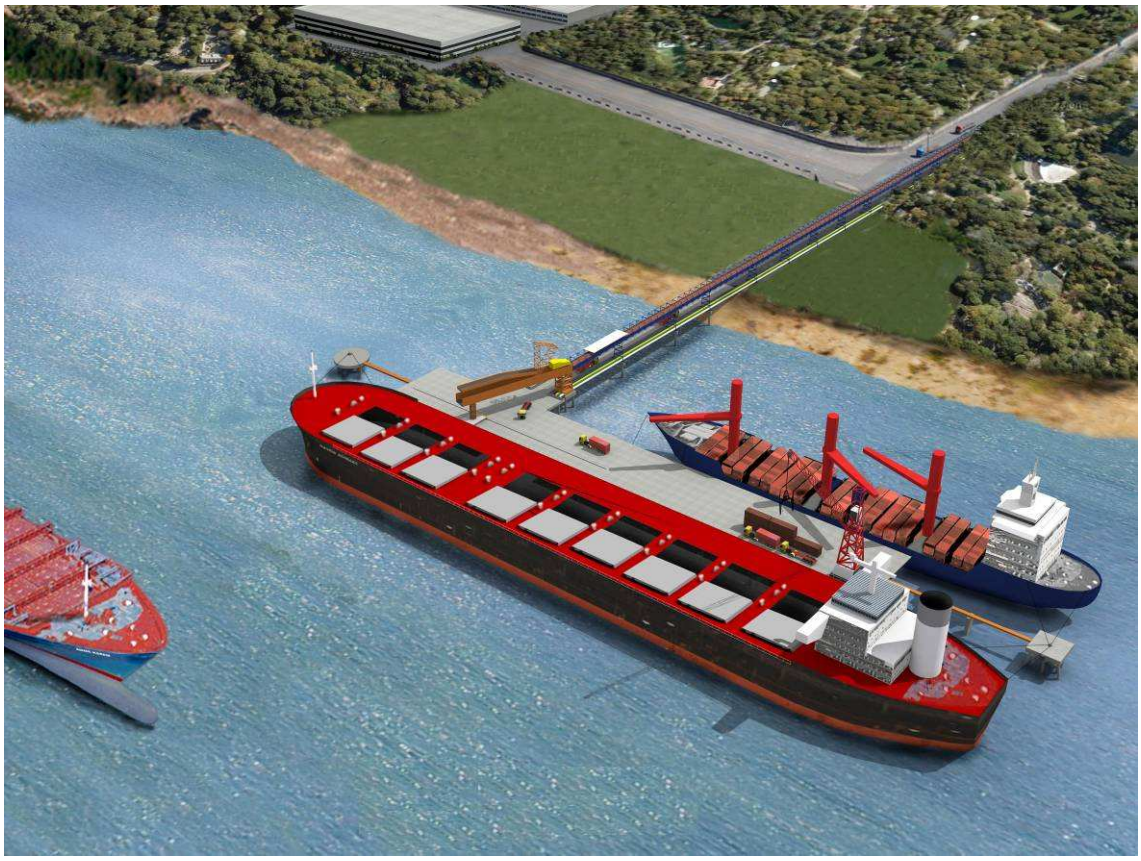


FIGURA 1-7: VISTA EM PERSPECTIVA DA PONTE DE ACESSO E DO PÍER.

Neste trabalho de fim de curso de engenharia civil são apresentados os procedimentos e critérios adotados no projeto conceitual do píer do Porto de Buba. Como os projetos de portos são normalmente extensos e complexos, o foco desse trabalho será direcionado para a análise e dimensionamento do estaqueamento do píer, não fazendo parte do escopo o dimensionamento da superestrutura. Essa escolha se baseia no fato de que o estaqueamento representa uma parcela preponderante do custo do empreendimento, definindo o vencedor de licitações. Serão abordados, ainda, aspectos relacionados à construção da estrutura e à escolha dos materiais utilizados, que tiveram que levar em conta as condições locais.

2 CONCEPÇÃO DO PROJETO

O arranjo geral do píer foi definido baseando-se em fatores pré-estabelecidos para a o empreendimento.

Para facilitar a apresentação deste projeto, algumas nomenclaturas serão apresentadas na forma de siglas, além de utilizar nomes técnicos da engenharia portuária.

Com o intuito de facilitar o entendimento, será apresentada uma legenda com os principais nomes e siglas envolvendo este projeto.

NOME	NOME EM INGLÊS	SIGLA (Pt / Ing)	SIGNIFICADO
Comprimento	Length	L / L	comprimento total do navio - comprimento de proa a polpa
Boca	Breadth	B / B	largura do navio
Pontal	Depth	P / D	altura do navio – distância entre o fundo da quilha e o topo do convés
Calado	Draft	d /d	altura da parte submersa do navio
Calado Carregado	Draft (Full)	D / D_f	altura da parte submersa do navio quando este se encontra totalmente carregado
Calado em Lastro	Draft (Ballast)	D_L / D_b	altura da parte submersa do navio quando este se encontra em lastro
Comprimento entre Perpendiculares	Length between perpendiculars	L_{PP} / L_{PP}	comprimento da parte reta do costado do navio
Tonelagem de Porte Bruto	Dead Weight Tonnage	TPB / DWT	Capacidade de carga do navio, medida em toneladas
Deslocamento	Displacement	DT / DT	massa de água deslocada pelo navio, medida em toneladas - peso do navio mais a carga transportada
Berço	Berth	-	Trecho com a capacidade de abrigar e operar navios ao mesmo tempo num terminal portuário

TABELA 2-1: LEGENDA.

Dentre os fatores pré-estabelecidos, podemos destacar:

2.1 OPERAÇÃO PORTUÁRIA

Inicialmente o Porto de Buba seria destinado exclusivamente para a exportação da bauxita da empresa Bauxite Angola (iniciativa privada).

Após os primeiros contatos com o governo de Guiné-Bissau, o governo decidiu entrar em parceria com a iniciativa privada e transformar o projeto em um porto multiuso, para exportação de bauxita e movimentação de contêineres, graneis líquidos e cargas em geral.

2.2 CUSTO

Dentro do terreno de concessão do Porto de Buba, foi buscado o posicionamento do píer que pudesse gerar o menor comprimento da ponte de acesso (aproximadamente 105m), atendendo o calado das embarcações.

O carregador de navios foi escolhido do tipo mesa de rotação com lança telescópica por ser mais barato do que o tipo "*Ship to Shore*" (carregador móvel sobre trilhos).

2.3 DIMENSÕES E TIPOS DOS NAVIOS

As dimensões e os tipos dos navios influenciam na geometria final do píer para uma operação adequada dos mesmos.

Como o Porto de Buba trata-se de um porto multiuso, alguns navios de projeto tiveram importância significativa na concepção do arranjo final do píer.

	TIPO	TPB	COMPRIMENTO(m)	BOCA(m)	CALADO CARREGADO(m)
NAVIO 1	GRANELEIRO	75000	242	32,2	13,6
NAVIO 2	CONTENTORES	60000	277	36,2	13,8
NAVIO 3	CARGA GERAL	10000	129	19,1	7,9
NAVIO 4	CARGA GERAL	10000	129	19,1	7,9
NAVIO 5	CARGA GERAL	5000	103	15,8	6,3
NAVIO 6	GRANEIS LIQUIDOS	75000	206	36,0	13,7

TABELA 2-2: CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS DE PROJETO.

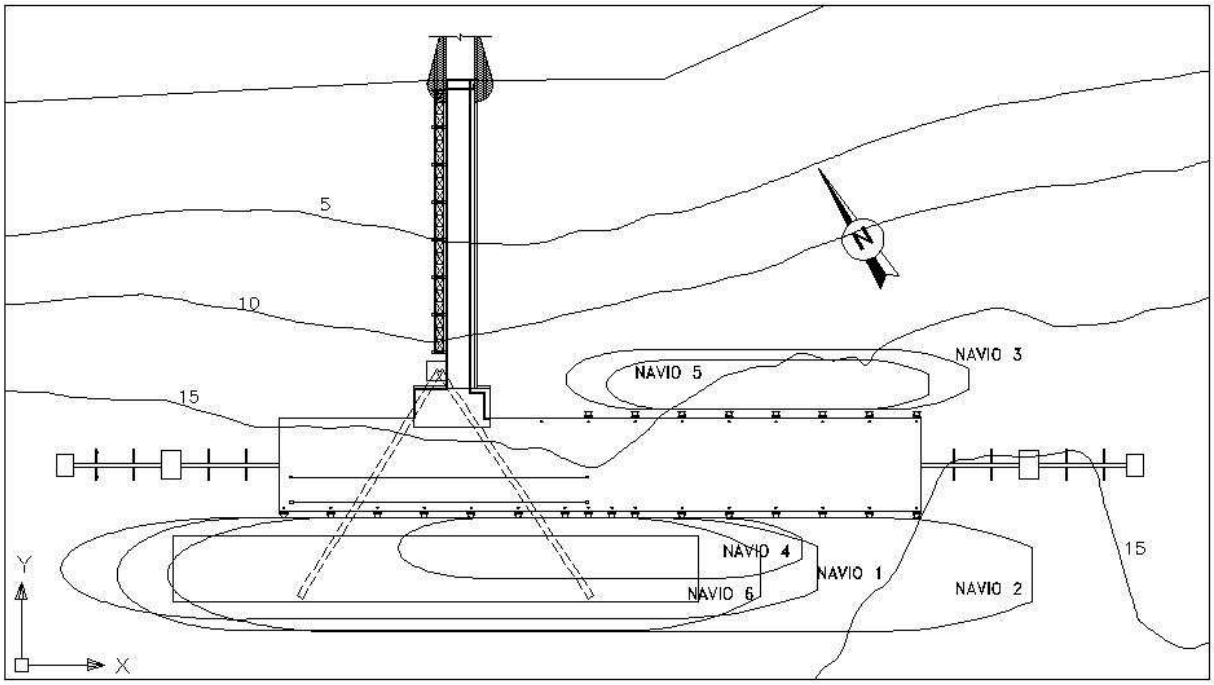


FIGURA 2-1: ARRANJO GERAL COM OS NAVIOS DE PROJETO.

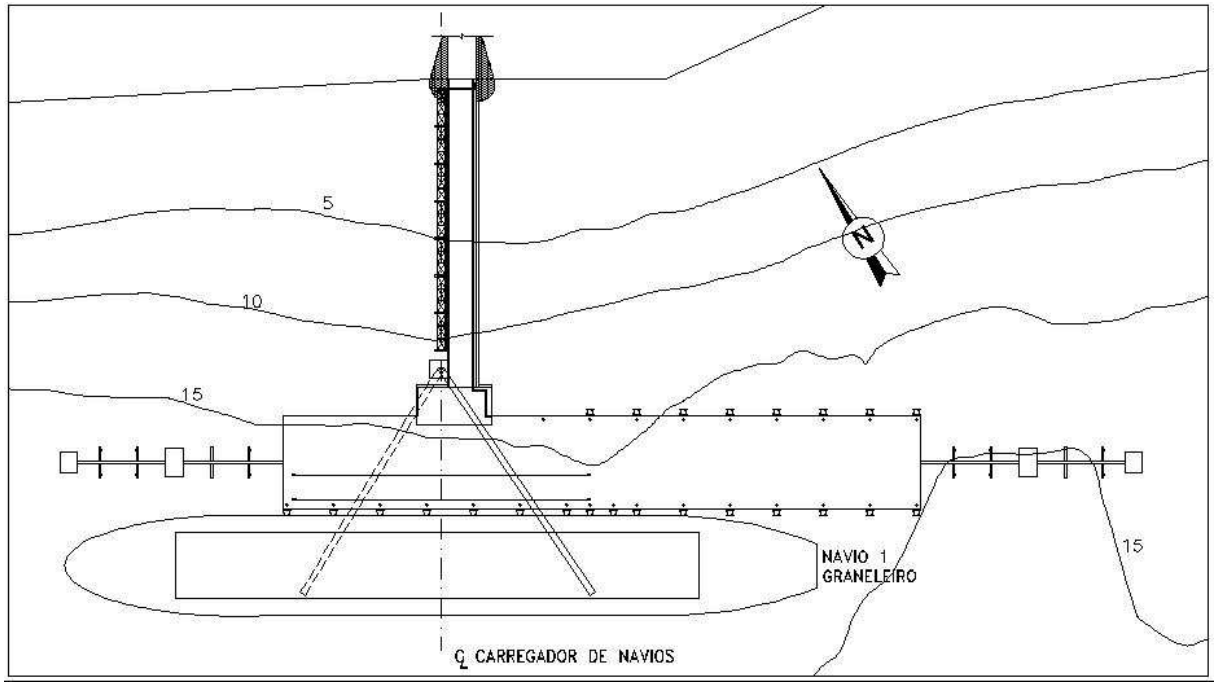


FIGURA 2-2: POSICIONAMENTO DO NAVIO 1.

O Navio1, por ser do tipo graneleiro, foi posicionado no píer de maneira que o seu porão ficasse centralizado com o eixo do carregador de navios. Com isso o tamanho do trilho de suporte da lança do carregador de navios foi tomado para que o alcance da lança pudesse atender carregar todo o porão do navio sem que houvesse movimentação do mesmo no píer.

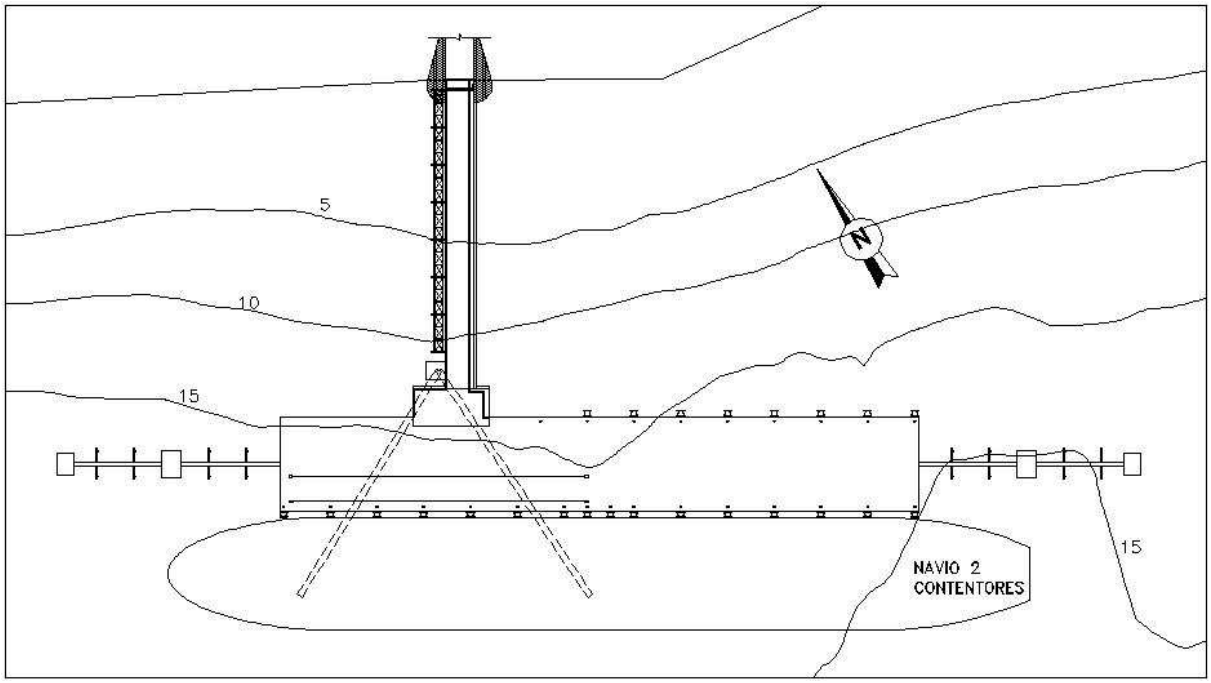


FIGURA 2-3: POSICIONAMENTO DO NAVIO 2.

O Navio 2, que é um navio que movimenta contentores[2], por ser o navio de maior comprimento dentre os navios de projeto influenciou no comprimento total do píer, que foi

[2] Contentor é o mesmo que contêiner, só que no português de Angola, que é o país sede da empresa Bauxite Angola, onde existe uma aversão natural ao estrangeirismo da língua portuguesa.

tomado para atender o seu comprimento entre perpendiculares, que é a parte de movimentação de carga deste navio.

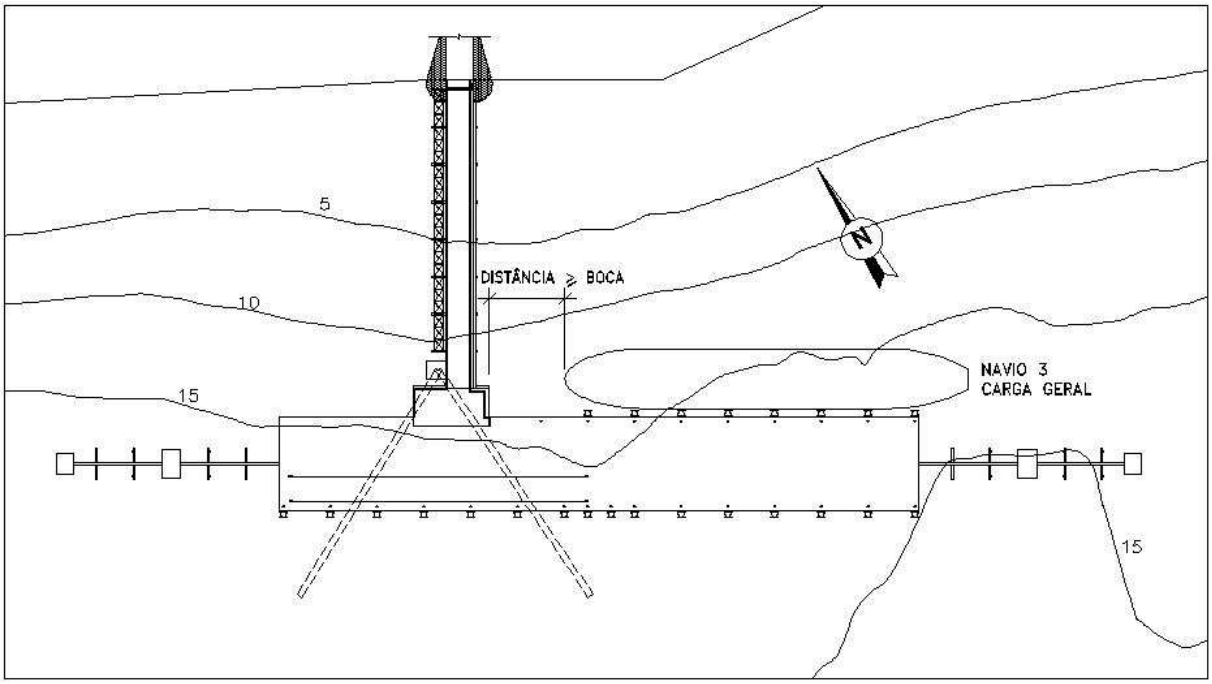


FIGURA 2-4: POSICIONAMENTO DO NAVIO 3.

O Navio 3, que é um navio de carga geral, por ser o maior navio que irá operar no berço interno, influenciou junto com o Navio 2 no comprimento final do píer, já que por conta de um afastamento mínimo que deve existir entre o navio e a ponte de acesso de pelo menos uma boca deste navio, o comprimento do píer também foi verificado para poder operar este navio sem a necessidade de movimentação do mesmo.

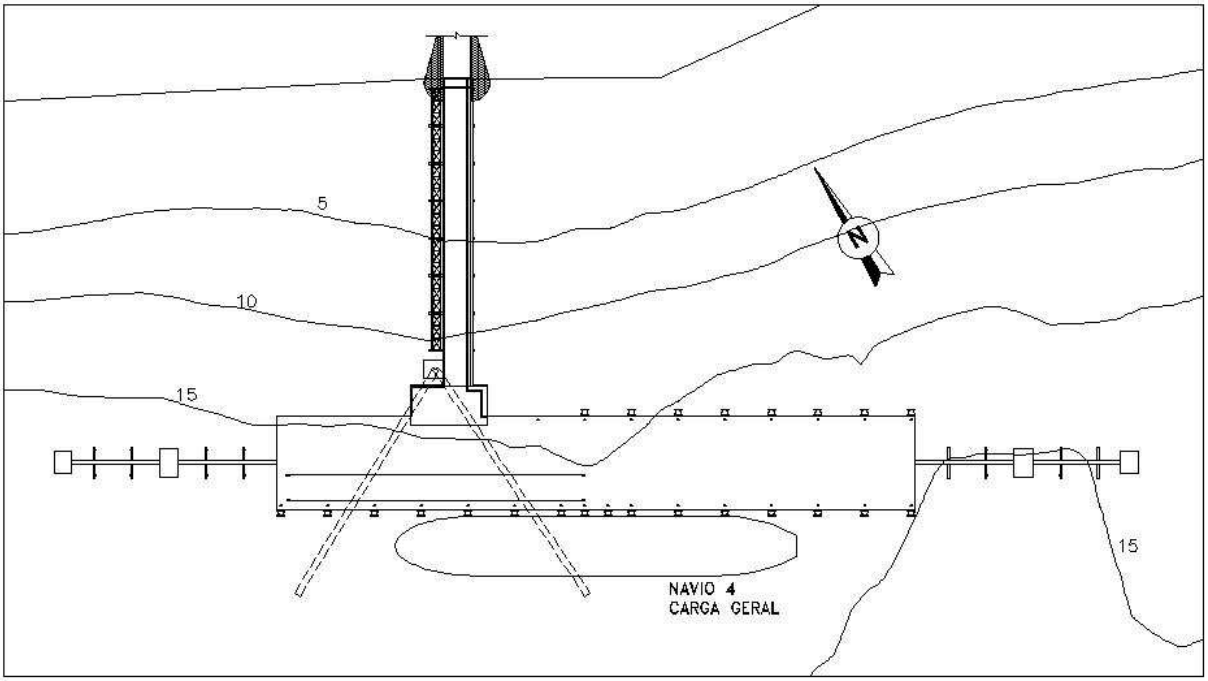


FIGURA 2-5: POSICIONAMENTO DO NAVIO 4.

O Navio 4, que é um navio de carga geral, por ser o menor navio que irá operar no berço externo, não influenciou no comprimento final do píer.

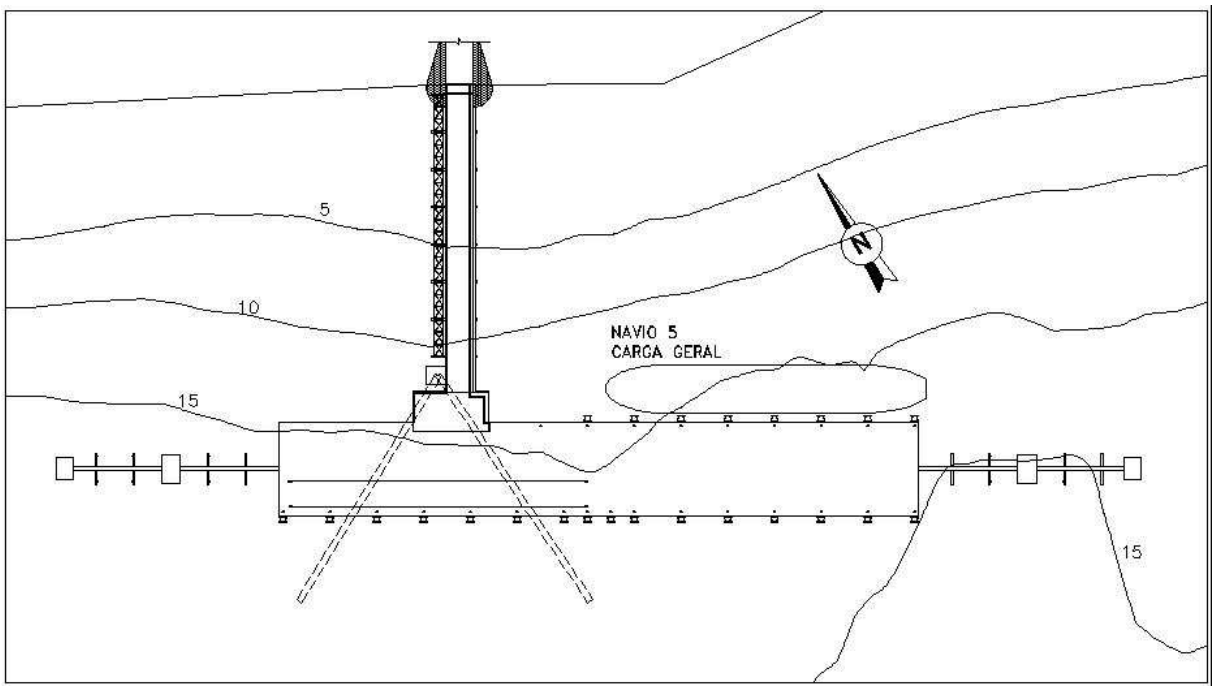


FIGURA 2-6: POSICIONAMENTO DO NAVIO 5.

O Navio 5, que é um navio de carga geral, por ser o menor navio que irá operar no berço interno, não influenciou no comprimento final do píer.

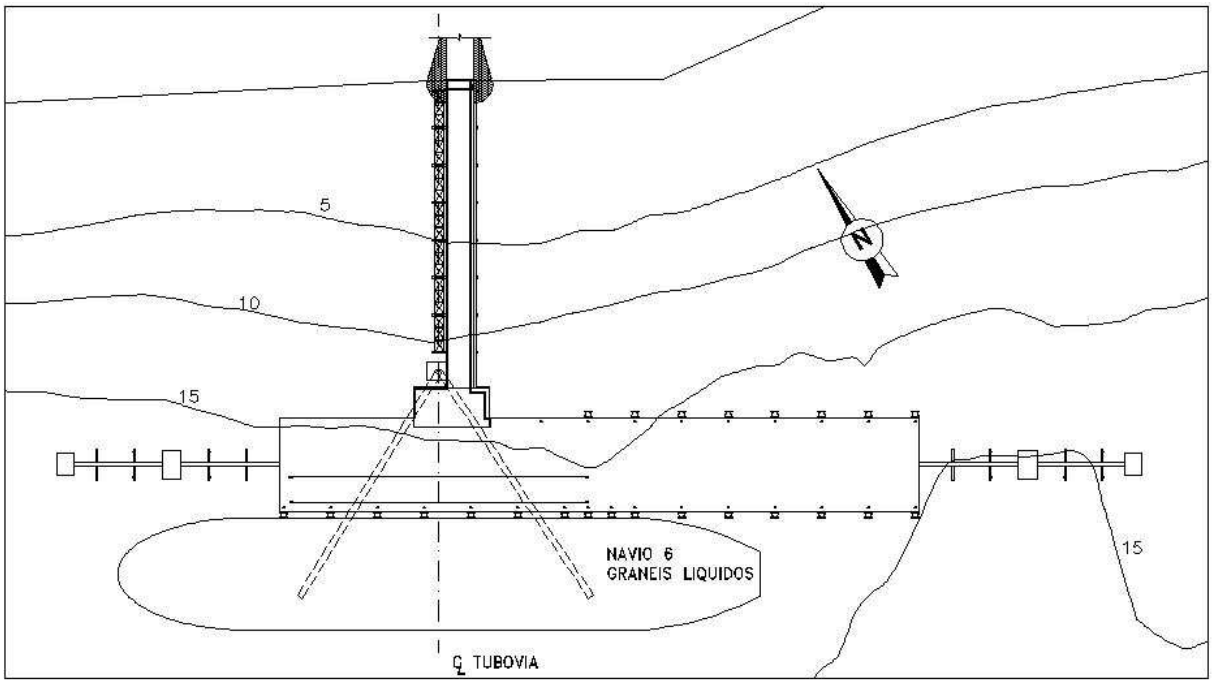


FIGURA 2-7: POSICIONAMENTO DO NAVIO 6.

O Navio 6, por ser um navio de graneis líquidos, é posicionado de maneira centralizada com a tubovia, por onde virão as mangueiras de abastecimento do navio. Entretanto, seu comprimento não influenciou na geometria final do píer.

2.4 METODOLOGIA CONSTRUTIVA

O tipo de metodologia construtiva implica diretamente na geometria final do píer.

A metodologia adotada indica a possibilidade ou não de geometrias mais complexas ou irregulares.

Para o projeto do Porto de Buba foi adotado o sistema construtivo em "*Cantitravel*", que é um sistema constituído de um guindaste que opera sobre uma plataforma móvel que se movimenta por cima das estacas cravadas por este guindaste.

Este tipo de sistema construtivo tem como uma de suas vantagens a velocidade de execução aliada a uniformidade da obra, o que não possibilita a adoção de geometrias muito complexas.

FIGURA 2-8: EXEMPLO DE OPERAÇÃO COM "*CANTITRAVEL*".

2.5 ESCOLHA DO MATERIAL

A escolha do material a ser empregado na obra influencia nas características do sistema estrutural adotado.

A escolha do aço como material predominante nas estruturas do Porto de Buba deve-se ao fato de que toda a estrutura pode ser fabricada em qualquer mercado produtor mundial, pela facilidade de transporte do material e pela velocidade de execução da obra.

3 CRITÉRIOS DE PROJETO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais informações que serão utilizadas no projeto conceitual do píer do Porto de Buba, como:

a) Normas técnicas;
b) Características dos materiais utilizados;
c) Condições ambientais;
d) Condições geotécnicas;
e) Principais carregamentos

Essas informações são detalhadas a seguir.

3.2 NORMAS TÉCNICAS[3]

Na ausência de normas africanas, os projetos para as obras marítimas foram desenvolvidos de acordo com os critérios estabelecidos nas seguintes Normas Técnicas da ABNT, Normas Americanas e Européias:

- NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento;
- NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações;
- NBR 6123 – Forças Devido ao Vento em Edificações;
- NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas;
- NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios;
- NBR 9062 – Projeto e Execução de Concreto Pré-moldado;
- NBR 9782 – Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais;
- NBR 11240 – Utilização de Defensas Portuárias;
- NBR 11832 – Defensas Portuárias de Elastômeros;
- NBR 13209 – Planejamento Portuário – Obras de Acostagem;
- NBR 13246 – Planejamento Portuário – Aspectos náuticos;
- NAVFAC DM 7.2 – Navy Design Manual, Foundations (marinha dos Estados Unidos da América);

[3] As normas e manuais apresentadas neste item referem-se às expecificações normalmente adotadas para critérios de projetos de portos. As normas e manuais que foram utilizadas como referências bibliográficas serão apresentadas no final deste projeto final de curso.

- ACI-301 – Specifications for Structural Concrete for Buildings (Estados Unidos da América);
- ACI-318-95 – Bulding Code Requirements for Structural Concrete (Estados Unidos da América);
- AISC 2005/ASD – Manual of Steel Construction (Estados Unidos da América);
- AWS-DI.4 – Structural Steel Welding Code (Estados Unidos da América);
- EAU – Recommendations of the Commite for Waterfront Structures – 2004 (Alemanha);
- BS 6349 – British Standard – Maritime Structures Code.
- PIANC – International Association Navigation - Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002.

3.3 MATERIAIS

- Concreto $f_{ck} = 40MPa$ (28 dias)
- Aço para Concreto Armado CA-50 ($f_{yk} = 500MPa$)
- Aço Estrutural USI SAC 300 ($f_y = 300MPa \quad e \quad f_u = 400MPa$)

3.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

3.4.1 Ventos

A velocidade de vento básica na região é de 30 m/s.

3.4.2 Temperatura

A variação térmica é de ± 15ºC.

3.4.3 Variações do Nível d' Água

Os níveis das marés considerados no projeto foram os seguintes:

- Nível d'Água Máximo: + 4,60 m;
- Nível d'Água Mínimo: 0,00 m.

3.4.4 Correntes

Velocidade máxima de corrente de 1,5m/s paralela a linha de atracação e 0,25m/s transversal a linha de atracação.

3.4.5 Ondas

Não se verifica a ação de ondas na região.

3.4.6 Terremotos

Não se verifica a ação de terremotos em Guiné-Bissau.

3.5 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

De acordo com o relatório estratigráfico disponibilizado, o subsolo de formação rochosa é basicamente constituído por (para este item, estamos considerando o zero na margem do rio):

- laterita até a profundidade de -3,00m
- argila laterítica de -3,00m a -27,00m
- areia laterítica de -27,00m a -48,00m
- areia de -48,00m a -63,00m
- arenito de -63,00m a -68,00m-
- arenito siltoso de -68,00m a -75,00m
- arenito com intercalação de argilito de -75,00m até -78,00m, onde foi atingido o "impenetrável" da investigação rotativa realizada.

Investigações geotécnicas do tipo sondagens a percussão e sondagens rotativas não estão disponíveis.

3.6 CARGAS PERMANENTES

O peso específico considerado no cálculo das estruturas de concreto armado será de 25 kN/m³ e o de estruturas de aço será de 78,50 kN/m³.

3.7 SOBRECARGAS VERTICAIS

Será considerada sobrecarga de 30 kN/m² atuando em toda a plataforma do píer.

3.8 CARGAS MÓVEIS

Os projetos das estruturas do píer serão desenvolvidos para suportar as cargas devido à movimentação e operação do carregador de navios conforme especificado abaixo:

Carregador de Navios com sistema de torre giratória e lança telescópica, raio de giração de 38,0m, bitola de 8,0m e carga vertical nos trilhos de 300 kN/m (as cargas horizontais serão tomadas como 10% das cargas verticais, conforme figura 2-1).

As cargas da torre giratória atuam numa estrutura independente do píer sem qualquer transmissão de esforços.

Usualmente, os fabricantes de carregadores de navios apresentam em seus projetos um quadro de cargas por roda para várias condições de operação do carregador. Dentre as mais comuns apresentadas, são informadas as cargas do peso próprio do carregador de navios, cargas do carregador de navios trabalhando com ventos de operação portuária e cargas do carregador de navios com ventos de tormenta, sendo este último carregamento o que gera as maiores solicitações impostas pelo carregador de navios.

Por não existir um fornecedor do carregador de navios definido para este projeto conceitual, as cargas do carregador de navios serão consideradas no desenvolver desse projeto apenas conforme apresentado anteriormente.

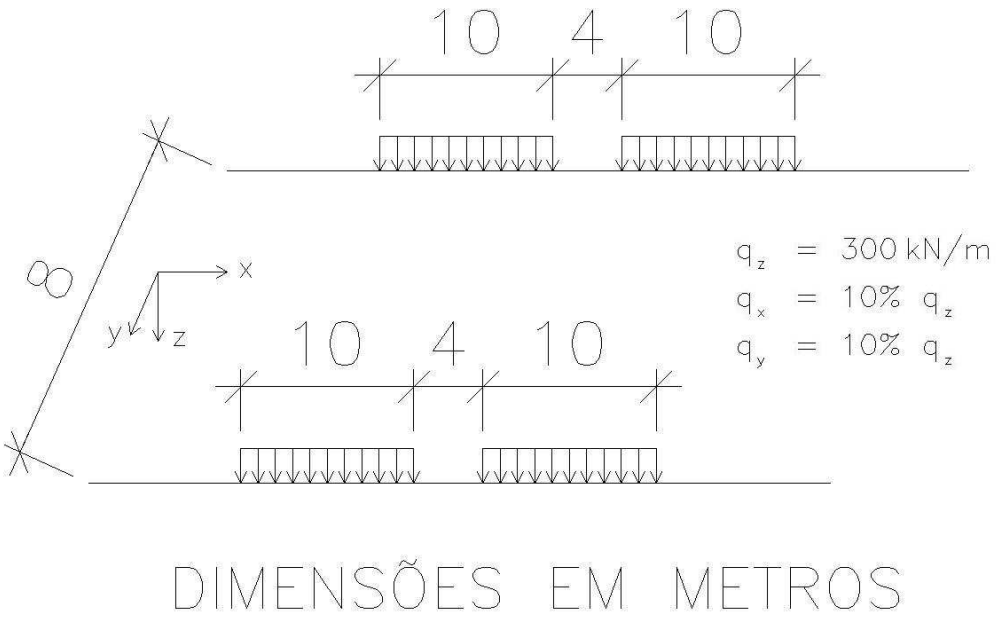


FIGURA 3-1: TREM-TIPO DO CARREGADOR DE NAVIOS.

FIGURA 3-2: EXEMPLO DE CARREGADOR DE NAVIOS COM TORRE GIRATÓRIA (MRN – PORTO DE TROMBETAS).

3.9 CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS

A tabela 2-1 a seguir lista os navios que atracarão no píer e suas respectivas velocidades de atracação.

BERÇO EXTERNO		
TIPO DO NAVIO	TPB	V(m/s)
Contentores	60.000	0,1
Graneleiro	75.000	0,1
Granéis Líquidos	75.000	0,1
Carga Geral	10.000	0,2
BERÇO INTERNO		
Carga Geral	10.000	0,2
Carga Geral	5.000	0,25

TABELA 3-1: TIPOS DOS NAVIOS, CAPACIDADE DE CARGA E VELOCIDADE DE ATRACAÇÃO

3.10 NÍVEIS DAS ESTRUTURAS MARÍTIMAS

O nível superior das estruturas marítimas foi definido na elevação +7,00m para os dolfins e +7,00m variando até +6,80m para o píer, referindo-se ao “zero” do Rio Grande de Buba (nível de água do rio foi o referencial adotado).

4 MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTRUTURA DO PÍER

4.1 PÍER

O píer é constituído longitudinalmente (eixo x da figura 3-1) por 27 vãos de 7,50m (eixos 1 a 28 da figura 3-8) e um balanço em cada extremidade de 1,25m, totalizando 205,00m de comprimento. Na direção transversal (eixo y da figura 3-1), o píer é configurado por 4 eixos longitudinais espaçados de 8,00m (eixos “W”, “X”, “Y” e “Z”) entre eles e um balanço de 3,00m em cada extremidade, totalizando 30,00m de largura.

O píer será implantado numa área com profundidade de aproximadamente 17,00m no berço externo e 15,00m no berço interno, permitindo a atracação de navios de 10.000 TPB a 75.000 TPB no berço externo e navios de 5.000 TPB a 10.000TPB no berço interno.

Nas figuras 3-1 e 3-2 são apresentadas plantas com arranjo geral do píer. As figuras 3-3 e 3-4 mostram a seção transversal e a seção longitudinal do píer, respectivamente.

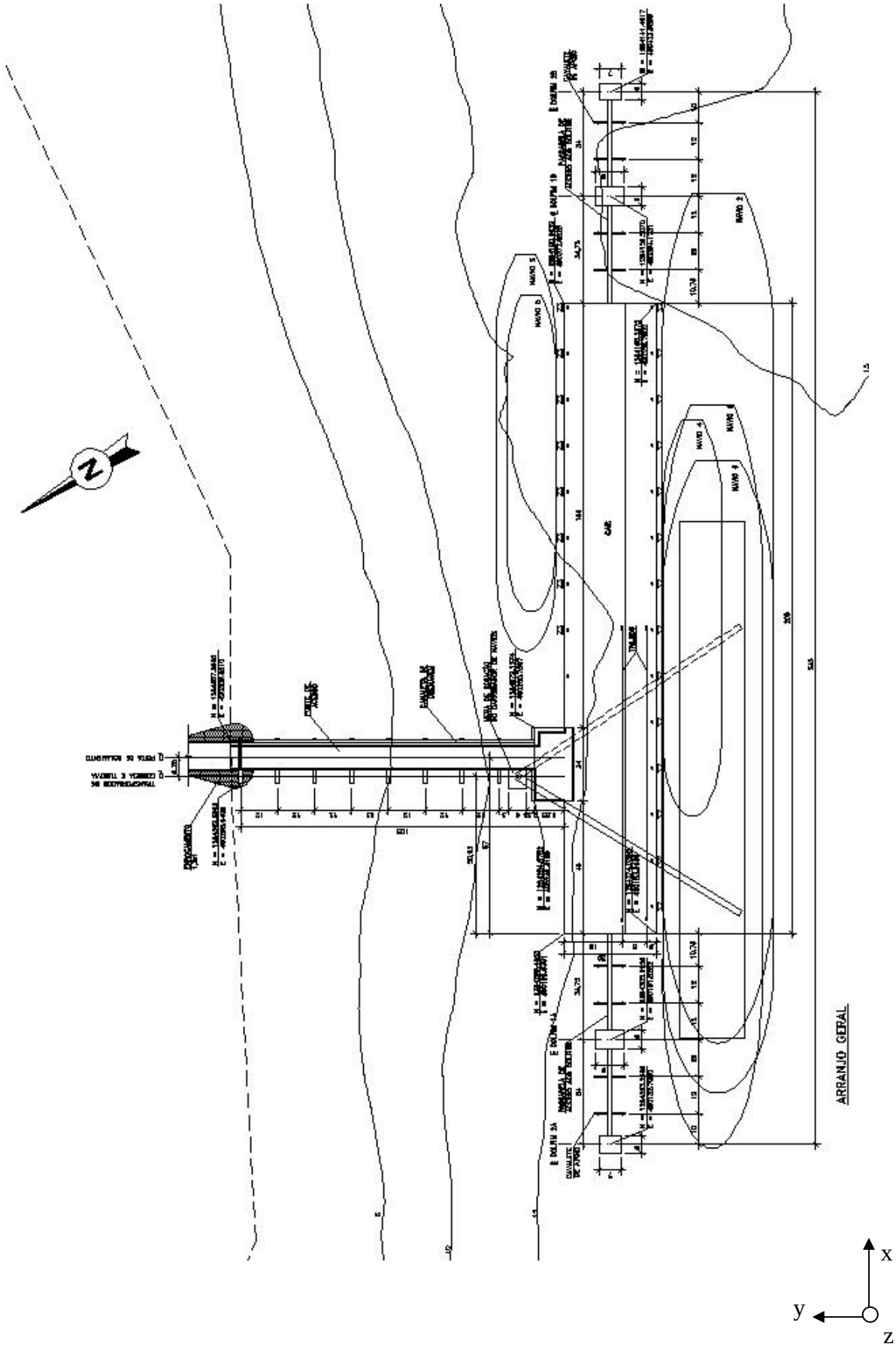


FIGURA 4-1: ARRANJO GERAL DO PÍER E DA PONTE DE ACESSO (DIMENSÕES EM METROS)

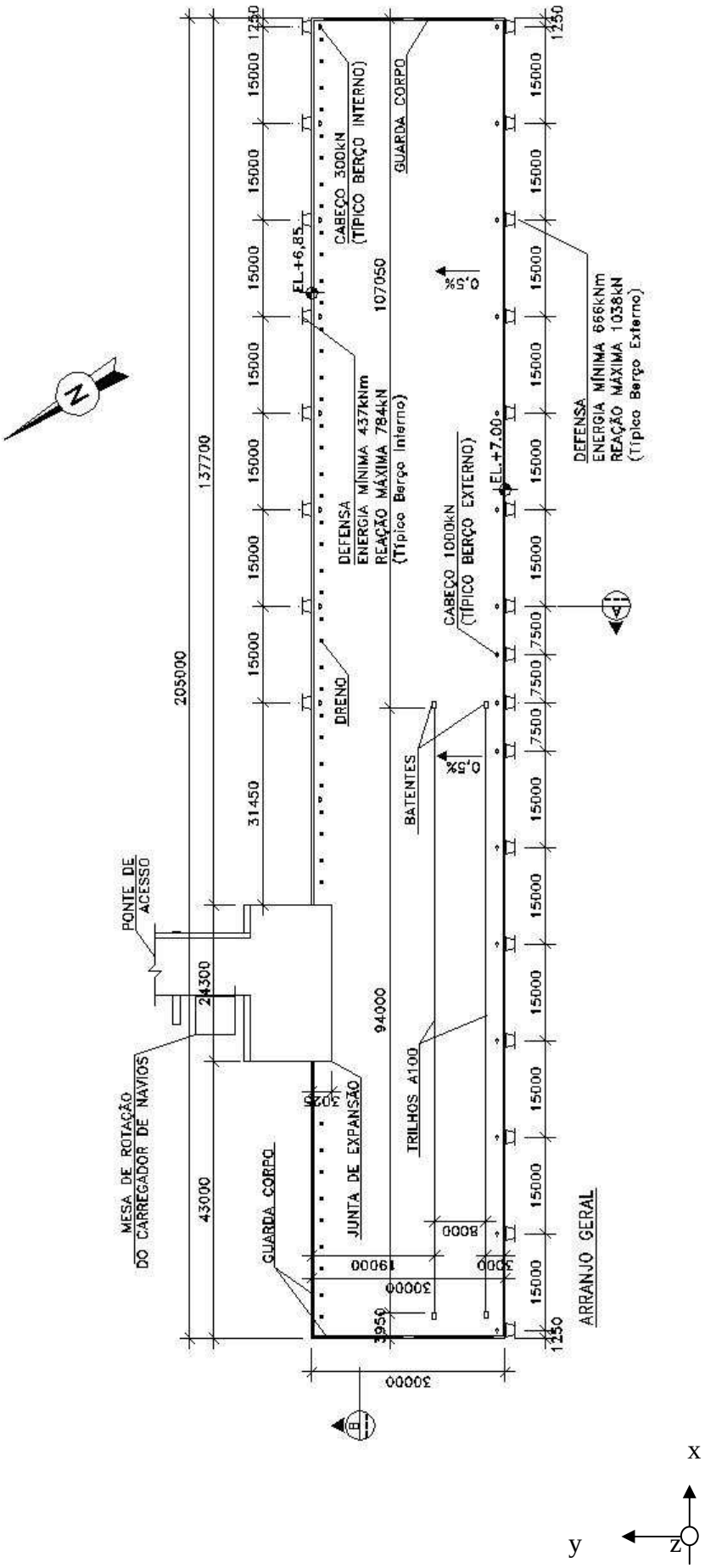


FIGURA 4-2: ARRANJO GERAL DO PÍER (DIMENSÕES EM MILÍMETROS)

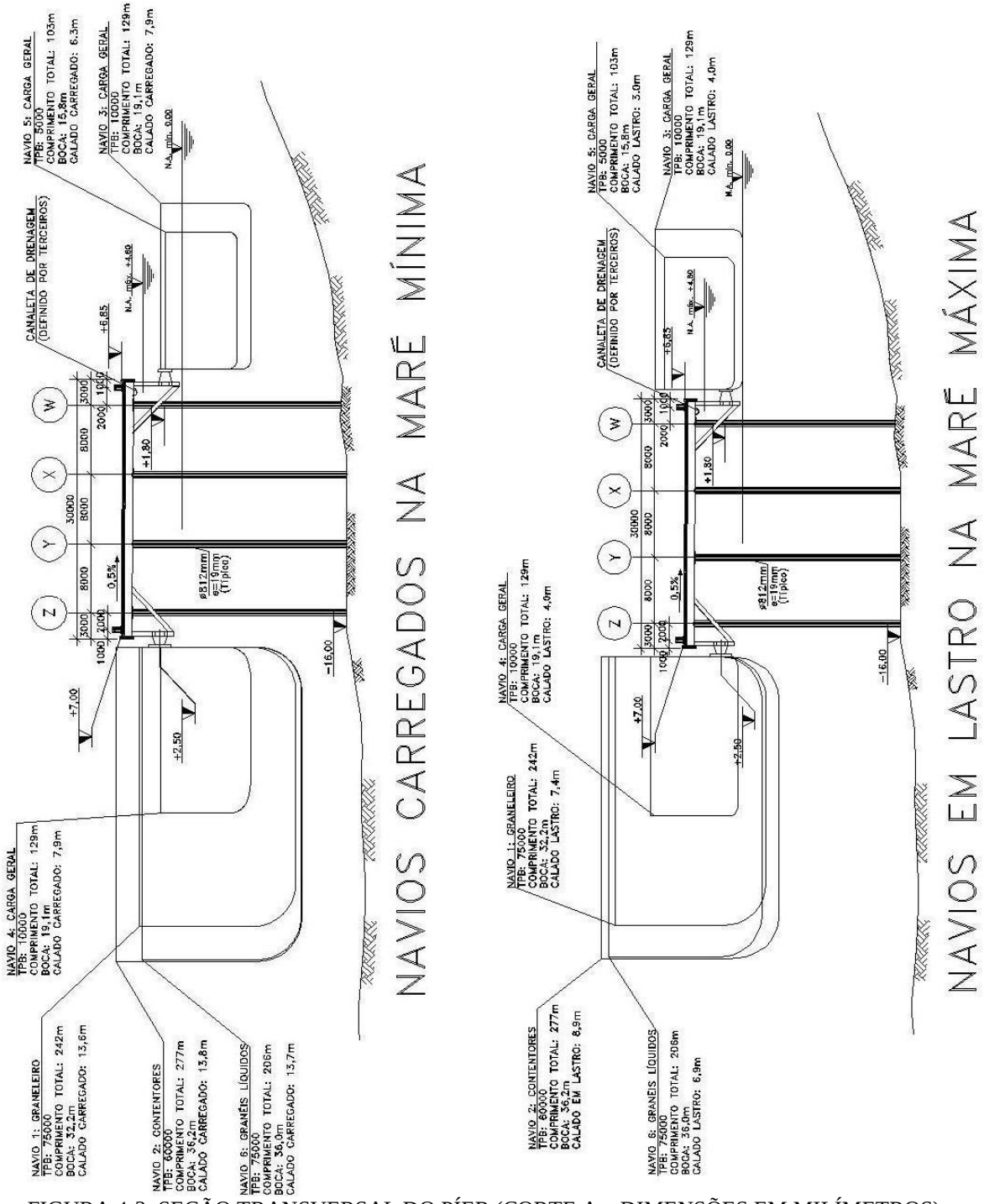


FIGURA 4-3: SEÇÃO TRANSVERSAL DO PÍER (CORTE A – DIMENSÕES EM MILÍMETROS).

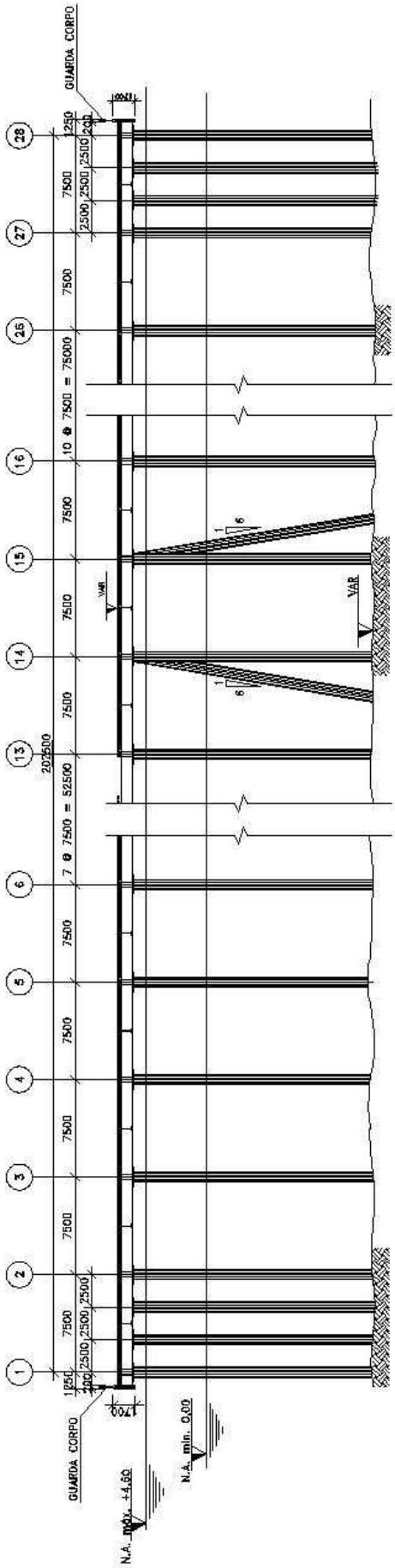


FIGURA 4-4: SEÇÃO LONGITUDINAL DO PÍER (CORTE B – DIMENSÕES EM MILÍMETROS).

4.2 SUPERESTRUTURA

A superestrutura do píer é configurada por uma grelha de vigas metálicas com modulação de 8,0m x 7,5m onde as vigas transversais principais (viga V1 da figura 3-7) apóiam-se diretamente nas estacas (eixos 1 ao eixo 28), as vigas longitudinais (eixos “W”, ”X”, ”Y” e “Z”, viga V2 da figura 3-7) apóiam-se nas vigas transversais e as vigas transversais secundárias (viga V3 da figura 3-7) apóiam-se nas vigas longitudinais na metade dos vãos transversais, como mostra a figura 3-5.

A plataforma é formada por lajes pré-moldadas de concreto armado ligadas a estrutura metálica através de conectores de cisalhamento, com solidarização dada por concretagem “in-loco”, conforme apresentado na figura 3-6.

A plataforma encontra-se numa elevação de +7,00m variando até a elevação de +6,80m, referindo-se ao “zero” do Rio Grande de Buba. Esta inclinação será materializada pela variação na cota de arrasamento das estacas.

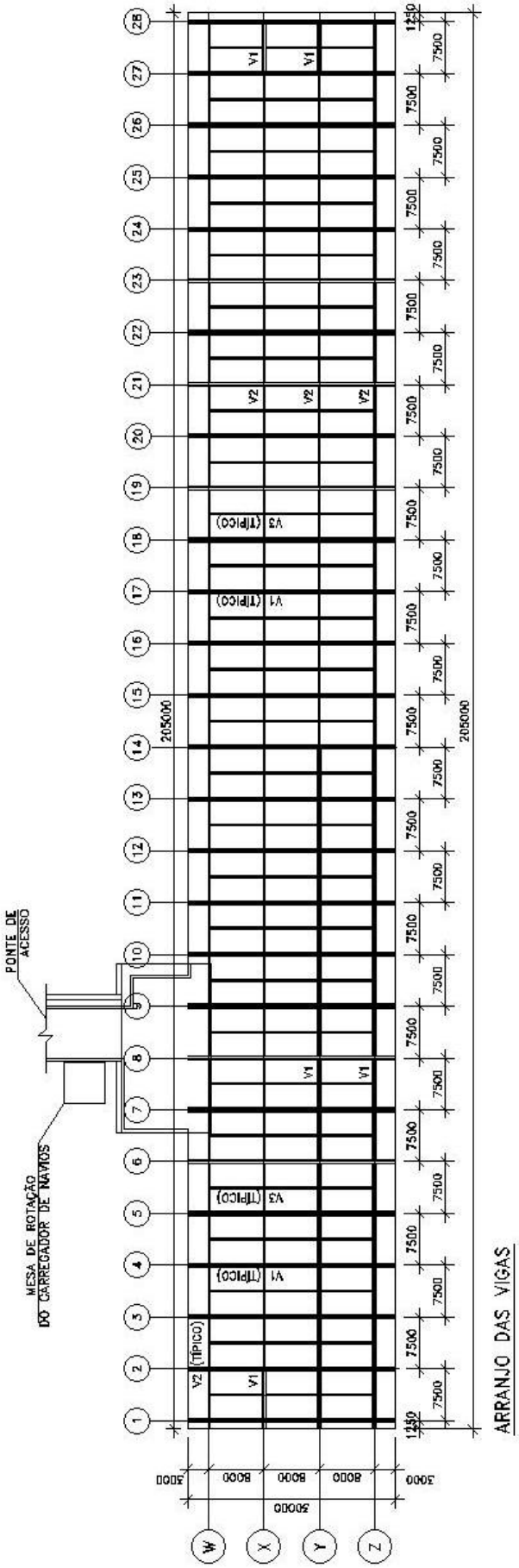
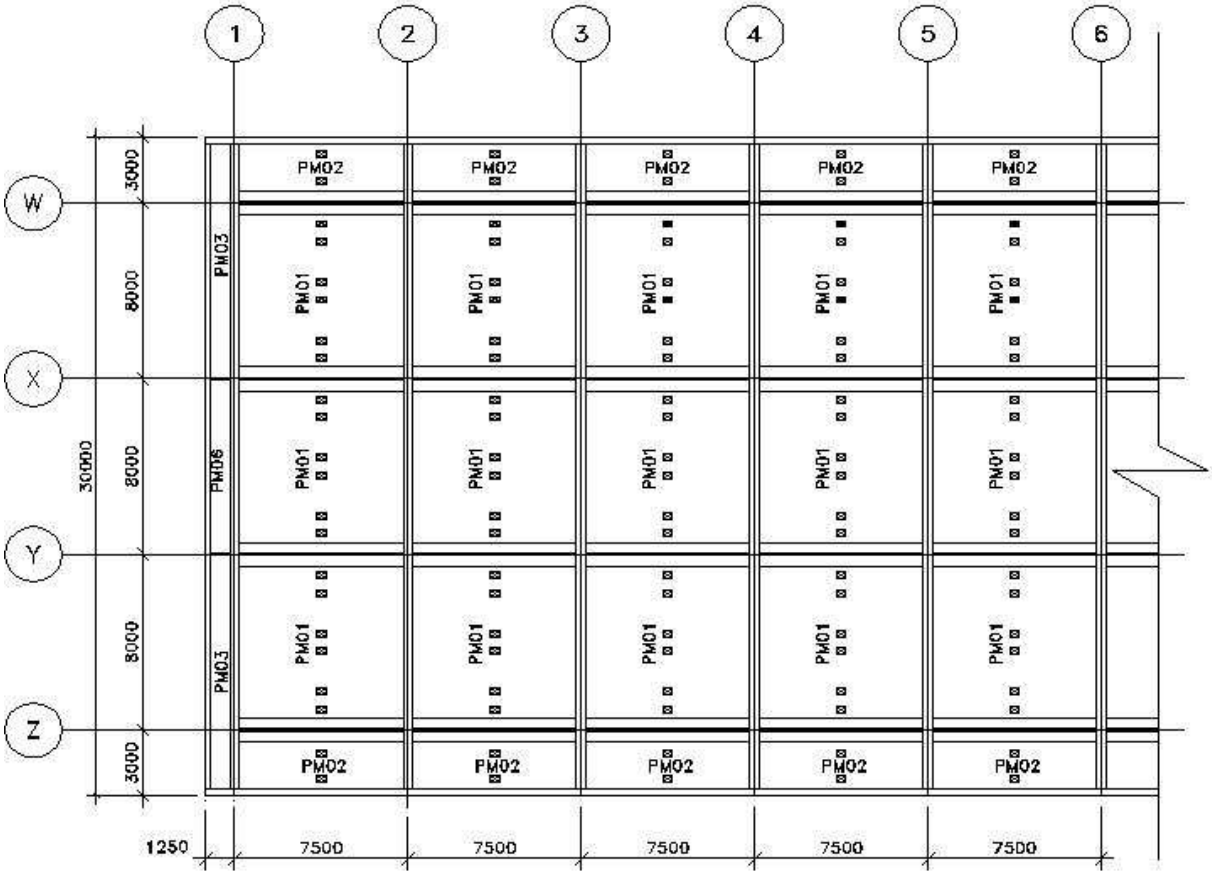
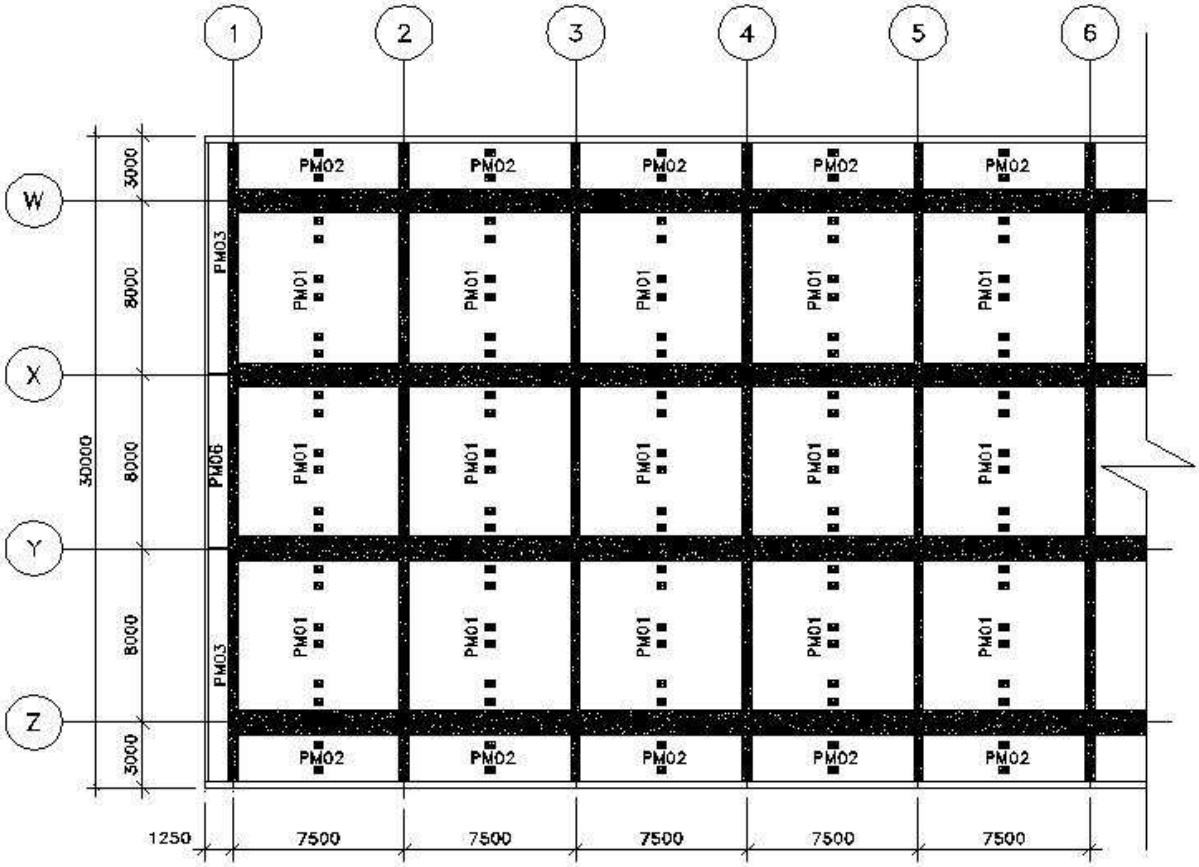


FIGURA 4-5: ARRANJO DAS VIGAS (DIMENSÕES EM MILÍMETROS)


1
2
3
4
5
6
W
X
Y
Z
3000
8000
8000
8000
3000
30000
PM02
PM01
PM03
PM06
1250
7500


1
2
3
4
5
6
W
X
Y
Z
3000
8000
8000
8000
3000
30000
PM02
PM01
PM03
PM06
1250
7500

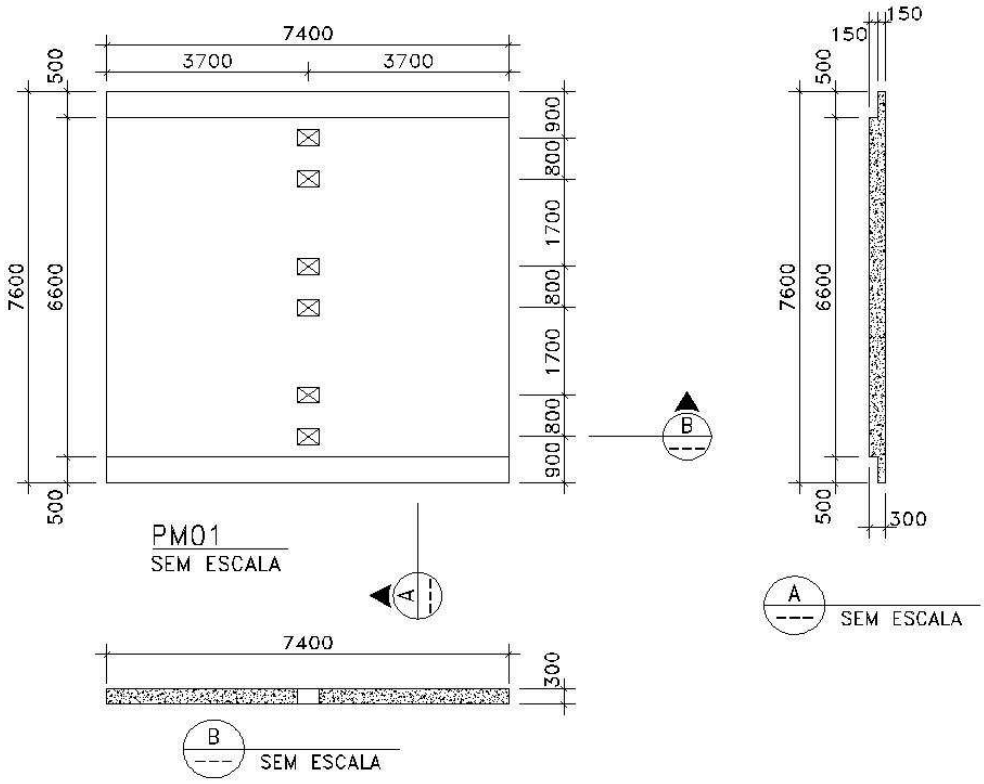


FIGURA 4-6: LAJES PRÉ-MOLDADAS: A) POSICIONAMENTO DOS PRÉ-MOLDADOS; B) CONCRETAGEM DE UNIÃO DOS PRÉ-MOLDADOS; C) PRÉ-MOLDADO TÍPICO

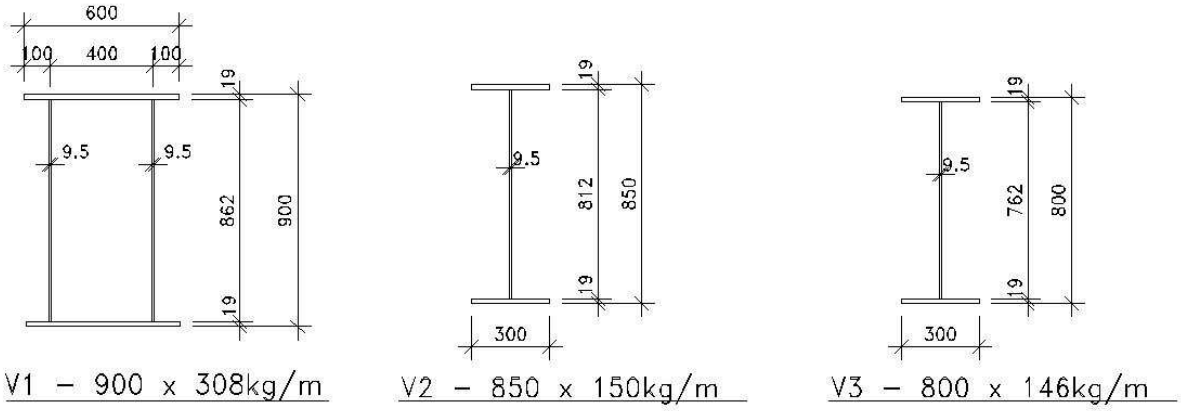


FIGURA 4-7: SEÇÃO TRANSVERSAL DAS VIGAS DO PÍER (DIMENSÕES EM MILÍMETROS)

4.3 ESTAQUEAMENTO

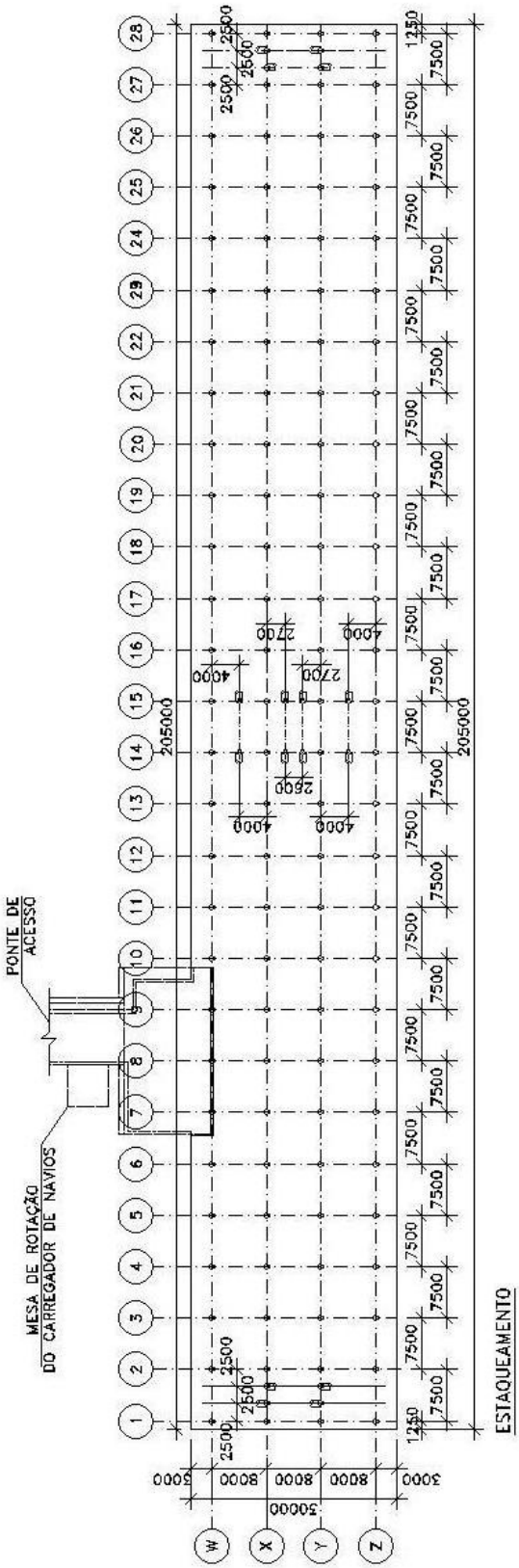


FIGURA 4-8: ARRANJO DO ESTAQUEAMENTO

O estaqueamento é constituído por estacas verticais, inclinadas transversais e inclinadas longitudinais, dispostas da seguinte forma (figura 3-8):

a) estacas verticais: são as mais comuns e estão localizadas nos pontos de cruzamento entre os eixos longitudinais e transversais, ou seja, com espaçamento de 8,0m x 7,5m, totalizando 112 estacas (28 eixos transversais X 4 eixos longitudinais);
b) estacas inclinadas transversais: total de 8 estacas (4 em cada extremidade e metade inclinada para cada lado) com inclinação de 1:6 na direção transversal, dispostas nas extremidades do píer para resistir aos carregamentos horizontais oriundos principalmente das ações de amarração e atracação;
c) estacas inclinadas longitudinais: total de 8 estacas (metade inclinada para cada lado) com inclinação de 1:6, posicionadas no centro do píer para resistir, principalmente, aos carregamentos de frenagem/aceleração do carregador de navios, atracação e amarração.

Todas as estacas serão constituídas por tubos de aço estrutural USI SAC 300 de 812 mm de diâmetro externo. Todas as estacas receberão proteção catódica.

A figura 3-8 mostra a configuração geral do estaqueamento.

4.4 SISTEMA DE ATRACAÇÃO E AMARRAÇÃO DOS NAVIOS

O sistema de amarração de navios é constituído por cabeços de amarração de 1000kN de capacidade para o berço externo e 300kN de capacidade para o berço interno.

Estão previstos 4 dolfins de amarração (2 em cada extremidade do píer – ver figura 4-1) com cabeços de 1000kN de capacidade de amarração em cada dolfim.

Para a atracação de navios estão previstas defensas de borracha do tipo cônicas e painel, com capacidade de absorção de energia mínima de 495 kN.m e reação máxima de 1038 kN, compatíveis com os maiores e os menores navios previstos para atracação no berço externo, e com capacidade de absorção de energia mínima de 350 kN.m e reação máxima de 738 kN, compatíveis com os maiores e os menores previstos para atracação no berço interno.

4.5 UTILIDADES E COMPLEMENTOS

O píer será dotado ainda dos seguintes complementos e utilidades:

- Canaleta de drenagem;
- Trilhos A100 para carregador de navios;
- Batentes do carregador de navios;
- Passarela de acesso aos dolfins.

5 MODELO ESTRUTURAL

5.1 INTRODUÇÃO

A estrutura do píer foi modelada como pórtico espacial no programa de análise estrutural SAP 2000 V.10.

5.2 GEOMETRIA

No modelo estrutural foram usados elementos de barra (estacas e vigas) e elementos finitos de casca (laje). Nesse caso, as seções transversais foram informadas ao programa, que calcula as propriedades geométricas automaticamente.

Por se tratar de um projeto conceitual e, na falta de investigações geotécnicas necessárias para a caracterização mais precisa do comportamento do solo no modelo, ao comprimento livre das estacas foi acrescentado um comprimento de engastamento fictício (ver ANEXO B) segundo Velloso e Lopez [1], e em suas extremidades foi adotado um apoio do tipo engaste.

A seguir, serão mostradas imagens com a perspectiva do modelo de pórtico espacial, vista superior do vigamento da superestrutura, propriedade dos materiais empregados no modelo e seções as transversais dos elementos de barra e casca adotados no modelo.

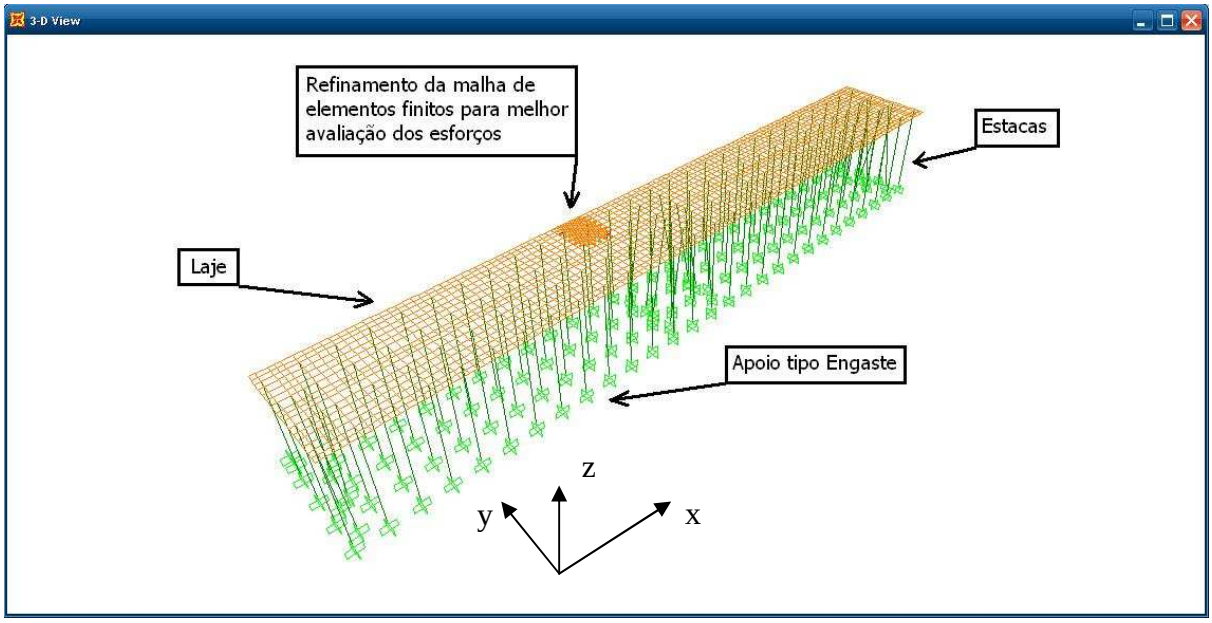


FIGURA 5-1: PERSPECTIVA DO MODELO ESTRUTURAL

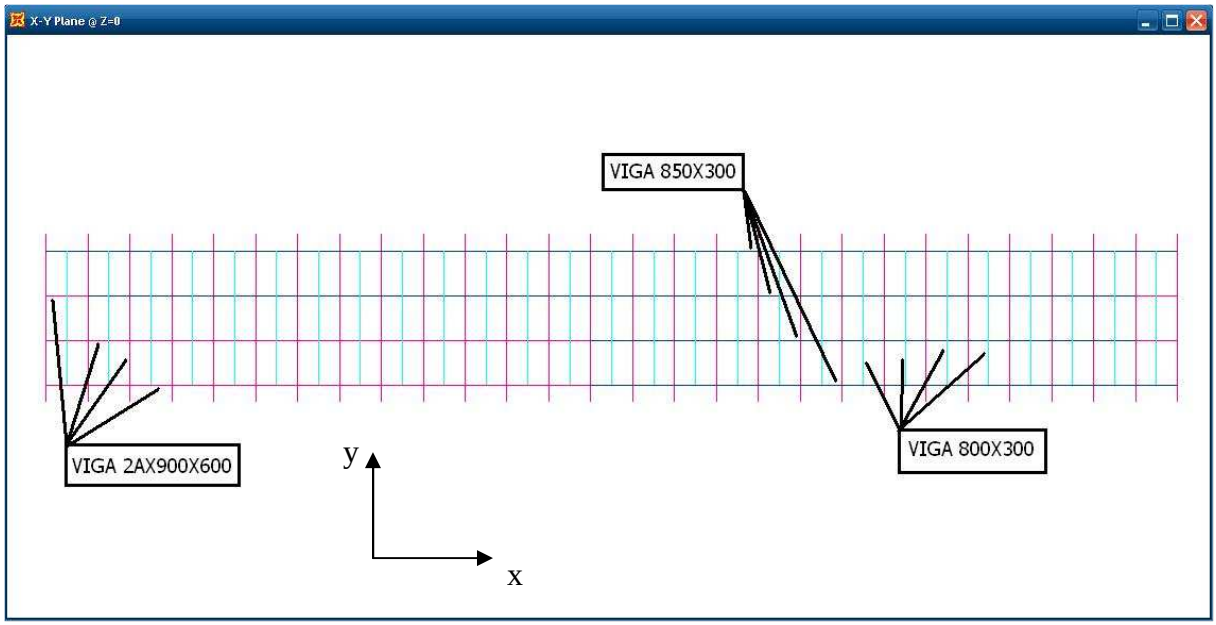


FIGURA 5-2: VISTA SUPERIOR DO VIGAMENTO DA SUPERESTRUTURA (ELEMENTOS DE BARRA)

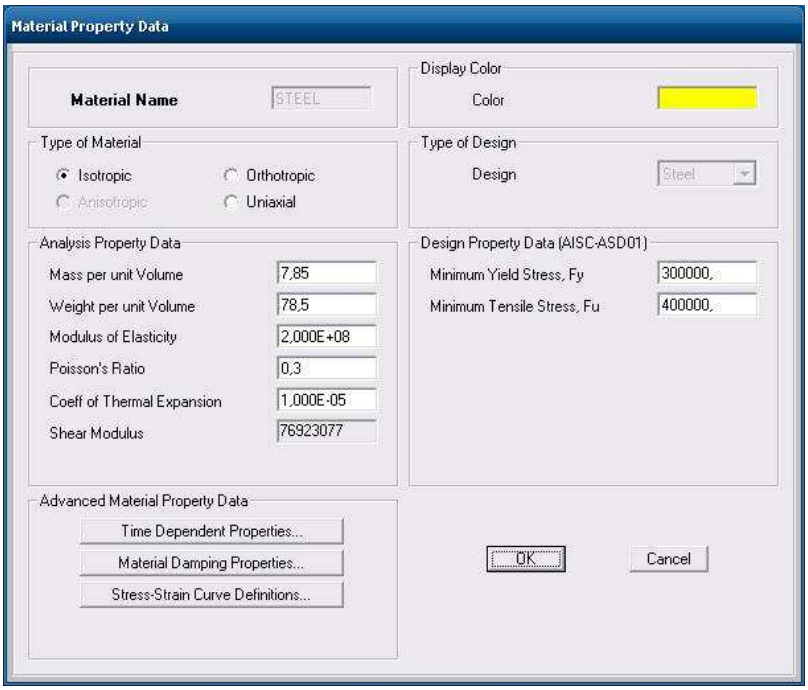


FIGURA 5-3: PROPRIEDADES DO AÇO ESTRUTURA (USI SAC 300)

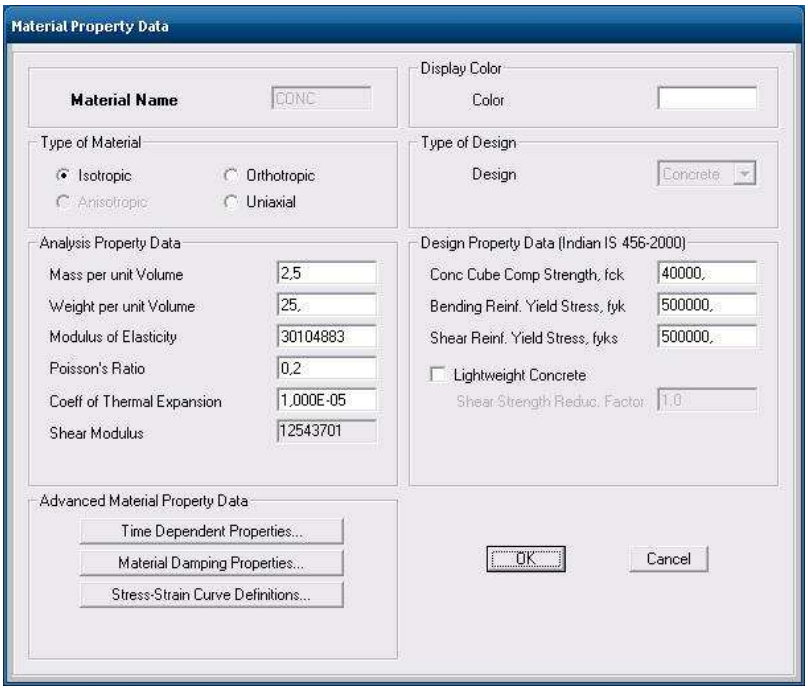


FIGURA 5-4: PROPRIEDADES DO CONCRETO (CONCRETO C40)

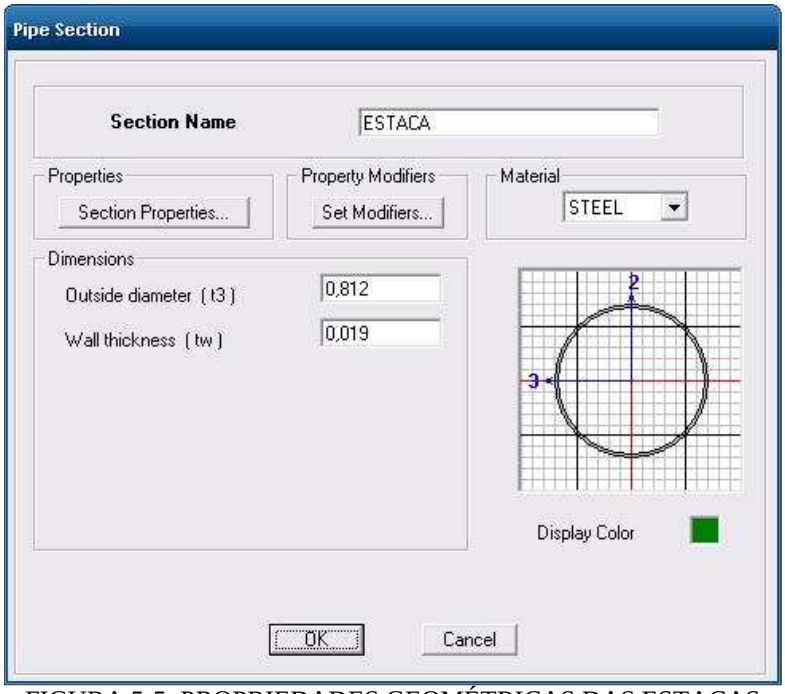


FIGURA 5-5: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS ESTACAS

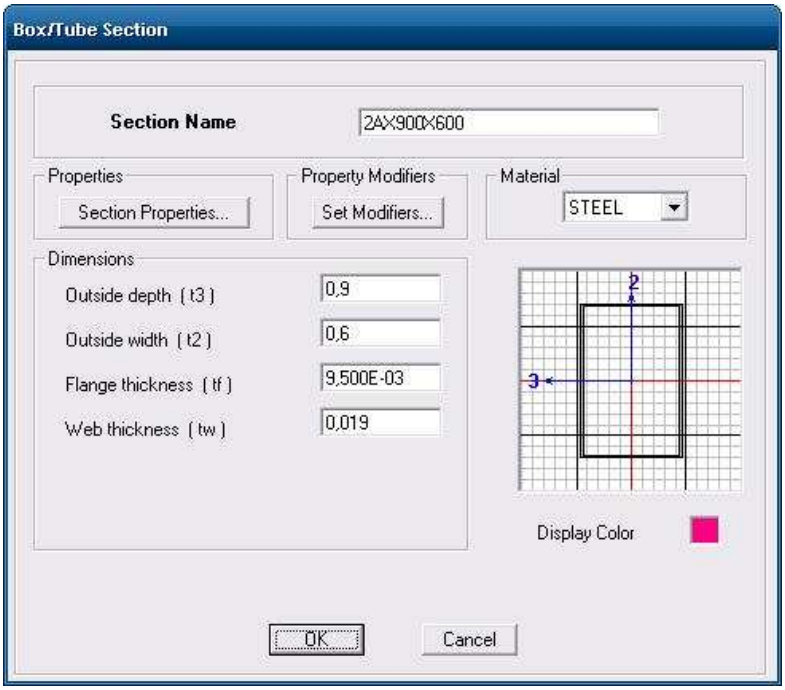


FIGURA 5-6: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS TRANSVERSAIS PRINCIPAIS DE 2 ALMAS, LOCALIZADAS NOS EIXOS 1 A 28.

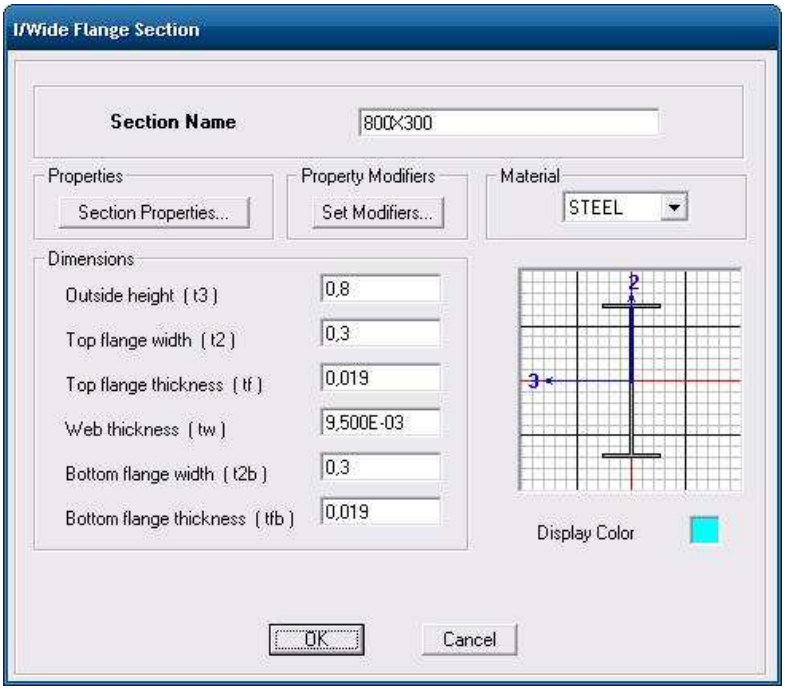


FIGURA 5-7: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS TRANSVERSAIS SECUNDÁRIAS.

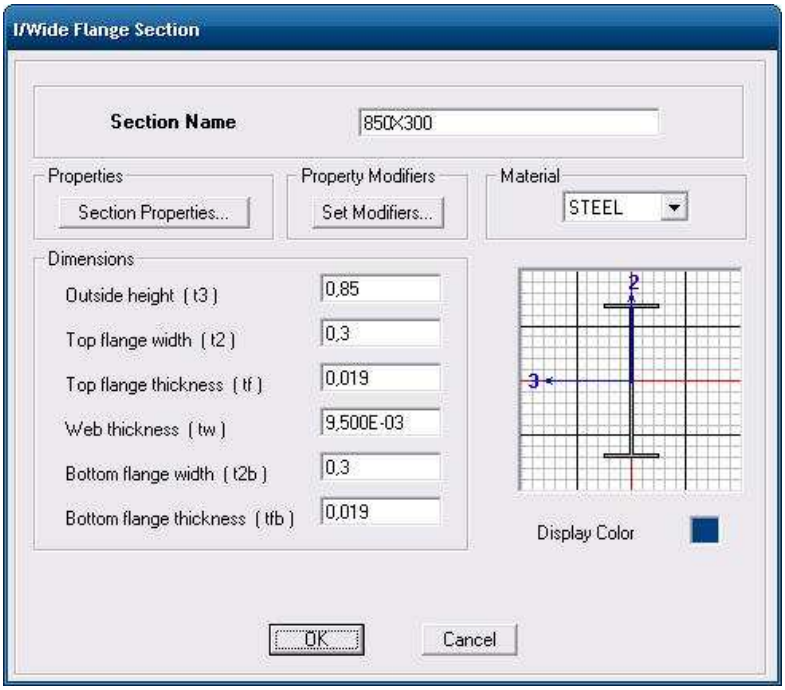


FIGURA 5-8: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS VIGAS LONGITUDINAIS PRINCIPAIS LOCALIZADAS NOS EIXOS W, X, Y, Z.

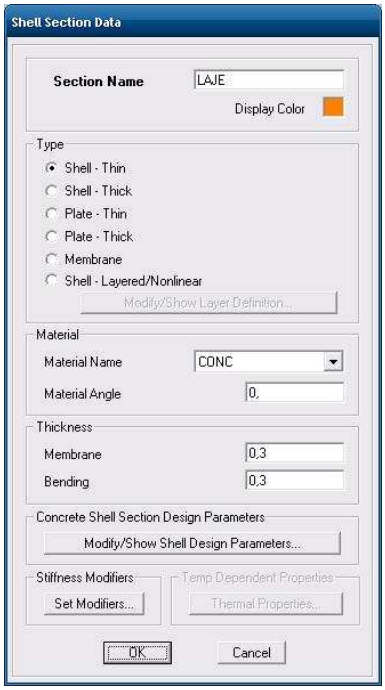


FIGURA 5-9: PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA LAJE.

Das figuras anteriores, pode-se perceber que as vigas da estrutura não foram modeladas como vigas mistas. A laje apóia-se nas vigas metálicas sem haver interação entre elas, contribuindo apenas com a sua rigidez no plano horizontal do píer.

5.3 CARREGAMENTOS

A seguir serão descritos os carregamentos atuantes no píer.

5.3.1 PESO PRÓPRIO (DEAD)

O carregamento de peso próprio é aplicado automaticamente pelo programa com base na definição dos materiais e geometria das peças apresentadas anteriormente.

5.3.2 SOBRECARGA CARACTERÍSTICA

A sobrecarga foi considerada no modelo de duas maneiras diferentes de forma a representar as reduções permitidas tanto para a verificação da carga de trabalho nas estacas (SC_EST) quanto para a verificação no Estado Limite Último da estrutura do píer (SC).

Foi adotada sobrecarga de 30 kN/m² com as seguintes reduções, de acordo com a NBR 9782 [6]:

- "*Para avaliação das cargas nos elementos suportes da fundação de estruturas, pode ser aplicado um coeficiente de 0,7 ao valor característico da sobrecarga vertical, coeficiente esse que representa a pequena probabilidade de ocorrência dessa sobrecarga, com seu valor máximo, em toda área de influência desse elemento suporte de fundação.*"
- "A *sobrecarga vertical atuando no interior do pórtico do equipamento e sob alcance da lança do mesmo é reduzida a 50% do seu valor característico.*"
- *"Não deve ser considerada a aplicação simultânea de sobrecargas verticais numa faixa com uma largura de 1,0m para cada lado de trilhos ocupados por composições ferroviárias ou equipamentos de manuseio."*
- *"Na área compreendida entre o trilho externo do guindaste e o paramento do cais, a sobrecarga uniformemente distribuída pode ser reduzida a 40% do seu valor, não sendo porém considerado um valor inferior a 10kN/m²"*

Embora alguns autores e engenheiros adotem a primeira redução listada acima para a sobrecarga característica tanto para a verificação da carga de trabalho quanto para a verificação estrutural nos Estados Limites Últimos, não foi adotada esta redução de sobrecarga na verificação estrutural da estaca, com o intuito de não gerar discordâncias com as normalizações estrangeiras adotadas neste projeto.

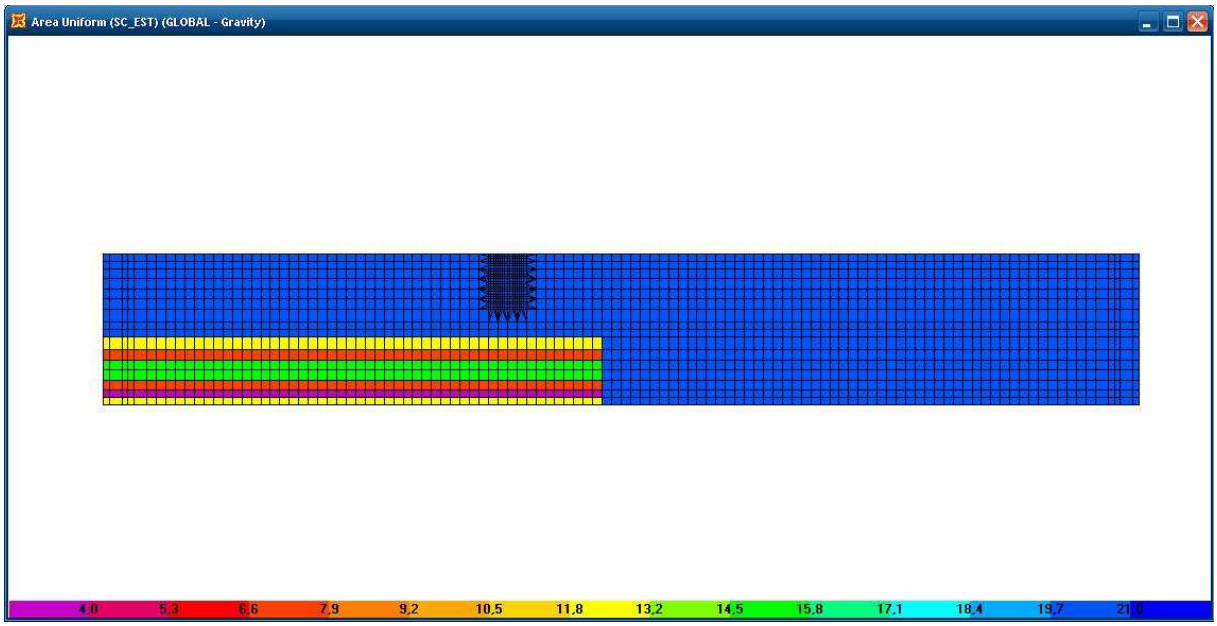


FIGURA 5-10: DETALHE DA APLICAÇÃO DA SOBRECARGA DISTRIBUÍDA COM AS REDUÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO DA CARGA DE TRABALHO DAS ESTACAS (kN/m^2).

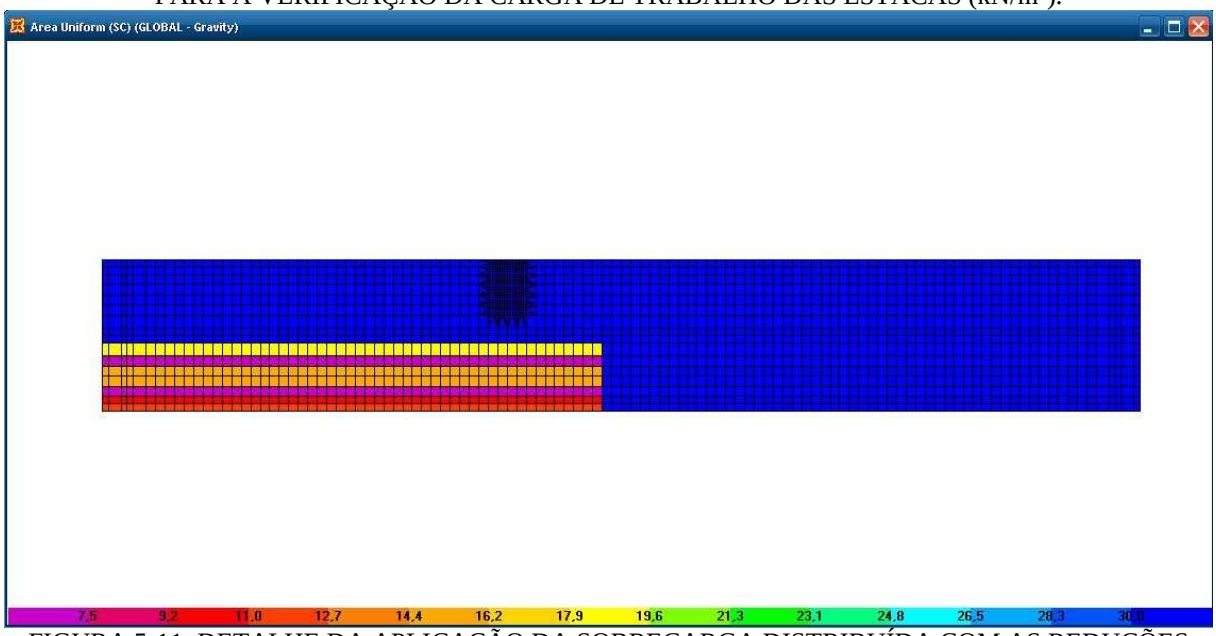


FIGURA 5-11: DETALHE DA APLICAÇÃO DA SOBRECARGA DISTRIBUÍDA COM AS REDUÇÕES PARA A VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO PÍER (kN/m2).

5.3.3 TEMPERATURA (TEMP(+), TEMP(-))

Foi considerada uma variação de temperatura de 15°C no carregamento TEMP(+) e uma variação de temperatura de -15°C no carregamento TEMP(-).

A variação térmica foi aplicada apenas na laje e nas vigas, não sendo aplicado nas estacas por considerar que a sombra da laje e o contato com a água faz com que o efeito térmico seja minimizado.

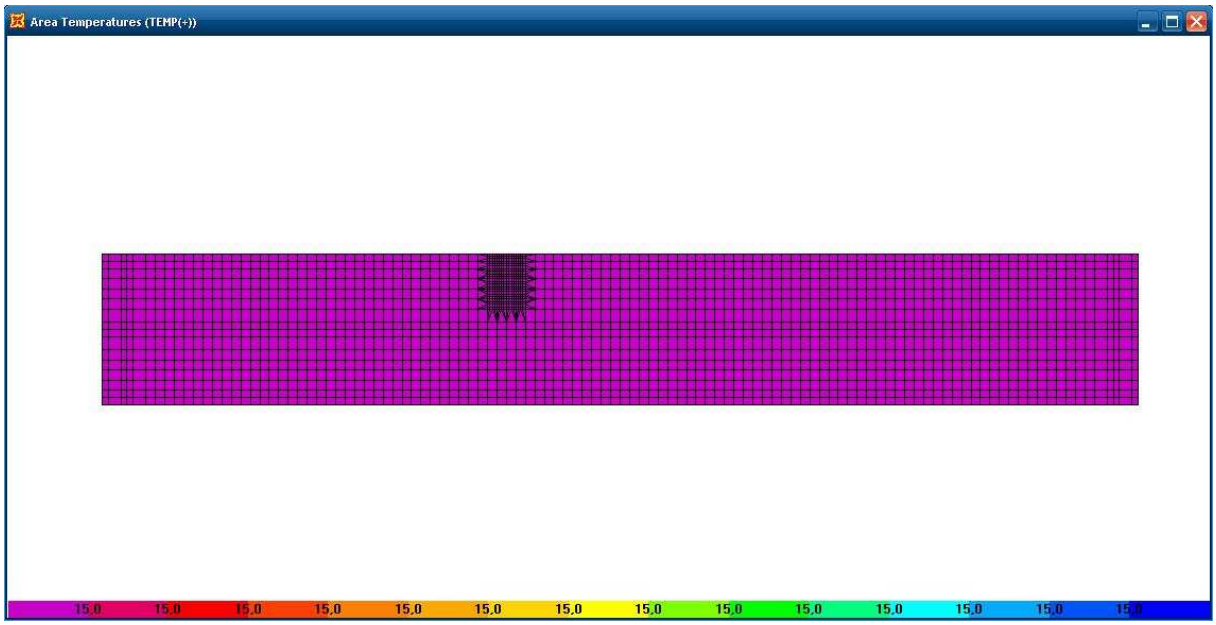


FIGURA 5-12: DETALHE DA APLICAÇÃO DA VARIAÇÃO TÉRMICA DE + 15 ºC (ºC)

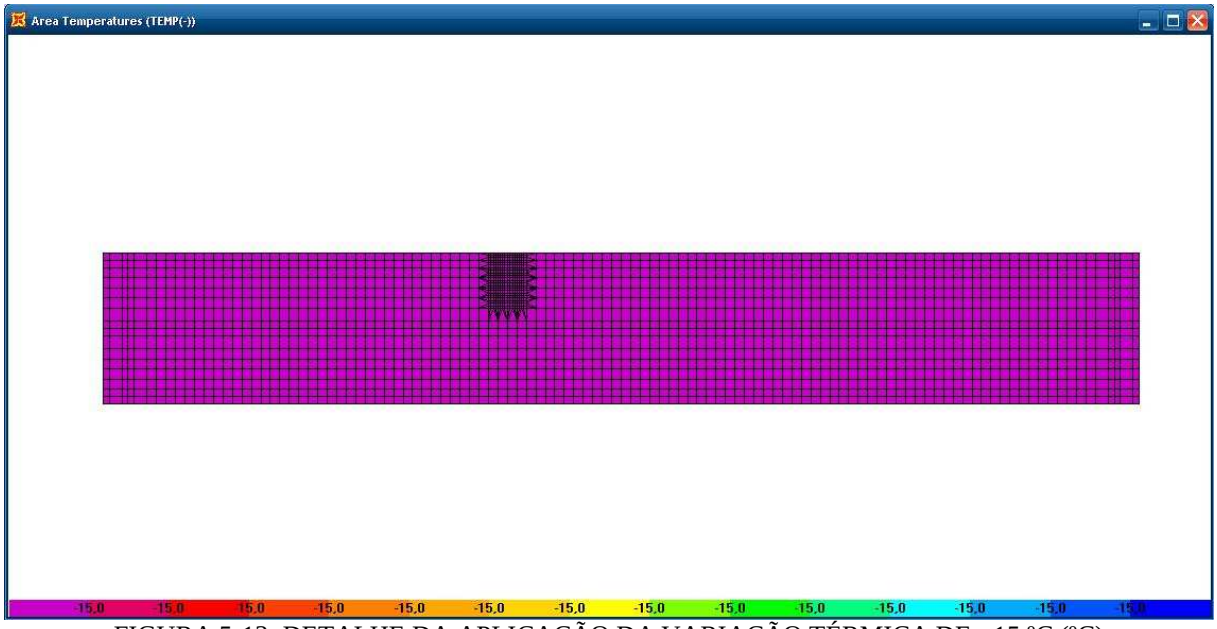


FIGURA 5-13: DETALHE DA APLICAÇÃO DA VARIAÇÃO TÉRMICA DE - 15 ºC (ºC)

O carregamento de temperatura foi aplicado pelo programa SAP2000 na forma de variação de temperatura do tipo expansão/contração na estrutura.

5.3.4 ATRACAÇÃO

O píer do projeto em questão possui dois berços de atracação, externo e interno. A seguir, será apresentado o cálculo da energia de atracação característica para cada navio de projeto.

O cálculo da energia de atracação será feito de acordo com o prescrito na PIANC [8] (cálculo baseado na formulação proposta por Vasco Costa). A formulação será apresentada a

seguir e a energia de atracação para cada navio de projeto será apresentado na forma de planilha.

O cálculo da energia de atracação é baseado na fórmula da energia cinética adotando ajustes por meio de parâmetros de correção.

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \cdot Ce \cdot Cm \cdot Cs \cdot Cc$$

Onde:

$E =$ energia de atracação do navio (em kNm);

$M =$ massa deslocada pelo navio (deslocamento, em toneladas);

$v =$ velocidade de aproximação do navio perpendicular ao alinhamento do píer (m/s);

$Ce =$ coeficiente de excentricidade;

$Cm =$ coeficiente de massa virtual;

$Cs =$ coeficiente de rigidez;

$Cc =$ coeficiente de configuração do berço de atracação ou coeficiente de amortecimento.

O coeficiente de excentricidade (Ce) pode ser calculado como:

$$Ce = \frac{K^2 + K^2 \cdot \cos^2(\varphi)}{K^2 + R^2}$$

Onde:

$K =$ raio de giração do navio (m);

$R =$ distância do ponto de contato ao centro de massa do navio, medido paralelo ao alinhamento do píer (m);

$\varphi =$ ângulo entre o vetor velocidade e a linha entre o ponto de contato e o centro de massa do navio.

A PIANC [8] permite por simplicidade assumir $\varphi = 90°$. Sendo assim, o coeficiente de excentricidade pode ser simplificado para:

$$Ce = \frac{K^2}{K^2 + R^2}$$

Para o tipo de píer adotado no projeto conceitual, é recomendado tomar o raio de giração como $1/4$ do comprimento do navio.

Como o ângulo entre o costado do navio e o alinhamento do píer é pequeno para atracações normais, a distância entre o ponto de contato e o centro de massa do navio passa a

ser aproximadamente igual ao raio de giração do navio. Neste caso podemos simplificar o coeficiente de excentricidade por $Ce = 0{,}50$.

O coeficiente de massa virtual (Cm) pode ser calculado como:

$$Cm = 1 + \frac{2D}{B}$$

Onde:

$D =$ calado do navio (m);

$B =$ boca do navio (m).

Este coeficiente de massa virtual representa o acréscimo de massa causado pelo deslocamento de água na movimentação do navio.

O coeficiente de rigidez (Cs) representa a rigidez relativa entre o dispositivo de defensa e o costado do navio.

Este valor caracteriza a parcela da energia que é perdida na forma de deformação do costado do navio, em função da rigidez do material da defensa.

A PIANC [8] estabelece que o valor de Cs deve ser tomado entre 0,9 e 1,0. Para este projeto conceitual, foi adotado o valor de 1,0.

O coeficiente de configuração do berço de atracação (Cc) representa a distinção entre píer aberto, cais semi-aberto e cais fechado. Este coeficiente representa o amortecimento e a dissipação de energia que a água entre o navio e a parede do cais causa para uma situação de cais fechado.

A PIANC [8] estabelece os valores de 1,0 para píer aberto, 0,9 para cais semi-aberto e 0,8 para cais fechado.

Por se tratar de um píer, será adotado $Cc = 1{,}0$.

Para a escolha da defensa, essa energia de atracação calculada deve ser majorada por um coeficiente de segurança. Será adotado neste projeto conceitual o coeficiente de majoração da energia de atracação de 1,4, em acordo com a variabilidade dos coeficientes de majoração permitida pela PIANC [8] e o valor adotado pela NBR 9782 [6].

Para o cálculo da reação da defensa serão consideradas as defensas do tipo *CONE FENDER* da Ando Marine Systems. Estas defensas chinesas foram consideradas durante os trabalhos do projeto conceitual por se tratarem de defensas de custo mais baixo que as concorrentes do mercado.

BERÇO EXTERNO

Navio de Contentores de 60.000TPB

Berthing Energy Calculation					
Vessel Type	Container				(Please scroll down to select vessel type)
Data Given	Dead Weight (t)		60000		(Please scroll down to select type of data given and key in data)
Length	L=	293,281 m			
Breadth	B =	36,525 m			
Depth	D =	23,356 m			
Draft (Full)	d =	13,084 m			
Displacement (Full)	DT =	83120,576 t			
Length PP	Lpp =	276,335 m			
Dead Weight	DWT =	60000,00 t		(For 1694DWT - 59804DWT)*	
Gross Ton	GT =	70591,067 t			
Berthing Speed	v =	0,10 m/s			
Berthing Method	1/4 Berthing				(Please scroll down to select berthing method)
l =	73,32 m				
r =	73,32 m				
Eccentricity Factor	Ce =	0,50			
Mass Coefficient	Cm =	1,72			
Configuration Coefficient	Cc =	1,00		(Open Pier =1.0, Semi Closed Pier = 0.9, Closed Pier = 0.8)	
Softness Coefficient	Cs =	1,00			
Berthing Energy (Vasco Costa)	**E =**	**356,68 kN-m**	**or**	**E =**	**36,36 t-m**

FIGURA 5-14: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE CONTENTORES DE 60.000 TPB.

Energia de Cálculo: Ed = 1,4*E = 499,35 kNm

Navio de Granéis Líquidos de 75.000TPB

Berthing Energy Calculation					
Vessel Type	Oil Tanker				(Please scroll down to select vessel type)
Data Given	Dead Weight (t)		75000		(Please scroll down to select type of data given and key in data)
Length	L=	227,358 m			
Breadth	B =	37,923 m			
Depth	D =	19,388 m			
Draft (Full)	d =	13,224 m			
Displacement (Full)	DT =	89225,023 t			
Length PP	Lpp =	216,335 m			
Dead Weight	DWT =	75000,00 t		(For 3332DWT - 550000DWT)*	
Gross Ton	GT =	45688,834 t			
Berthing Speed	v =	0,10 m/s			
Berthing Method	1/4 Berthing				(Please scroll down to select berthing method)
l =	56,84 m				
r =	56,84 m				
Eccentricity Factor	Ce =	0,50			
Mass Coefficient	Cm =	1,70			
Configuration Coefficient	Cc =	1,00		(Open Pier =1.0, Semi Closed Pier = 0.9, Closed Pier = 0.8)	
Softness Coefficient	Cs =	1,00			
Berthing Energy (Vasco Costa)	**E =**	**378,63 kN-m**	**or**	**E =**	**38,60 t-m**

FIGURA 5-15: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE GRANÉIS LÍQUIDOS DE 75.000 TPB.

Energia de Cálculo: Ed = 1,4*E = 530,08 kNm

Navio Graneleiros de 75.000TPB

Berthing Energy Calculation					
Vessel Type	Bulk Carrier				*(Please scroll down to select vessel type)*
Data Given	Dead Weight (t)		75000		*(Please scroll down to select type of data given and key in data)*
Length	L=	230,126 m			
Breadth	B =	35,797 m			
Depth	D =	19,184 m			
Draft (Full)	d =	13,244 m			
Displacement (Full)	DT =	88243,321 t			
Length PP	Lpp =	220,218 m			
Dead Weight	DWT =	75000,00 t		*(For 2100DWT - 224222DWT)**	
Gross Ton	GT =	44106,078 t			
Berthing Speed	v =	0,10 m/s			
Berthing Method	1/4 Berthing				*(Please scroll down to select berthing method)*
l =	57,53 m				
r =	57,53 m				
Eccentricity Factor	Ce =	0,50			
Mass Coefficient	Cm =	1,74			
Configuration Coefficient	Cc =	1,00		*(Open Pier =1.0, Semi Closed Pier = 0.9, Closed Pier = 0.8)*	
Softness Coefficient	Cs =	1,00			
Berthing Energy (Vasco Costa)	**E =**	**383,85 kN-m**	**or**	**E =**	**39,13 t-m**

FIGURA 5-16: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO EXTERNO CONSIDERANDO NAVIO GRANELEIRO DE 75.000 TPB.

Energia de Cálculo: Ed = 1,4*E = 537,39 kNm

A energia de cálculo máxima para o berço externo é de 537,39 kNm.

Para este valor de energia de atracação de cálculo, utilizaremos a defensa *CONE FENDER* CN1150 da AMDO, que possui uma reação característica de 1038 kN (ver ANEXO A).

BERÇO INTERNO

Navio de Carga Geral de 10.000TPB

Berthing Energy Calculation					
Vessel Type	General Cargo				*(Please scroll down to select vessel type)*
Data Given	Dead Weight (t)		10000		*(Please scroll down to select type of data given and key in data)*
Length	L=	125,156 m			
Breadth	B =	19,899 m			
Depth	D =	10,515 m			
Draft (Full)	d =	7,657 m			
Displacement (Full)	DT =	13707,461 t			
Length PP	Lpp =	116,817 m			
Dead Weight	DWT =	10000,00 t		*(For 2999DWT - 22597DWT)**	
Gross Ton	GT =	6188,198 t			
Berthing Speed	v =	0,20 m/s			
Berthing Method	1/4 Berthing				*(Please scroll down to select berthing method)*
l =	31,29 m				
r =	31,29 m				
Eccentricity Factor	Ce =	0,50			
Mass Coefficient	Cm =	1,77			
Configuration Coefficient	Cc =	1,00		*(Open Pier =1.0, Semi Closed Pier = 0.9, Closed Pier = 0.8)*	
Softness Coefficient	Cs =	1,00			
Berthing Energy (Vasco Costa)	**E =**	**242,56 kN-m**	**or**	**E =**	**24,73 t-m**

FIGURA 5-17: PLANILHA DE CÁLCULO DA ENERGIA DE ATRACAÇÃO E REAÇÃO DAS DEFENSAS PARA O BERÇO INTERNO CONSIDERANDO NAVIO DE CARGA GERAL DE 10.000 TPB.

Energia de Cálculo: Ed = 1,4*E = 339,58 kNm

A energia de cálculo máxima para o berço interno é de 339,58 kNm.

Para este valor de energia de atracação de cálculo, utilizaremos a defensa *CONE FENDER* CN1000 da AMDO, que possui uma reação característica de 784 kN (ver ANEXO A).

As forças de atracação foram aplicadas em duas posições diferentes para o berço externo e em uma posição diferente para o berço interno, conforme apresentado a seguir:

ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (ATRACA_EXT01)

Atracação no berço externo na extremidade leste do píer (sentido positivo do eixo X). Força nodal aplicada no sentido positivo do eixo Y.

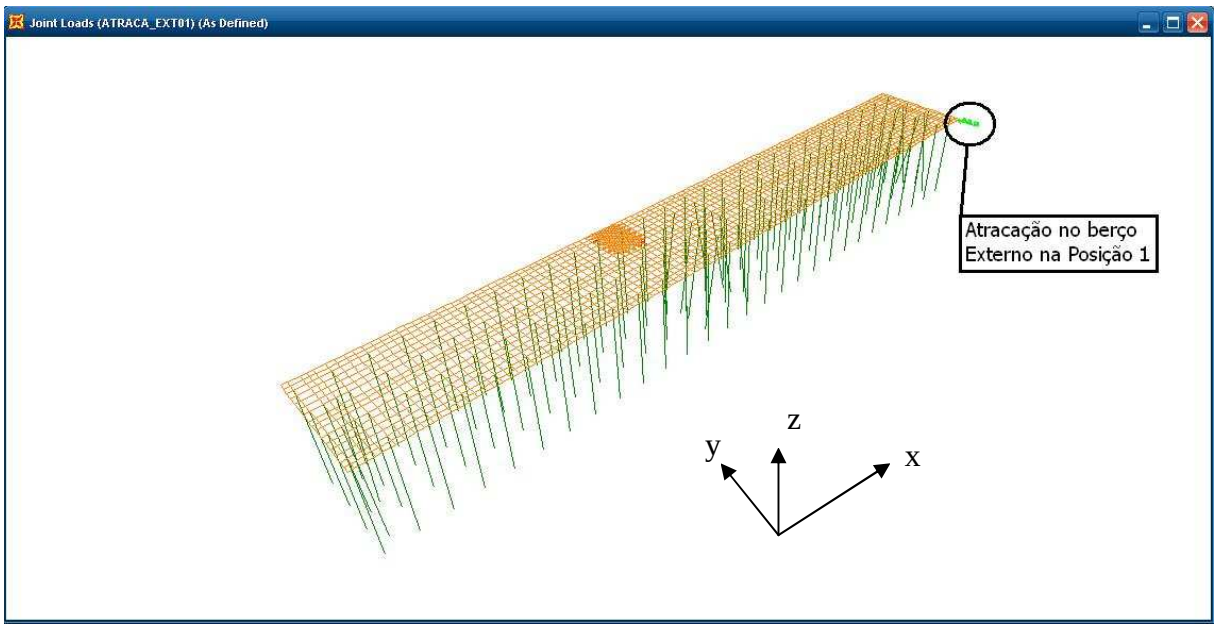


FIGURA 5-18: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO EXTERNO NA EXTREMIDADE LESTE DO PÍER.

ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (ATRACA_EXT02)

Atracação no berço externo no meio do píer. Força nodal aplicada no sentido positivo do eixo Y.

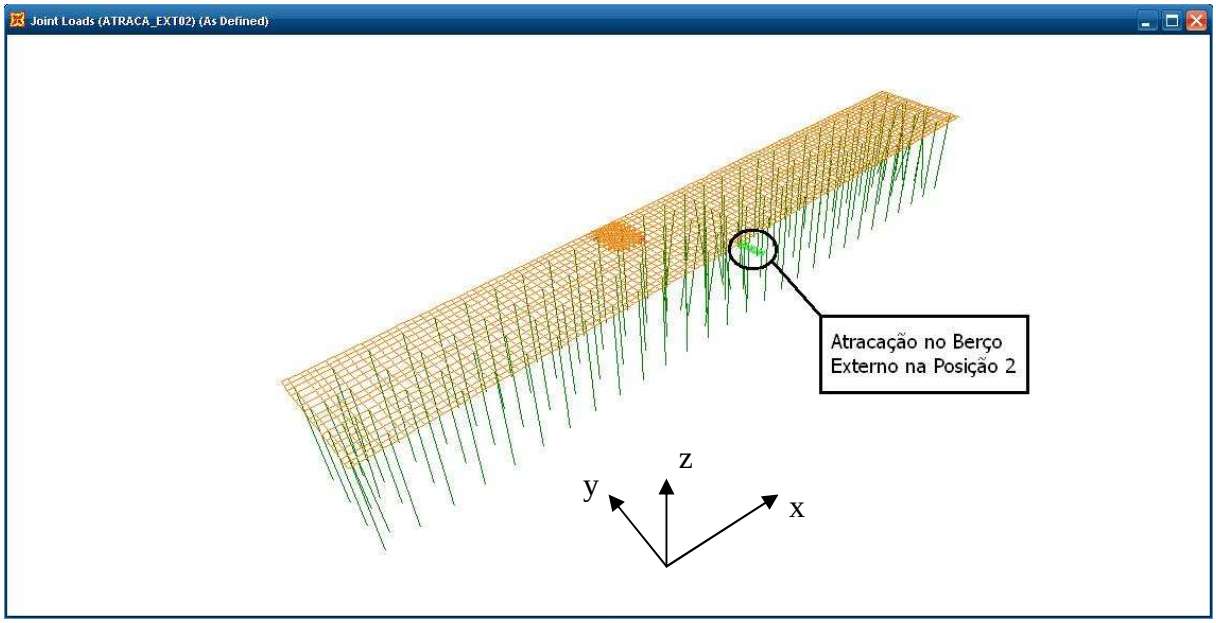


FIGURA 5-19: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO EXTERNO NO MEIO DO PÍER.

A verificação e o dimensionamento das estacas inclinadas transversalmente ao píer são feitos pelos piores esforços dentre as estacas dos dois grupos de estacas inclinadas (um

grupo em cada extremidade do píer). Deste modo, não foi adotada uma atracação na extremidade oeste do píer (sentido negativo do eixo X) por considerarmos que a ação simultânea de uma atracação que ocorra na extremidade do píer tem uma probabilidade de ocorrência muito pequena de acontecer concomitantemente com os esforços horizontais transversais do carregador de navios, que são provocados basicamente pela ação do vento, justamente quando ele estiver na mesma extremidade do píer no ato da atracação.

ATRACAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 01 (ATRACA_INT01)

Atracação no berço interno na extremidade leste do píer (sentido positivo do eixo X). Força nodal aplicada no sentido negativo do eixo Y.

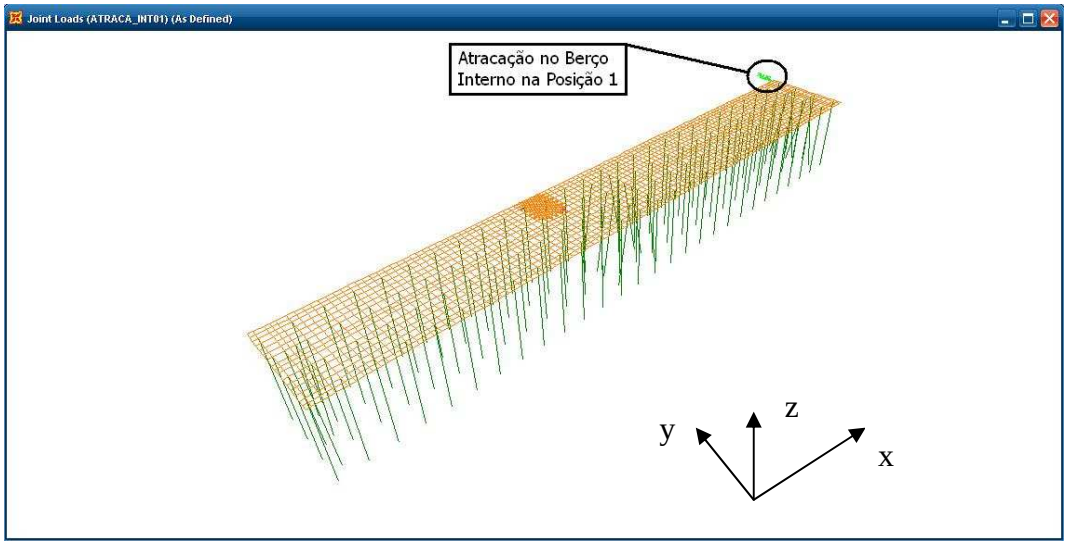


FIGURA 5-20: CARGA DE ATRACAÇAO NO BERÇO INTERNO NA EXTREMIDADE LESTE DO PÍER.

5.3.5 AMARRAÇÃO

Foram adotados cabeços de 1000kN de capacidade de amarração para o berço externo e cabeços de 300kN de capacidade de amarração para o berço interno de acordo com o mínimo recomendado na tabela 5 da NBR 9782 [6].

TABELA 5 - Tração mínima nos dispositivos de amarração

unid: kN

Deslocamento	Tração nos cabeços
até 20.000	100
até 100.000	300
até 200.000	600
até 500.000	800
até 1.000.000	1.000
até 2.000.000	1.500
> 2.000.000	2.000

TABELA 5-1: TABELA 5 DA NBR 9782 [6].

Foram aplicadas duas cargas de amarração no berço externo e duas cargas de amarração no berço interno, conforme apresentado a seguir:

AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_EXT01)

Amarração no berço externo, perpendicular a linha de atracação do píer. Forças nodais de 1000kN aplicadas no sentido negativo do eixo Y, representando os cabos de amarração transversais (cabos de través) de polpa e proa do navio (parte da frente e parte de trás do navio, respectivamente).

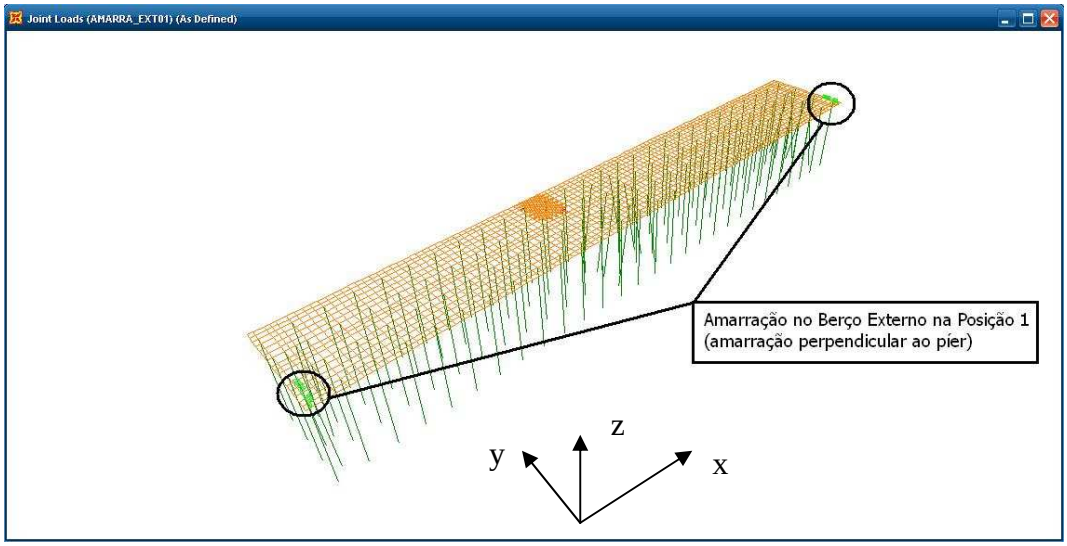


FIGURA 5-21: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, PERPENDICULAR A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER.

AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_EXT02)

Amarração no berço externo, paralelo a linha de atracação do píer, tracionando em direção a extremidade leste do píer (sentido positivo do eixo X). Força nodal de 1000kN aplicada no sentido positivo do eixo X, representando um cabo de amarração longitudinal (cabo de espringue) do navio.

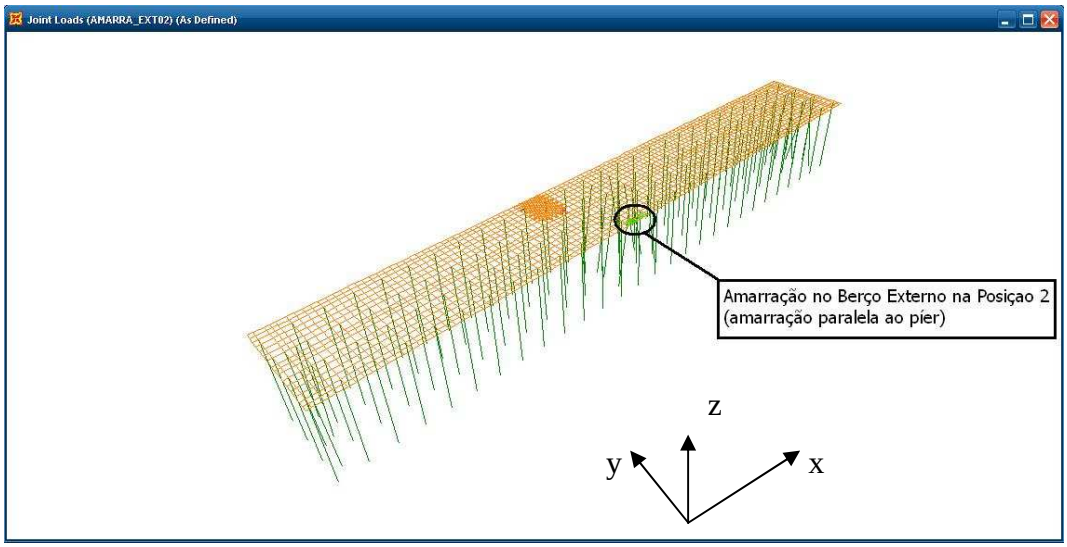


FIGURA 5-22: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, PARALELO A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER.

AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_INT01)

Amarração no berço interno, perpendicular a linha de atracação do píer. Forças nodais de 300kN aplicadas no sentido positivo do eixo Y, representando os cabos de amarração transversais (cabos de través) de polpa e proa do navio (parte da frente e parte de trás do navio, respectivamente).

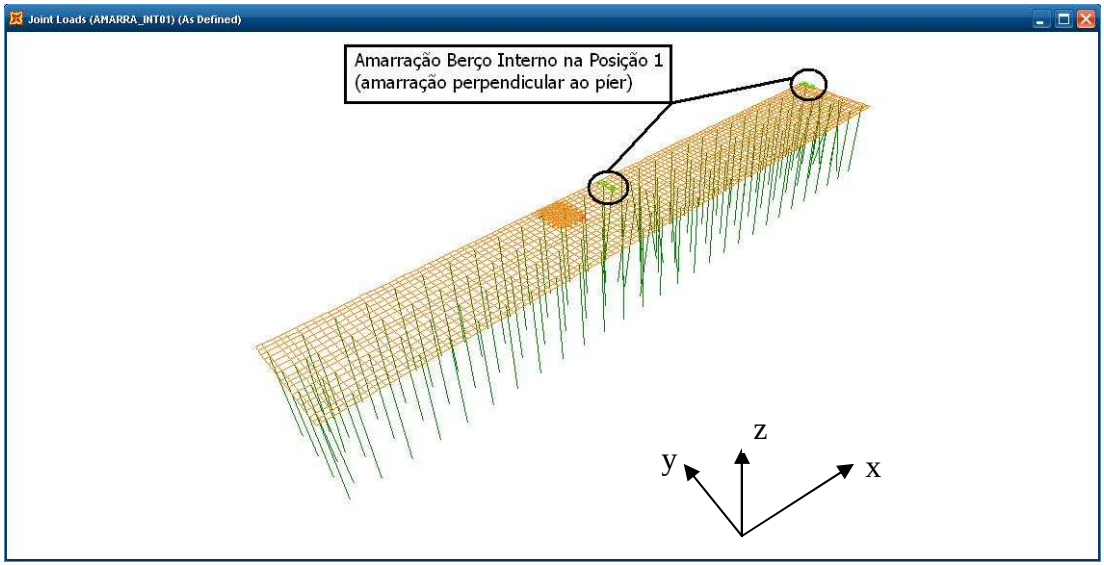


FIGURA 5-23: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO INTERNO, PERPENDICULAR A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER.

AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_INT02)

Amarração no berço interno, paralelo a linha de atracação do píer, tracionando em direção a extremidade leste do píer (sentido positivo do eixo X). Força nodal de 300kN aplicada no sentido positivo do eixo X, representando um cabo de amarração longitudinal (cabo de espringue) do navio.

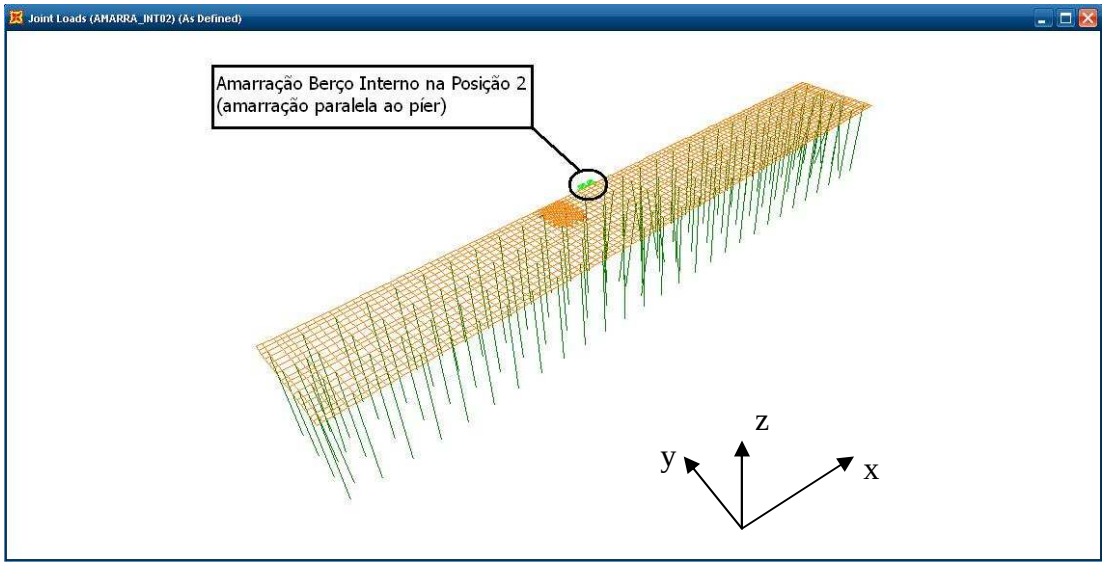


FIGURA 5-24: CARGA DE AMARRAÇÃO NO BERÇO INTERNO, PARALELO A LINHA DE ATRACAÇÃO DO PÍER.

5.3.6 CARREGADOR DE NAVIOS (CARREG01, CARREG02)

Os carregamentos oriundos do carregador de navios foram aplicados conforme trem-tipo apresentado no capítulo 2.

CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 1 (CARREG01)

Foi considerado o carregador de navios operando na extremidade oeste do píer (sentido negativo do eixo X) com sua carga horizontal longitudinal apontando para leste do píer (sentido positivo do eixo X) e sua carga horizontal transversal apontando para o sul do píer (sentido negativo do eixo Y).

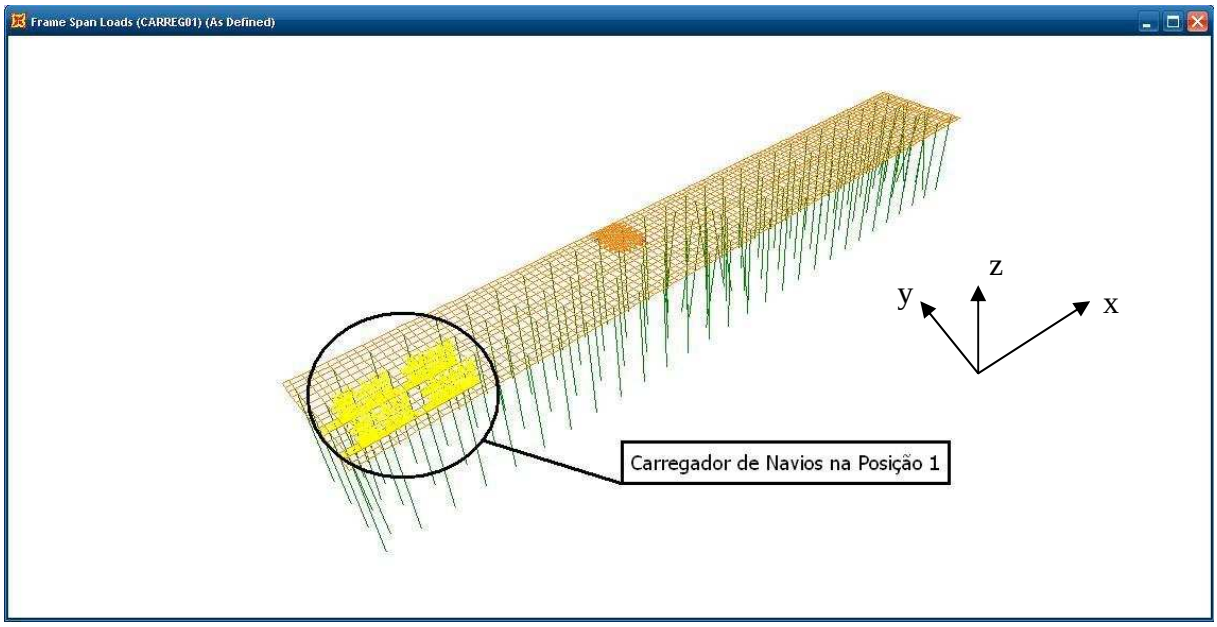


FIGURA 5-25: CARREGADOR DE NAVIOS NA EXTREMIDADE OESTE DO PÍER.

CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 2 (CARREG02)

Foi considerado o carregador de navios operando no meio do píer (extremidade leste do trilho) com sua carga horizontal longitudinal apontando para leste do píer (sentido positivo do eixo X) e sua carga horizontal transversal apontando para o norte do píer (sentido positivo do eixo Y).

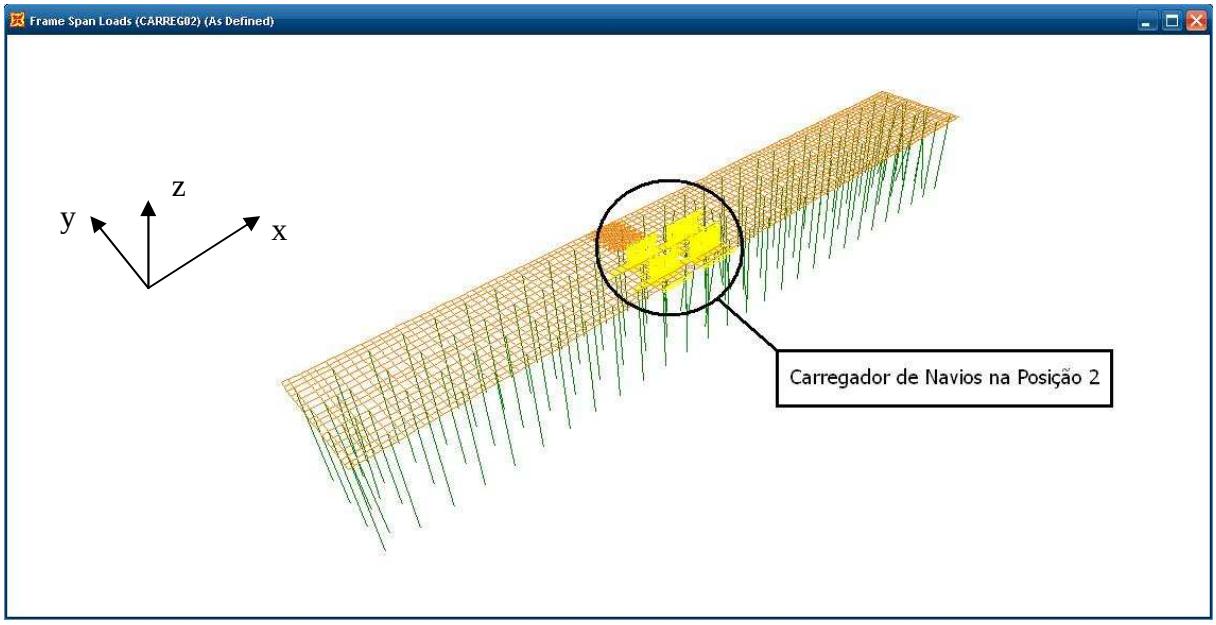


FIGURA 5-26: CARREGADOR DE NAVIOS NO MEIO DO PÍER (EXTREMIDADE LESTE DO TRILHO).

6 ANÁLISE ESTRUTURAL

Serão apresentados os resultados da análise estrutural do modelo numérico pelo programa SAP 2000 para cada caso de carga. Posteriormente serão apresentadas as combinações de carga para a verificação da carga de trabalho nas estacas e a carga estrutural com os esforços concomitantes para a verificação estrutural da estaca.

6.1 ANÁLISE DOS ESFORÇOS

A intenção desta etapa da análise é apresentar os diagramas de esforços normais para cada caso de carga apresentado com a finalidade de verificar se a apresentação dos esforços no modelo numérico está coerente com o esperado (forma como o diagrama de esforços normais é esperado).

6.1.1 PESO PRÓPRIO (DEAD)

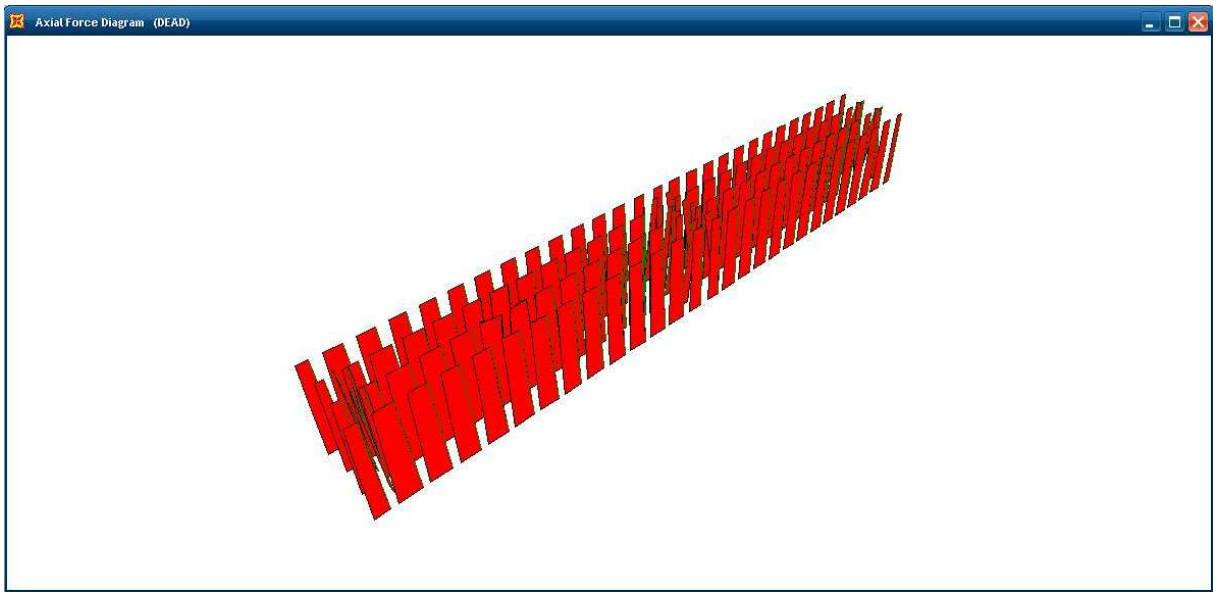


FIGURA 6-1: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA O CARREGAMENTO DE PESO PRÓPRIO.

6.1.2 SOBRECARGA (SC_EST)

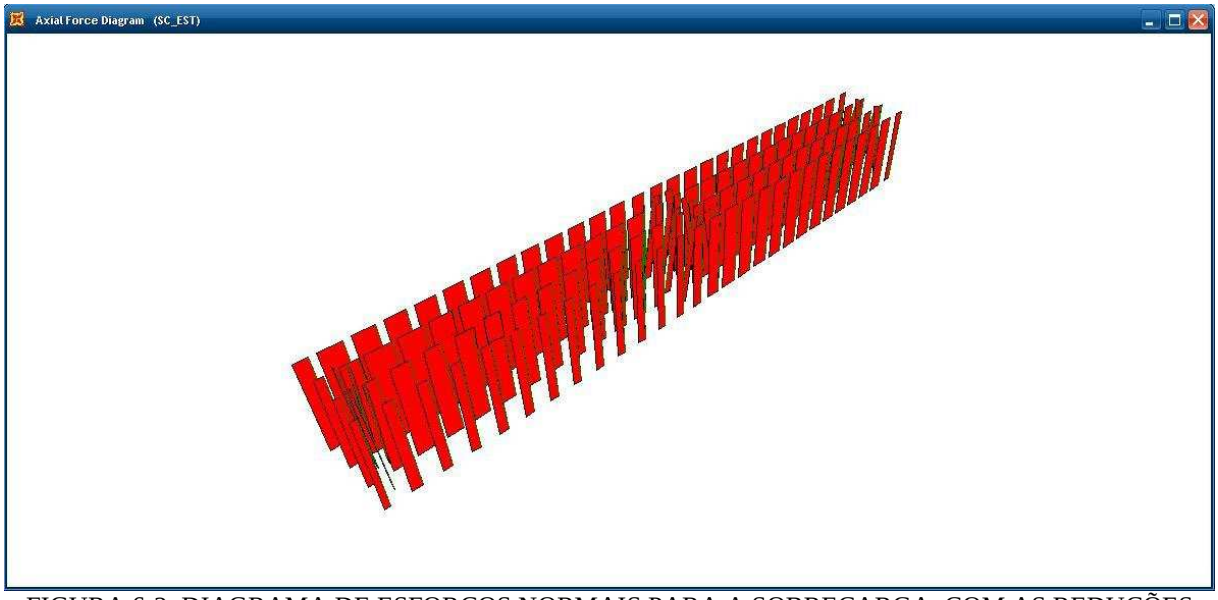


FIGURA 6-2: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA A SOBRECARGA, COM AS REDUÇÕES PREVISTAS NA NBR 9782 [6] PARA A VERIFICAÇÃO DA CARGA DE TRABALHO NAS ESTACAS.

6.1.3 SOBRECARGA (SC)

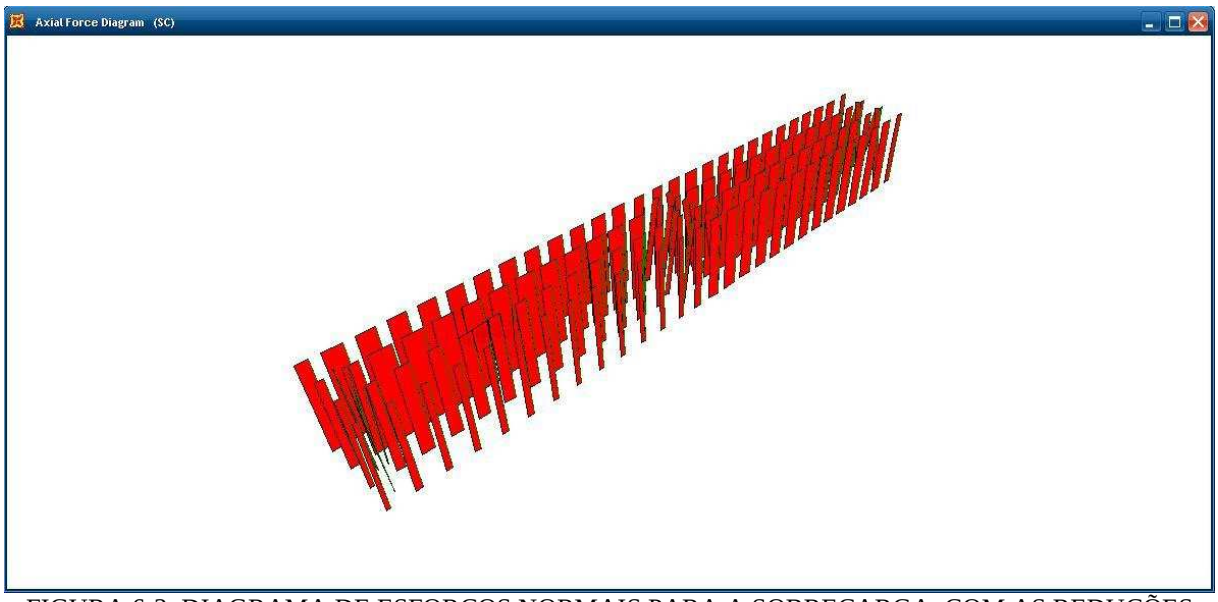


FIGURA 6-3: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS PARA A SOBRECARGA, COM AS REDUÇÕES PREVISTAS NA NBR 9782 [6] PARA A VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS ESTACAS.

6.1.4 TEMPERATURA – VARIAÇÃO POSITIVA (TEMP(+))

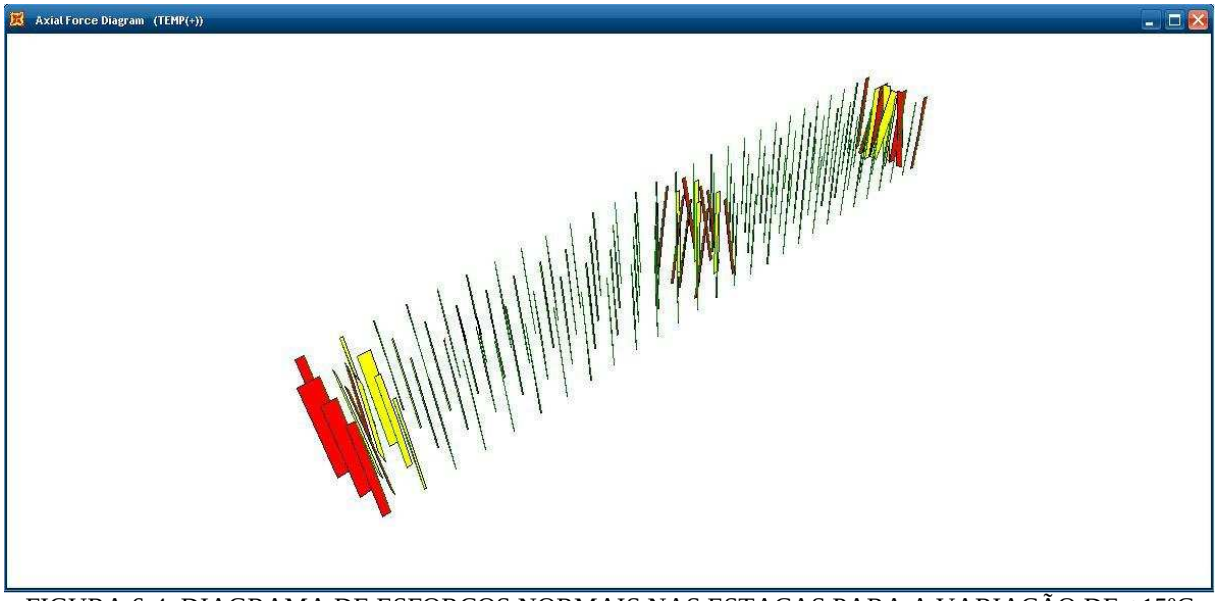


FIGURA 6-4: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A VARIAÇÃO DE +15ºC DA SUPERESTRUTURA.

6.1.5 TEMPERATURA – VARIAÇÃO NEGATIVA (TEMP(-))

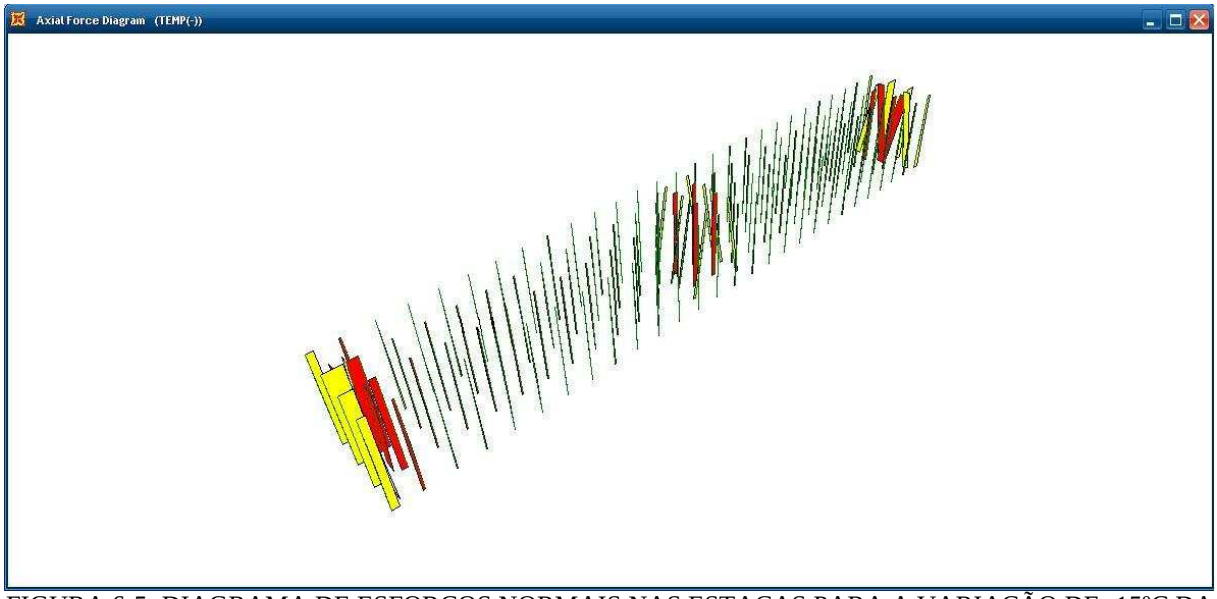


FIGURA 6-5: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A VARIAÇÃO DE -15ºC DA SUPERESTRUTURA.

6.1.6 ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (ATRACA_EXT01)

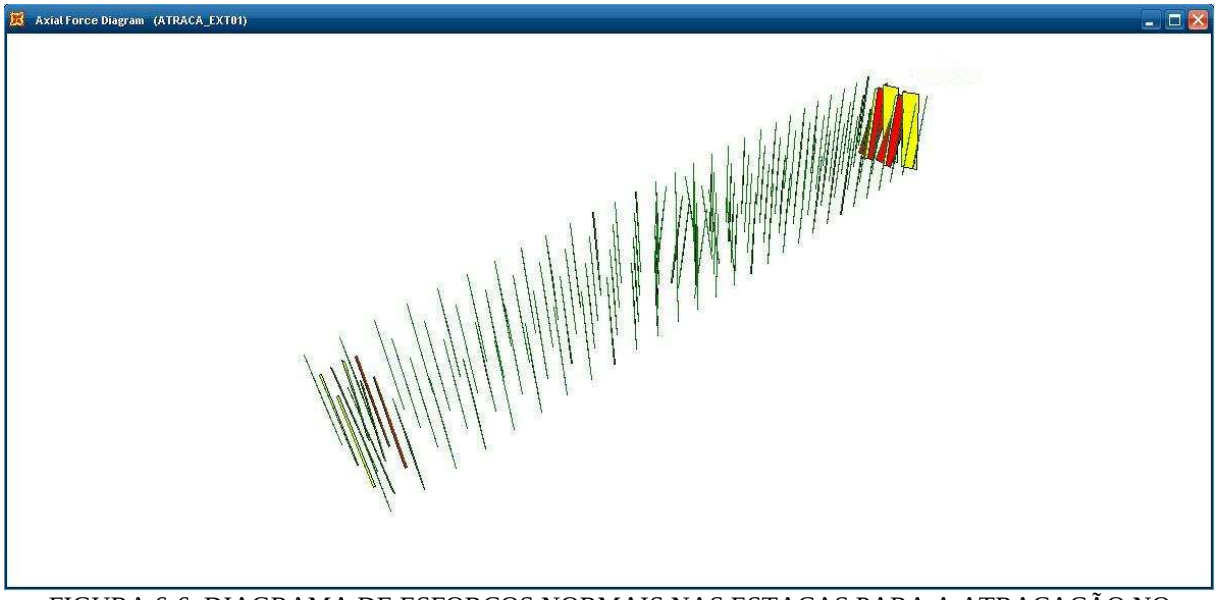


FIGURA 6-6: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 01.

6.1.7 ATRACAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (ATRACA_EXT02)

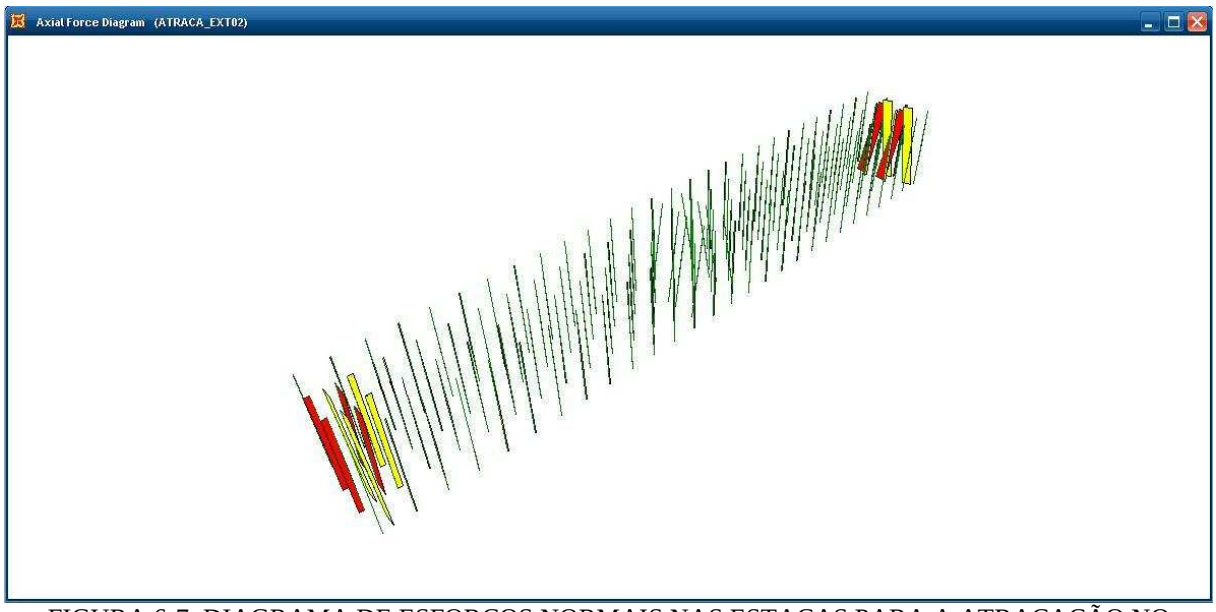


FIGURA 6-7: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 02.

6.1.8 ATRACAÇÃO INTERNANA POSIÇÃO 01 (ATRACA_INT01)

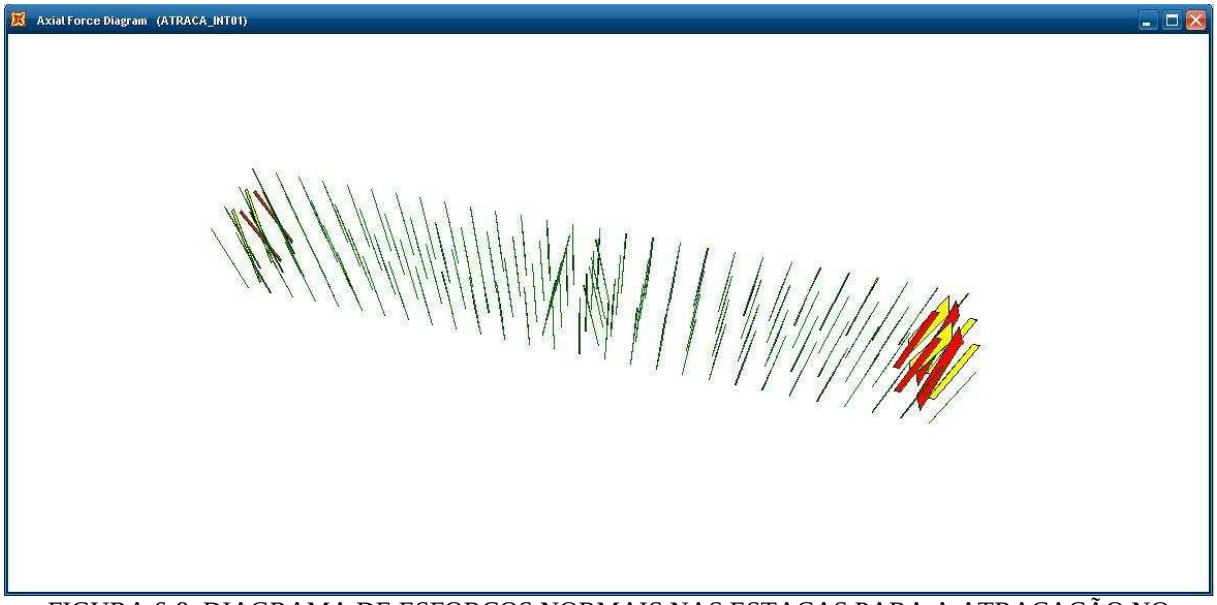


FIGURA 6-8: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A ATRACAÇÃO NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 01.

6.1.9 AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_EXT01)

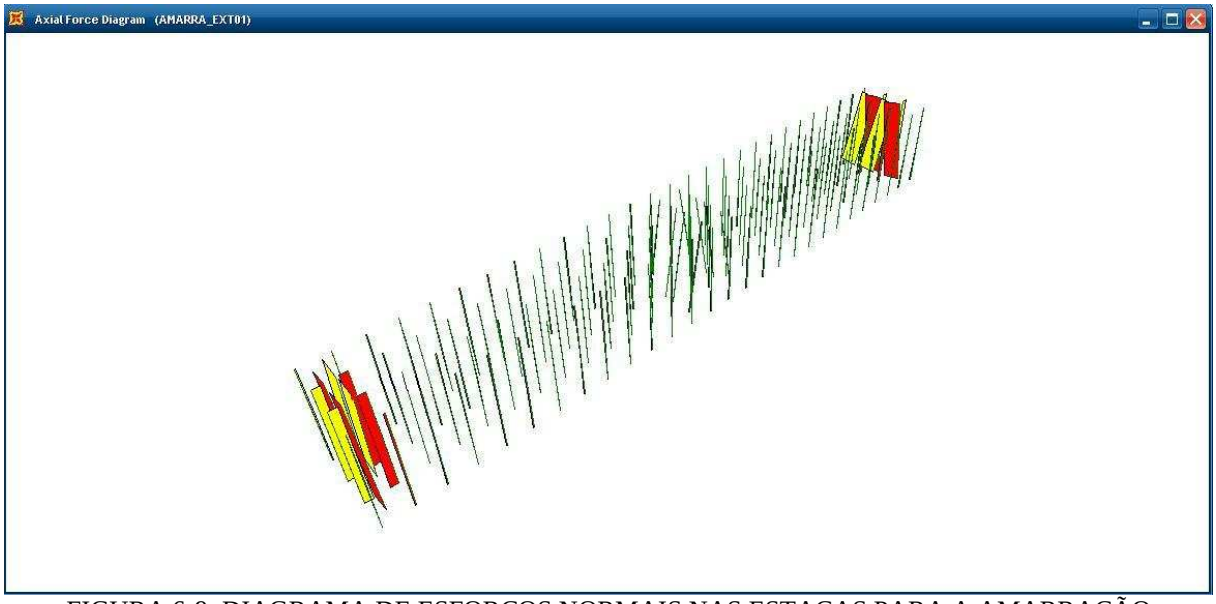


FIGURA 6-9: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PERPENDICULAR NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 01.

6.1.10 AMARRAÇÃO EXTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_EXT02)

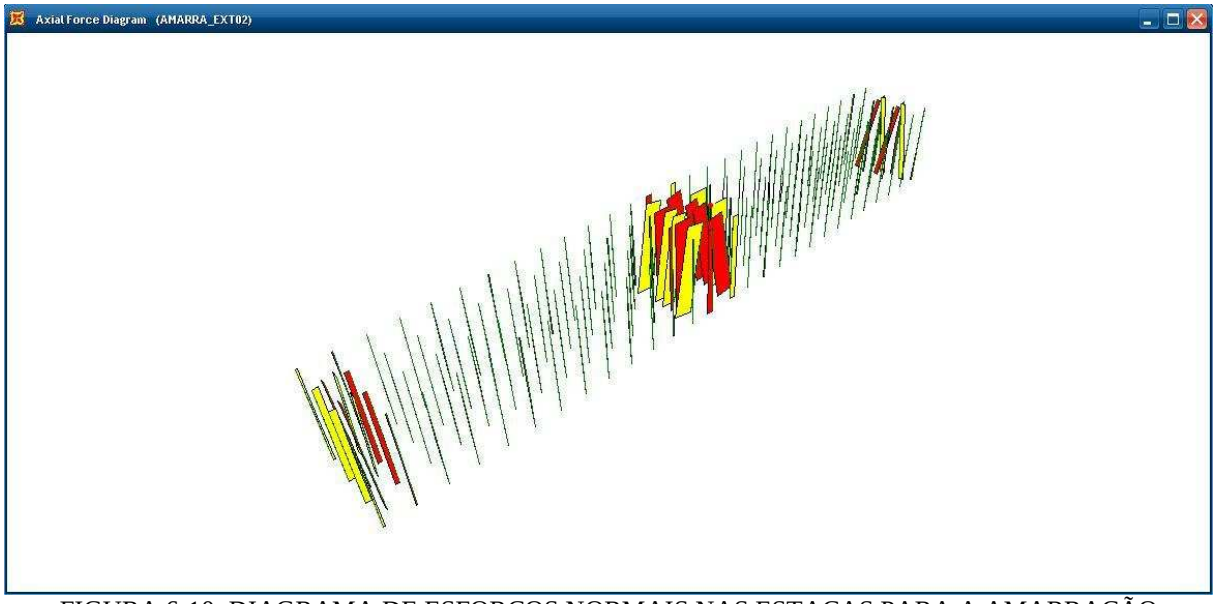


FIGURA 6-10: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PARALELA NO BERÇO EXTERNO, NA POSIÇÃO 02.

6.1.11 AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 01 (AMARRA_INT01)

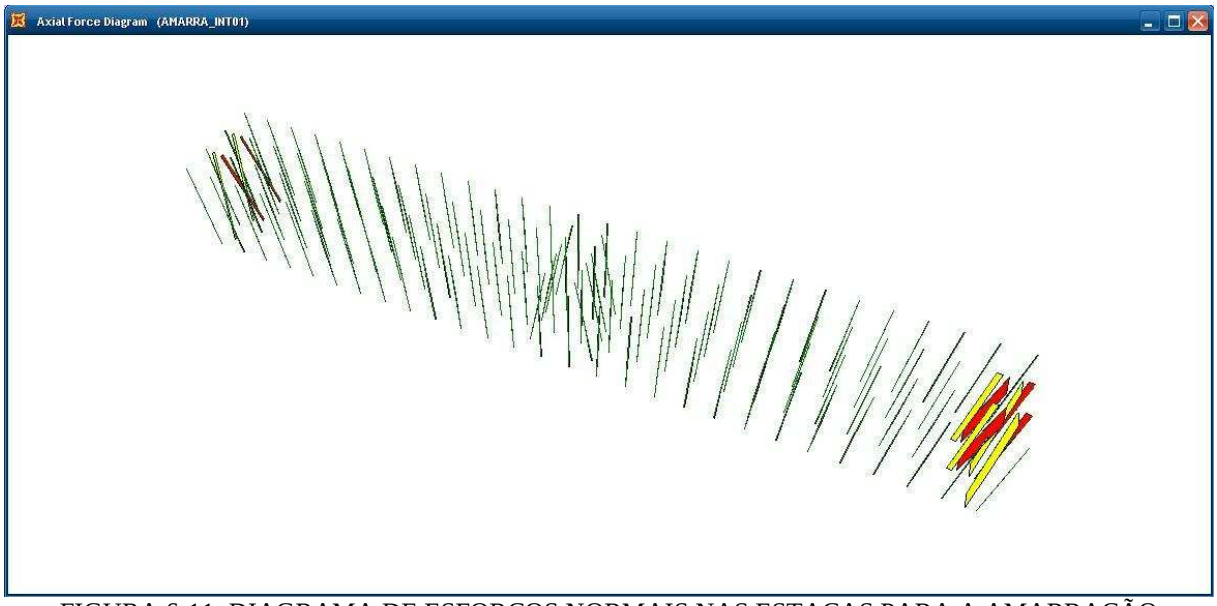


FIGURA 6-11: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PERPENDICULAR NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 01.

6.1.12 AMARRAÇÃO INTERNA NA POSIÇÃO 02 (AMARRA_INT02)

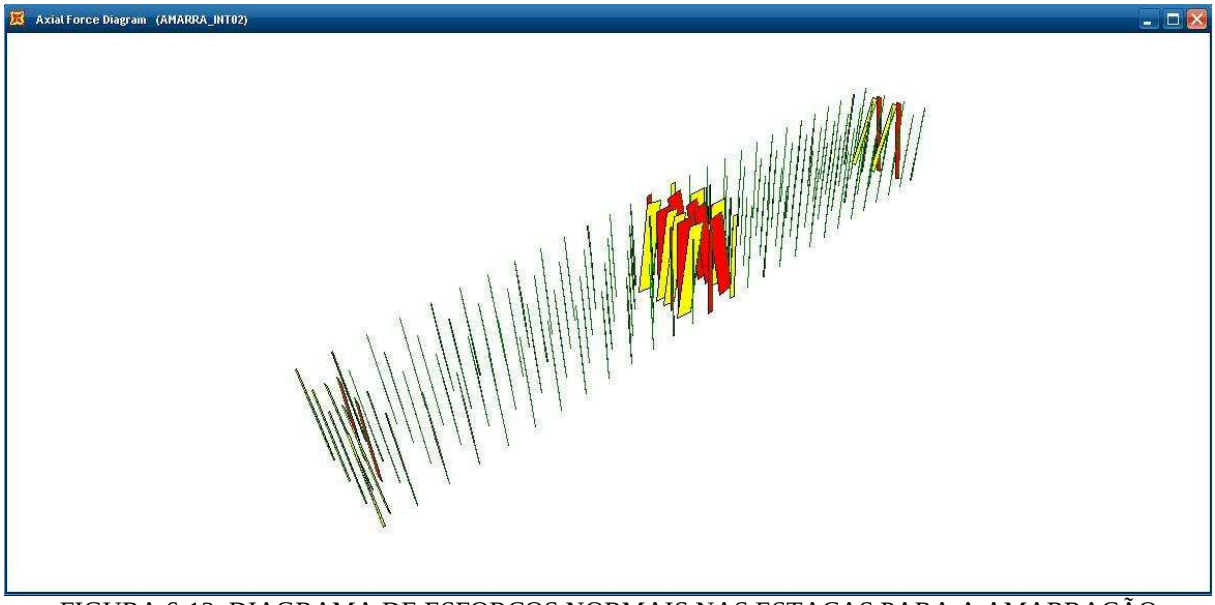


FIGURA 6-12: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA A AMARRAÇÃO PARALELA NO BERÇO INTERNO, NA POSIÇÃO 02.

6.1.13 CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 01 (CARREG01)

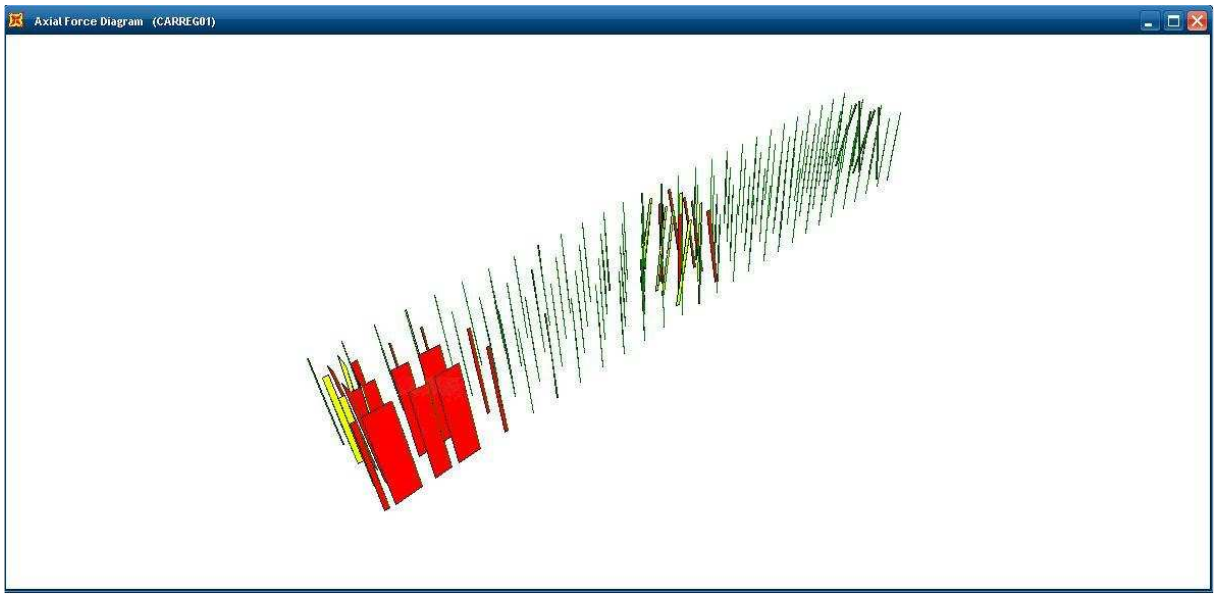


FIGURA 6-13: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA O CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 01.

6.1.14 CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 02 (CARREG02)

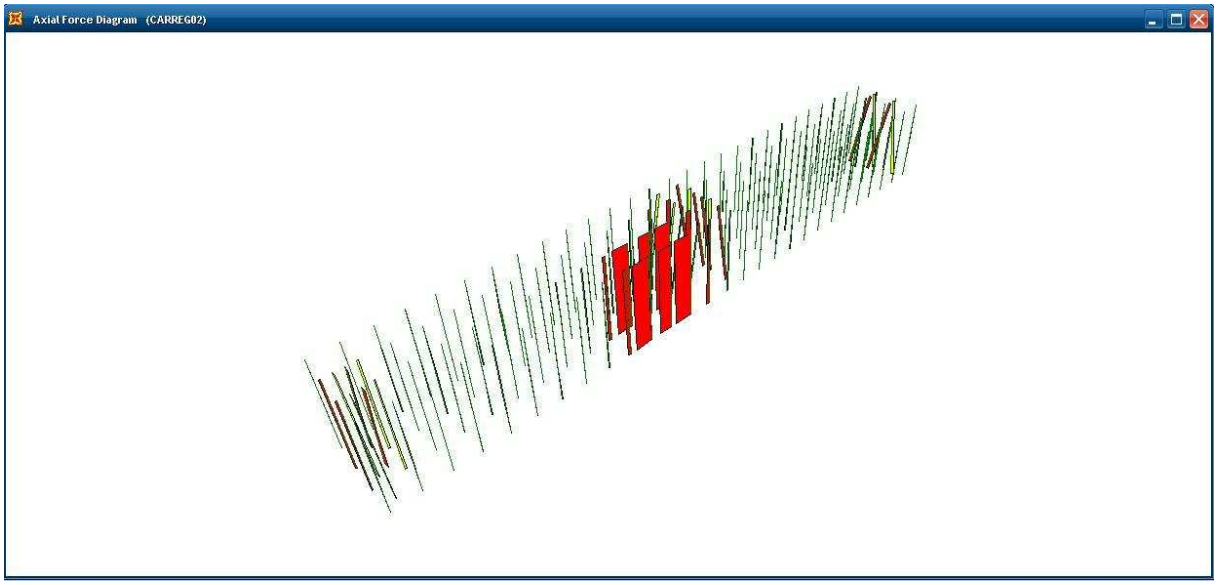


FIGURA 6-14: DIAGRAMA DE ESFORÇOS NORMAIS NAS ESTACAS PARA O CARREGADOR DE NAVIOS NA POSIÇÃO 02.

7 COMBINAÇÃO DOS ESFORÇOS

Será apresentado um quadro com as combinações dos esforços referentes apenas a análise do estaqueamento do píer.

	PP	SC_EST	SC	TEMP(+)	TEMP(-)	CARREG01	CARREG02	ATRAC_EXT01	ATRAC_EXT02	AMARRA_EXT01	AMARRA_EXT02	ATRAC_INT01	AMARRA_INT01	AMARRA_INT02
ELS 01	1,0	1,0		1,0		1,0				1,0		1,0		
ELS 02	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0				1,0		1,0		
ELS 03	1,0	1,0		1,0			1,0		1,0				1,0	
ELS 04	1,0	1,0		1,0	1,0		1,0		1,0				1,0	
ELS 05	1,0	1,0		1,0		1,0	1,0				1,0			1,0
ELS 06	1,0	1,0		1,0	1,0		1,0				1,0			1,0
ELS 07	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0					1,0	
ELS 08	1,0	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0					1,0	
ELS 09	1,0			1,0	1,0			1,0					1,0	
ELS 10	1,0			1,0	1,0			1,0					1,0	
ELS 11	1,0			1,0						1,0		1,0		
ELS 12	1,0			1,0	1,0					1,0		1,0		
ELS 13	1,0			1,0			1,0				1,0			1,0
ELS 14	1,0			1,0	1,00		1,0				1,0			1,0
ELU 01	1,3		1,4	*0,6		**1,68						1,4		
ELU 02	1,3		1,4		*0,6	**1,68						1,4		
ELU 03	1,3		1,4	*0,6			**1,68		1,4				1,4	
ELU 04	1,3		1,4		*0,6		**1,68		1,4				1,4	
ELU 05	1,3		1,4	*0,6			**1,68				1,4			1,4
ELU 06	1,3		1,4		*0,6		**1,68				1,4			1,4
ELU 07	1,3		1,4	*0,6			**1,68	1,4					1,4	
ELU 08	1,3		1,4		*0,6		**1,68	1,4					1,4	
ELU 09	0,9			*0,6				1,4					1,4	
ELU 10	0,9				*0,6			1,4					1,4	
ELU 11	0,9			*0,6						1,4		1,4		
ELU 12	0,9				*0,6					1,4		1,4		
ELU 13	0,9			*0,6			**1,68				1,4			1,4
ELU 14	0,9				*0,6		**1,68				1,4			1,4

*0,6 = 0,5 x 1,2 (de acordo com a NBR 6118)

**1,68 = 1,2 x 1,4 (1,2 é o coeficiente de impacto da NBR 9782 e 1,4 o coeficiente de majoração de carga da NBR 8681)

TABELA 7-1: COMBINAÇÃO DAS AÇÕES PARA A ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO.

8 CARGA DE TRABALHO (VERIFICAÇÃO DA CARGA LIMITE EM SERVIÇO)

Após a análise do modelo numérico no programa SAP 2000 e estabelecer as combinações de carga necessárias para uma análise completa do estaqueamento, as seguintes cargas de trabalho (forças máximas em serviço) foram obtidas:

$N_{\max} = 3322kN$ (compressão);

$N_{\min} = -1473kN$ (tração).

9 ENVOLTÓRIA DOS ESFORÇOS NOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

A seguir, será apresentada uma tabela com a envoltória dos esforços para as combinações de cálculo nos Estados Limites Últimos.

Como não haverá diferenciação entre diâmetros ou a espessura da parede do tubo metálico entre as estacas do píer, sendo elas verticais ou inclinadas, a tabela representa a envoltória entre todas as estacas.

	COMBINAÇÃO	N_d (kN)	M_d (kNm)	V_d (kN)
$N_{d\ max}$	ELU 06	5376	348	26
$N_{d\ min}$	ELU 12	-2131	240	12
$M_{d\ max}$	ELU 07	1374	567	37
$V_{d\ max}$	ELU 02	3989	429	39

TABELA 9-1: ENVOLTÓRIA DOS ESFORÇOS CONCOMITANTES PARA AS COMBINAÇÕES NOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (COMPRESSÃO (+) / TRAÇÃO (-))

10 VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS ESTACAS PELA NBR 8800 [5]

As estacas serão verificadas para os esforços apresentados na Tabela 8-1, através do processo paramétrico abordado na NBR 8800 [5] do qual o perfil tubular é verificado para a ação conjunta dos esforços normais, momentos fletores e esforços cortantes.

Não foram consideradas perdas de espessura por corrosão na verificação estrutural das estacas por considerar que estas serão protegidas com pinturas anticorrosivas e proteção catódica.

Esforços: $N_{d\,max}$

$N_d = 5376kN$, esforço normal de cálculo;

$M_d = 348kN \cdot m$, momento fletor resultante de cálculo;

$V_d = 26kN$, esforço cortante resultante de cálculo;

Geometria:

$\phi = 812mm$, diâmetro da estaca;

$t = 19mm$, parede do tubo da estaca;

$K = 1{,}0$, coeficiente de flambagem (à favor da segurança);

$L_e = K \cdot L = 26{,}8m$, comprimento efetivo de flambagem (ver ANEXO B);

$A_g = \dfrac{\pi \cdot [\phi^2 - (\phi - 2 \cdot t)^2]}{4} = 473{,}34cm^2$, área da seção bruta;

$I = \dfrac{\pi \cdot [\phi^4 - (\phi - 2 \cdot t)^4]}{64} = 372290{,}79cm^4$, momento de inércia da seção;

$Z = \dfrac{\phi^3}{6} \cdot \left[1 - \left(1 - 2 \cdot \dfrac{t}{\phi}\right)^3\right] = 11950{,}42cm^3$, módulo plástico da seção;

$W = \dfrac{2 \cdot I}{\phi} = 9169{,}72cm^3$, módulo resistente elástico da seção;

Propriedades físicas:

$f_y = 300MPa$, resistência ao escoamento do aço USI SAC 300;

$E = 200GPa$, módulo de elasticidade do aço USI SAC 300;

Determinação da força axial resistente de cálculo:

$\phi/t = 42{,}74$, relação entre o diâmetro externo e a espessura da parede do tubo;

$0{,}11 \cdot \dfrac{E}{f_y} = 73{,}33$

Como $\phi/t \leq 0{,}11 \cdot \dfrac{E}{f_y}$, então:

$Q = 1{,}00$, fator de redução associado à flambagem local da parede do tubo;

$N_e = \dfrac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_e^{\,2}} = 10231 kN$, força axial de flambagem elástica;

$\lambda_0 = \sqrt{\dfrac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} = 1{,}18$, índice de esbeltez reduzido;

Como $\lambda_0 \leq 1{,}50$, então:

$\chi = 0{,}658^{\lambda_0^2} = 0{,}559$, fator de redução;

$N_{crd} = \dfrac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{1{,}1} = 7221 kN$, força axial resistente de cálculo.

Determinação do momento fletor resistente de cálculo:

$\lambda = \dfrac{\phi}{t} = 42{,}74$, esbeltez da seção tubular circular;

$\lambda_p = 0{,}07 \cdot \dfrac{E}{f_y} = 46{,}67$, parâmetro de esbeltez referente à plastificação;

Como $\lambda < \lambda_p$, então o momento fletor resistente de cálculo será:

$M_{rd} = \dfrac{Z \cdot f_y}{1{,}1} = 3259 kN \cdot m$.

Determinação da força cortante resistente de cálculo:

$t_d = 0{,}93 \cdot t = 17{,}67 mm$, espessura de cálculo da parede do tubo;

A tensão cisalhante resistente característica (crítica) é o menor valor entre:

$\dfrac{0{,}78 \cdot E}{\left(\dfrac{D}{t_d}\right)^{\frac{3}{2}}} = 501 MPa$;

$0{,}6 \cdot f_y = 180 MPa$;

Então a tensão cisalhante resistente característica (crítica) será:

$\tau_{cr} = 180MPa$;

$V_{rd} = \dfrac{0{,}5 \cdot A_g \cdot \tau_{cr}}{1{,}1} = 3873kN$, força cortante resistente de cálculo.

Verificação da ação simultânea da força normal, força cortante e momento fletor:

$\rho = \dfrac{N_{sd}}{N_{crd}} + \dfrac{M_{sd}}{M_{rd}} + \left(\dfrac{V_{sd}}{V_{rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$, expressão de interação para ação combinada de esforços;

$\rho = 0{,}851$, OK!

Para as outras combinações encontramos os seguintes valores de ρ:

$N_{d\ min}$: $\rho = 0{,}239$, OK! (Q e χ foram tomados iguais a 1,00 no caçulo de N_{crd})

$M_{d\ max}$: $\rho = 0{,}364$, OK!

$V_{d\ max}$: $\rho = 0{,}684$, OK!

11 CONCLUSÃO

A carga de trabalho máxima de compressão de 3322kN é menor que a carga de trabalho limite estabelecida neste projeto que era de 3500kN para as estacas de 812mm de diâmetro, mostrando que o arranjo do estaqueamento está compatível.

Este limite da carga de trabalho máximo foi estabelecido baseado em experiências anteriores nesse tipo de projeto e a facilidade de encontrar martelos hidráulicos para a cravação de estacas com essa carga de trabalho.

Para a carga mínima de trabalho de -1473kN, que neste caso resultou em tração na estaca, a utilização de estacas metálicas se mostrou vantajosa, pois para esta ordem de grandeza do esforço de tração (acima de 800kN), estacas de concreto não seriam recomendadas por prováveis problemas de fissuração.

O comprimento estimado das estacas só poderá ser definido com uma campanha de sondagens no local de implantação da obra.

Dependendo do tipo e da profundidade do solo impenetrável detectada na sondagem à percussão, as estacas inclinadas poderão necessitar de uma perfuração por dentro da camisa metálica para fazer uma ligação com a rocha através de um “pino” de concreto armado.

Ao escolher um arranjo do estaqueamento com grupos de estacas inclinadas, a maior parte das cargas horizontais impostas pelos diversos carregamentos apresentados foi resistida na forma de esforços normais nas estacas inclinadas, aliviando a parcela de carga horizontal a ser resistida através de momentos fletores e esforços cortantes.

Neste caso, a espessura do tubo das estacas foi escolhida basicamente de modo a atender a necessidade de área útil para a resistência aos esforços axiais.

REFERÊNCIAS

1 - VELLOSO, D. **Fundações – Volume 2**. COPPE-UFRJ, 2002.

2 - TSINKER, G. P. **Handbook of Port and Harbor Engineering: Geotechnical and Structural Aspects**. Kluwer Academic Pub, 1996.

3 - **ABNT, NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, 2007;

4 - **ABNT, NBR 8681** – Ações e segurança nas estruturas, 2004;

5 - **ABNT, NBR 8800** – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificios, 2008;

6 - **ABNT, NBR 9782** – Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais, 1987;

7 - **BS 6349** – British Standard – maritime structures code, Part 4 - 1994;

8 - **PIANC** – International Association Navigation - Guidelines for the Design of Fender Systems, 2002.

ANEXO A – CATÁLOGO DAS DEFENSAS TIPO CONE FENDERS DA AMDO

PERFORMANCE

TYPES	Standard Reaction Force (RO)			
	Rated Compression Deflection 70%		Max. Compression Deflection 72.5%	
	Reaction Force	Energy Absorption	Reaction Force	Energy Absorption
CN500	200	47	232	50
CN600	283	94	319	104
CN700	384	150	426	154
CN800	502	224	576	252
CN900	635	306	703	334
CN1000	784	437	882	478
CN1100	927	495	1019	527
CN1150	1038	666	1152	717
CN1200	1106	705	1229	735
CN1300	1320	1043	1537	1077
CN1400	1443	1079	1604	1124
CN1600	1814	1548	2016	1613
CN1800	2401	2264	2667	2359

FIGURA 0-1: *CONE FENDERS* – CATÁLOGO TÉCNICO DA AMDO

ANEXO B – CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ENGASTAMENTO FICTÍCIO

O cálculo do comprimento de engastamento fictício será realizado de acordo com o proposto em Velloso e Lopez [1] para solos com coeficiente de reação horizontal variando linearmente com a profundidade.

Parâmetros de entrada:

$\phi = 812mm$ (diâmetro externo da estaca);

$t = 19mm$ (espessura da parede do tubo da estaca);

$E = 205GPa$ (módulo de elasticidade do aço USI SAC 300);

$n_h = 5000kN/m^3$ (coeficiente de reação horizontal do solo);

$I = \dfrac{\pi \cdot [\phi^4 - (\phi - 2 \cdot t)^4]}{64} = 3{,}72 \times 10^{-3} m^4$ (inércia da seção transversal da estaca);

$\gamma = 1{,}8$ (parâmetro de ajuste para solos arenosos);

$$L = \gamma \cdot \sqrt[5]{\frac{E \cdot I}{n_h}} = 4{,}92m \rightarrow adotado \rightarrow L = 5{,}00m$$

Conforme foi mostrado na Figura 3-3 e baseado no cálculo do comprimento de engastamento fictício, o comprimento da estaca adotado no modelo numérico foi de 26,8m, o que corresponde aproximadamente à pior situação encontrada.