

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO SÉRGIO LIMA RABELO

**DIMENSIONAMENTO DE UMA Balsa FLUTUANTE COM RAMPA DE
ACESSO ANCORADA NO PÍER**

São Luís

2017

PEDRO SÉRGIO LIMA RABELO

**DIMENSIONAMENTO DE UMA Balsa FLUTUANTE COM RAMPA DE
ACESSO ANCORADA NO PÍER.**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Ms. Jose de Ribamar F. Barros Filho

São Luís

2017

Rabelo, Pedro Sérgio Lima.

Dimensionamento de uma balsa flutuante com rampa de acesso ancorada no píer / Pedro Sérgio Lima Rabelo. – São Luís, 2017.
67 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Júnior.

1. Balsa flutuante. 2. Rampa. 3. Estrutural. I. Título.

CDU 624:656.61

PEDRO SÉRGIO LIMA RABELO

**DIMENSIONAMENTO DE UMA Balsa Flutuante com Rampa de
Acesso Ancorada no Píer.**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms José de Ribamar F. Barros Filho (Orientador)
Mestre em Engenharia de Materiais
Instituto Federal do Maranhão

Prof. Esp Júlio Cesar de Jesus Azevedo
Especialista em Engenharia e Segurança do Trabalho
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Fernando Antônio Moreira Serra Abreu
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao Senhor Jesus Cristo, pela dádiva da vida, e por todas as oportunidades e conquistas obtidas na minha caminhada.

Aos meus pais, Sérgio Luís Coimbra Rabelo e Aurení Pereira Lima Rabelo, por todo o amor, educação e por nunca medirem esforços para contribuir na minha formação enquanto estudante e cidadão.

Ao meu orientador, pelo incentivo e desafio de encarar todas as etapas deste árduo trabalho.

Ao meu supervisor e amigo Carlos Cesar Silva Viegas, pela ajuda na elaboração deste projeto e por todo o conhecimento compartilhado.

A todos os meus colegas de trabalho, pela ajuda e ensinamentos.

A Raimundo Costa Sérgio pela oportunidade de estágio.

A Deusa Rocha Coimbra e Francisco Alves Coimbra, meus padrinhos, pelo encorajamento e todo o suporte no início da minha caminhada.

Aos meus tios, Pedro Coimbra Rabelo Junior, Shirley de Maria Coimbra Rabelo.

A minha querida Irmã, Ana Paula Lima Rabelo.

Aos meus grandes amigos Raimundo Nonato Barroso da Silva e Luciene Ferreira Sena.

Aos meus primos, em especial Daniel Coimbra, que sempre me orientou na minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos que descobri na vida acadêmica, particularmente a Rayston Werner Sousa e Pedro Luiz Diniz.

Aos meus professores, pelo conhecimento compartilhado e inspiração, em especial a Jean Robert Pereira Rodrigues, José de Ribamar Barros, Lourival Matos de Sousa.

RESUMO

Este trabalho trata do dimensionamento de uma balsa flutuante com rampa ancorada ao píer para acesso de pessoas e equipamentos de pequeno porte, em uma determinada empresa local, situada na Bahia de São Marcos. O presente estudo é dividido em duas partes, a primeira trata da verificação estrutural da rampa com base em parâmetros das normas ANBT NBR 8800/2008 e ANBT NBR 6120/2008 e premissas de projeto, a segunda verifica a estabilidade da balsa flutuante, determinando pontos importantes como o centro de gravidade e o metacentro. Os esforços calculados foram mensurados usando os critérios estabelecidos pela resistência dos materiais, conhecimentos de mecânica dos fluidos e software de elemento finitos como o FTOOL e SOLID WORKS.

Palavras Chaves: Balsa Flutuante, Rampa, Estrutural.

ABSTRACT

This work deals with the dimensioning of a floating raft with anchored ramp to the pier for access of people and small equipment, in a certain local company, located in Bahia de São Marcos. The present study is divided in two parts, a first one deals with the structural analysis of the ramp based on emissions of the norms ANBT NBR 8800/2008 and ANBT NBR 6120/2008 and project premises, a second floating raft stability check, determining points Important as the center of gravity and the metacenter. The elaborates were measured using the criteria established by the resistance of the materials, knowledge of fluid mechanics and software of final elements such as FTOOL and SOLID WORKS.

Key words: Floating raft, Ramp, Structural

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos Coeficientes de Ponderações das Resistências	30
Tabela 2 – Deslocamentos Máximos	31
Tabela 3 - Propriedades geométricas Perfil VS200x19kg/m Eixos Paralelos	39
Tabela 4 - Propriedades do Material	52
Tabela 5 - Forças de Reação	52
Tabela 6 - Informações Gerais de Malha	52

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

PROF – Professor

MS – Mestre

Esp – Especialista

LISTAS DE SÍMBOLOS

E : Módulo de Elasticidade

ν_a : Coeficiente de Poisson

G : Módulo de Elasticidades Transversal

β_a : Coeficiente de Dilatação Térmica

ρ_a : Massa Específica

W : Módulo de Resistencia

M : Momento fletor

σ : Tensão Admissível

I_x : Momento de inércia em relação a x

λ : Índice de Esbeltez

l : Vão Destravado

r : Raio de Giração

$f_y^{ASTM-A36}$: Tensão Escoamento do aço ASTM A36

$f_u^{ASTM-A36}$: Tensão Ruptura do aço ASTM A36

$f_y^{ASTM-A588}$: Tensão Escoamento do aço ASTM A588

$f_u^{ASTM-A588}$: Tensão Ruptura do aço ASTM A588

$f_y^{SAE-1045}$: Tensão Escoamento do aço SAE 1045

$f_u^{SAE-1045}$: Tensão Escoamento do aço SAE 1045

f_u^{E-7018} : Eletrodo AWS - E7018 – Ligações Soldadas

P_e : Peso aproximado da escada de acesso

P_{Pier} : Peso aproximado do píer flutuante

SC : Peso de pessoas e equipamento de pequeno porte (NBR6120)

γ_{mar} : Peso específico da água do mar a 25°C

ν_{mar} : Viscosidade cinemática da água do mar a 25°C

VS : Viga Soldada

$A_{PROJEÇÃO}$: Área de Projeção

$A_{INFLUÊNCIA}$: Área de Influência

V_A : Reação de apoio no ponto A

V_B : Reação de apoio no ponto B

$\sum F_y$: Somatório das forças em y

$\sum F_x$: Somatório das forças em x

F : Força

d : Distância

W_{calc}^{rampa} : Módulo de Resistência Rampa

M_{calc}^{rampa} : Momento verificado na rampa

$\sigma_{adm}^{ASTM-A36}$: Tensão Admissível aço ASTM A 36

I_{x1} : Momento de Inércia pelo teorema dos eixos paralelos

ΣI_x : Somatório dos momentos de inercia em relação ao eixo X

I_{x-x}^{rampa} : Momento inércia no eixo X-X

c_{y-y}^{rampa} : Distancia da borda ao centro

f : Flecha admissível resistência dos materiais

q : Carga distribuída

E : Módulo de Elasticidade

J_{x-x} : Momento de Inércia eixo X-X

f_{adm} : Flecha Admissível pela norma NBR 8800/2008

H : Vão destravado norma NBR 8800/2008

N_{VS200} : Maior Compressão Banzos Rampa de acesso

V_{VS200} : Maior Cortante Banzos Rampa de acesso

P_{cr} : Pressão Crítica Banzos rampa de acesso

$I_{y-y}^{VS200x19}$: Momento de Inércia no eixo Y-Y

$L_{VS200x19}$: Comprimento efetivo de flambagem

$k = 1,5$: Fator dependente do tipo de fixação

S_T : Resistencia à tração banzo da rampa de acesso

A_{VS200} : Área efetiva da seção do perfil

$\lambda^{VS200x19}$: Índice de Esbeltez para a viga VS 200x19 banzos da rampa de acesso

$r_{y-y}^{VS200x19}$: Raio de giração no eixo Y-Y viga VS 200x19 banzos da rampa de acesso

V_C : Reação de apoio no ponto C

V_D : Reação de apoio no ponto D

M_{calc}^{CT} : Momento máximo verificado no contravento inferior da rampa de acesso

W_{calc}^{CT} : Módulo de Resistência Calculado no contravento inferior da rampa de acesso

M_{calc}^{CT} : Momento fletor calculado no contravento inferior da rampa de acesso

$W_{x-x}^{VS200x19}$: Módulo de Resistência Característico no contravento inferior da rampa de acesso

h : Camada Limite

μ : Viscosidade dinâmica

ν_{mar} : Viscosidade Cinemática

τ : Tensão de Cisalhamento água do mar

qk : Carga dinâmica do vento

V_k : Velocidade característica do vento

$A_{PROJEÇÃO}^{BALSA}$: Área de Projeção da Balsa

P_w : Peso Estrutural

$V_{Máx}^E$: Volume de máximo de empuxo

V_{calado}^E : volume de calado

A_{Calado} : Área do calado

CG : Centro de gravidade do Flutuante

MG_y : Metacentro longitudinal

MG_x : Metacentro Transversal

V_A^E : Volume Empuxo A

V_B^E : Volume Empuxo B

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte de Coalkbrokdale	20
Figura 2 - Propriedades geometrias de seção	22
Figura 3 - Constante de empenamento e momento de inércia a rotação pura	23
Figura 4 - Eixos paralelos	24
Figura 5 - Índice de esbeltez para peças tracionada	25
Figura 6 - Exemplo do processo de obtenção de perfis laminado	26
Figura 7 - Mudanças de forma produzidas pela laminação	26
Figura 8 - Representação perfil W	27
Figura 9 - Perfil W laminado	28
Figura 10 - Representação perfil soldado	29
Figura 11 - Navio Bergen Stahl	32
Figura 12 - Vista em elevação da plataforma de acesso	35
Figura 13 - Propriedades geométricas	35
Figura 14 - Condições de carregamento VS 200 X 19kg/m	36
Figura 15 - Reações de apoio e diagrama de tração	36
Figura 16 - Reações de apoio e diagrama de esforços cortantes	37
Figura 17 - reações de apoio e diagrama de momento fletor	37
Figura 18 - Configuração posicionamento perfil VS	38
Figura 19 - Representação perfil W	39
Figura 20 - Flecha calculada na estrutura da viga VS 200x19kg/m	41
Figura 21 - vista vão destravado de 1200mm	41
Figura 22 - vista de planta da passarela de acesso	45

Figura 23 - Condições de carregamento	45
Figura 24 - Esquema de forças e reações não pinos	48
Figura 25 - Diagrama de tração	48
Figura 26 - Diagrama de esforços cortantes	49
Figura 27 - Diagrama de momento fletor	49
Figura 28 - Propriedades geométricas do perfil VS	50
Figura 29 - condições de reforço estrutural da plataforma existente	51
Figura 30 - esquema de forças solicitantes	52
Figura 31 - tensão máxima verificada	53
Figura 32 - volume de material sob tensão máxima	54
Figura 33 - flecha máxima verificada	55
Figura 34 - fator de segurança	56
Figura 35 - condição para cálculo dos momentos	57
Figura 36 - vista de elevação balsa	58
Figura 37 - vista de planta da estrutura da balsa flutuante	58
Figura 38 - Metacentros da flutuante projeção em planta	59
Figura 39 - esquema de reações de estabilidade longitudinal	61
Figura 40 - esquema de reações de estabilidade longitudinal	62
Figura 41 - vista de planta do Pier flutuante	64
Figura 42 - -condições de carregamento	64
Figura 43 - reações e flecha máxima	65

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
2 - JUSTIFICATIVA.....	18
3 - OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
4.1 Aço Estrutural.....	20
4.2 Propriedades do Aço.....	21
4.3 Propriedades Geométricas do aço	22
4.4 Teorema dos Eixos Paralelos	24
4.5 Esbeltez.....	25
4.6 Perfis Laminados	26
4.7 Perfis Soldados	28
5 - NORMAS.....	30
5.1 ABNT NBR 8800/2008	30
6 - VARIAÇÃO DE MARÉS	32
7 - METODOLOGIA	33
8 - RESULTADOS:	34
8.1 Premissas de projeto:	34
8.2 Verificação Estrutural Rampa de	35
8.2.1 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso.....	35
8.2.2 Verificação da Flecha.....	40
8.2.3 Carga Máxima de Flambagem.....	41
8.2.4 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso.....	42
8.3. Resistência perfil W150x13kg/m - Carga de Flambagem (Montagem e Diagonais)	43
8.3.1 Cargas Máximas no perfil W150x13kg/m.....	43
8.3.2. Resistência a Tração	44
8.4 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso.....	45
8.4.1 Verificação Flecha	50
8.5 Verificação da Fixação do Console	50
9. CÁLCULO DE FLUTUABILIDADE E RESISTÊNCIA	58
9.1 Estabilidade Longitudinal.....	61
9.2 Estabilidade Transversal	62
10 - CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67

1 - INTRODUÇÃO

Desde a época das cavernas o homem sempre foi movido pela necessidade em solucionar problemáticas impostas pelas mais diversas condições do meio em que vivia como forma de garantir a sobrevivência. Foi assim que surgiram as primeiras manifestações construtivas da humanidade. Tal ação era regida essencialmente pelo instinto. Porém, quando esta passa a dominar a técnica de manipulação dos metais, e posteriormente as bases matemáticas e físicas, nota-se uma sensível melhora na sofisticação em suas invenções, até então discretas, passando a ter maior grau de sutileza e elaboração.

Todo projeto surge de uma necessidade, sendo assim a engenharia fornece condições para o desenvolvimento de trabalhos com segurança, resistência, estabilidade e durabilidade, através dos processos e procedimentos de dimensionamentos estruturais, atestando considerável grau de confiabilidade. O uso das regulamentações de critérios e diretrizes estabelecidas e aprovadas por entidades, as normas, é que garante atingir o mais alto grau de excelência.

Para que esse processo ocorra de forma eficiente, é necessário identificar as máximas condições de trabalho e serviço, através de informações pré liminares dadas como premissas, para fornecer garantias matemáticas que a estrutura, dispositivo, estará apta a atender as solicitações dentro do que é esperado. Constitui uma fase árdua, analítica, precisando de um olhar sensível, por parte do profissional responsável, já que bases matemáticas e físicas não são suficientes, necessitando, também do bom senso profissional.

Identificar e familiarizar-se, sempre que possível, com o local de desenvolvimento do projeto é um dos requisitos necessário para iniciar um dimensionamento bem-sucedido. A partir daí será possível determinar a influência dos diversos fatores que atuam gerando esforços na estrutura, tais como: Cargas de vento atuantes, peso próprio, condições normais de uso, sobrecargas devido a equipamentos/pessoas e impactos acidentais. Obtendo-se essas informações, determina-se os tipos de perfis metálicos, podendo utilizar-se, tanto laminados, quanto dobrados de chapas. Nesta fase determina-se também os tipos de ligações a serem utilizadas e os vínculos que atendam as solicitações dos esforços. Tais escolhas vão definir a relação custo benefício do projeto, mostrando assim a viabilidade ou não do mesmo.

As operações portuárias, sediadas na ilha de São Luís, são intensas ao longo de todo o ano, isto em consequência de sua estratégica localização geográfica, somada ao fator da

região possuir as maiores variações de mares do mundo, entre 6 e 7m, o que proporciona profundidades suficientes para atracação de navios de grandes calados, principalmente cargueiros, que escoam anualmente milhões de toneladas de minérios e grãos de soja. Face a esta grande movimentação portuária há uma intensa espera por vagas, ao longo da orla das praias de São Luís, para o momento de atracação para carga e descarga. Em algumas circunstâncias, se faz necessário o desembarque de pessoas, para a terra, sendo esta operação realizada por meio de embarcações de pequeno porte. Tal traslado torna-se problemático principalmente quando a maré atinge o ponto mínimo, baixa mar, pois neste estágio o acesso entre o PIER e a embarcação há um desnível intenso provocando desconforto e insegurança aos usuários no percurso de deslocamento.

Com este objetivo, uma empresa local, solicitou o projeto de dimensionamento de uma balsa flutuante com rampa de acesso, para facilitar a acessibilidade de pessoas ao Píer, compensando assim o desnível provocado pela variação das marés. As marés ocasionam fortes solicitações de esforços nas estruturas, dessa forma, coube aos engenheiros e projetistas elaborar uma estrutura robusta e estável com objetivo de reduzir/eliminar os possíveis riscos de acidentes como tombamentos e falhas estruturais.

2 - JUSTIFICATIVA

Todo projeto é concebido a partir de alguma necessidade, seja algo de simples e rápida solução, ou a situações envolvendo contextos mais complexos, onde há adoção de parâmetros mais críticos por envolverem em algumas circunstâncias vidas humanas. É o caso do dimensionamento de estruturas metálicas. Este trabalho utiliza-se do conhecimento de resistência dos materiais, estruturas metálicas, para realizar um estudo de caso pautado em uma verificação profunda para efetuar o dimensionamento de uma balsa flutuante ancorada ao píer por meio de uma rampa de acesso.

A balsa será instalada nas proximidades do Píer localizado no terminal portuário de uma empresa local. Quando os navios se encontram em espera na baía de São Marcos, por diversos motivos, há necessidade de ter acesso a essas embarcações por meio de botes. Esta operação torna-se problemática em função da considerável variação da maré, no local, podendo chegar a 6,8 m. Muitas vezes torna-se muito difícil a acessibilidade de pessoas das embarcações ao PIER quando em maré baixa.

Buscando solucionar este problema, foi realizado o dimensionamento de uma estrutura com balsa flutuante e rampa de acesso, onde possa contemplar o fluxo de pessoas, atrelado à variação da maré. Fazendo uso de critérios de segurança.

3 - OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Dimensionar e verificar a resistência estrutural de uma balsa flutuante, juntamente com rampa de acesso.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento de dados referentes às considerações críticas do projeto;
- Verificação da resistência estrutural da balsa e rampa de acesso;
- Verificação da estrutura existente, console, devido ao acréscimo de cargas oriundas da transmissibilidade de esforços provocados pelo conjunto rampa/balsa;
- Cálculo da Flutuabilidade da balsa metálica;
- Comparação dos resultados calculados pela resistência dos materiais com Softwares de elementos finitos, SolidWorkd e Ftool;

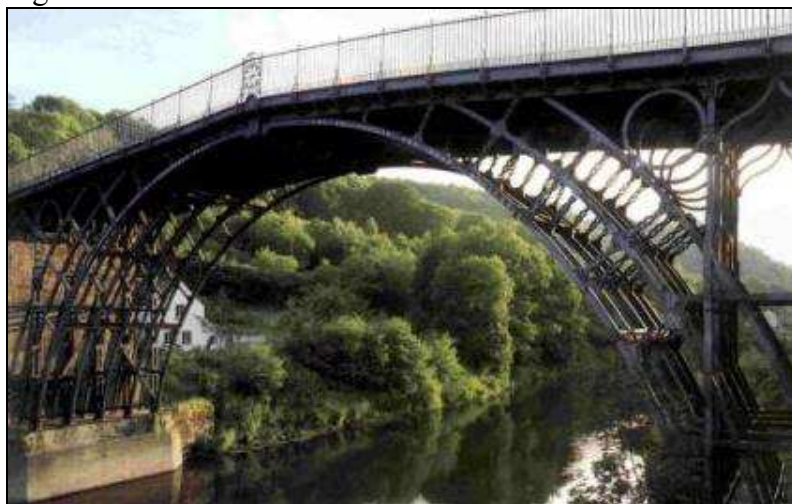
4 - REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Aço Estrutural

O aço é uma liga metálica de ferro e carbono, este último em menor quantidade, com um teor que varia de desde 0,008% a 2,1% (Chiaverini, 1996).

Os primeiros relatos sobre o uso do aço, remota aproximadamente 8000 anos atrás, em grandes civilizações como as do Egito, Babilônia e da Índia. Em um primeiro momento, o ferro tinha fins decorativos e militares. Sua utilização em escada industrial só ganhou notoriedade por volta do século XIX, mediante a revolução industrial. A primeira obra de grande importância construída de ferro, foi na Inglaterra sobre o rio Severn, em Coalbrookdale, figura 1, (Chamberlain, 2013).

Figura 1-Ponte Coalbrookdale



Fonte: Chamberlain (2013)

No Brasil, o uso de estruturas metálicas tem marco inicial a partir de 1812, com início do processo de fabricação do aço em território nacional, porém já se empregava desde 1750. Logo após a segunda guerra mundial, com a construção da usina Presidente Vargas da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional na cidade volta Redonda, há surgimento das grandes siderúrgicas em território nacional, passando ampliar o parque industrial brasileiro produzindo produto em larga escala (Pinheiro, 2005).

No Brasil, as construções de estruturas de aço são usadas em galpões industriais, edifícios comerciais, com destaque aos horizontais, como centro de compras e revendedoras de veículos, construções para eventos, espetáculos, dentre outros. Tais construções devem estar dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2008.

De acordo com Pinheiro (2005, p.1) as principais vantagens do aço são:

- 1- O aço é o material que apresenta maior índice de esbeltez. Desta forma, os componentes estruturais de aços têm seção transversal com dimensões menores quando comparados a seções de outros materiais.
- 2- Estruturas de aço são as recomendadas em obras e projetos onde se necessita vencer grandes vãos, como hangares.
- 3- Sua fabricação milimetricamente precisa, permite um alto controle na qualidade do final acabando, garantindo dimensões e propriedades mecânicas, resistência a vibração e a choques possibilitando de execução de obras mais rápidas e limpas.
- 4- Em um eventual caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro lugar.

De acordo com Chamberlain (2013, p.2) as principais desvantagens do aço são:

- 1- Dependendo do planejamento da obra, pode custar mais caro eu uma estrutura de concreto equivalente.
- 2- Exige mão de obra altamente especializada.
- 3- Em algumas regiões, às vezes é difícil encontrar determinados aços e perfis.
- 4- Viabiliza somente elementos lineares, para lajes necessita de associação com concreto.

4.2 Propriedades do Aço

Devidos a variação de diferentes elementos incorporados a sua liga, as propriedades mecânicas do aço variam bastante. Por exemplo, para níveis de carbono mais alto, a resistência do aço quanto a sua fragilidade aumenta e sua resistência a tração diminui. (PFEIL, 2009).

Assim, segundo a ABNT NBR 8800 (2008, p.13), para efeito de cálculo devem ser adotados, para os aços aqui relacionados, os seguintes valores de resistência mecânica:

- A) Módulo de Elasticidade, $E = 200000MPa$;
- B) Coeficiente de Poisson, $\nu_a = 0,3$;
- C) Módulo de Elasticidades Transversal, $G = 77000MPa$;
- D) Coeficiente de Dilatação Térmica, $\beta_a = 1,2 \times 10^{-5} ^\circ C^{-1}$;
- E) Massa Específica, $\rho_a = 7850kg / m^3$;

4.3 Propriedades Geométricas do aço

Segundo Pinheiro (2005 p.11) “Para o dimensionamento de peças estruturais, além da determinação da estabilidade do conjunto e dos esforços internos solicitantes, é necessário a determinação de algumas características geométricas da seção plana transversal”.

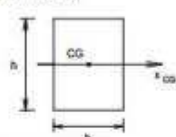
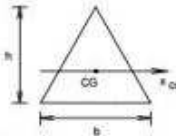
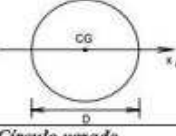
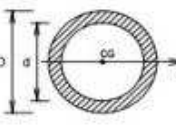
Assim, pode-se mensurar para cada perfil suas principais características geométricas, área, centro de gravidade, momento de inércia, produto de inércia, raio de giração, momento resistente elástico e momento resistente plástico.

Módulo de Resistência: Constitui a quantidade de volume de material que uma dada seção deve ter para atender as solicitações de esforços atuante. É uma relação entre a tensão de flexão pelo

$$W = \frac{M}{\sigma} \quad (1)$$

Momento de Inércia: É a resistência que uma área oferece em relação a um movimento. As figuras 2 e 3 respectivamente, apresentam o momento de inércia para algumas seções geométricas.

Figura 2- Propriedades Geométricas de Seção

Figura	Momento de Inércia	Momento Resistente	Raio de Giração
Quadrado 	$I_x = \frac{h^4}{12}$	$W_x = \frac{h^3}{6}$	$i_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$
Retângulo 	$I_{x_{CG}} = \frac{bh^3}{12}$	$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$i_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$
Triângulo 	$I_{x_{CG}} = \frac{bh^3}{36}$	$W_x = \frac{b \cdot h^2}{12}$	$i_x = \frac{h \cdot \sqrt{2}}{6}$
Círculo 	$I_{x_{CG}} = \frac{\pi D^4}{64}$	$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$	$i_x = \frac{D}{4}$
Círculo vazado 	$I_{x_{CG}} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$W_x = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$	$i_x = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$

Fonte: Pfeil (2009)

Figura 3- Constante de Empenamento e Momento de Inércia a Rotação Pura

	$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_0^3)$ $C_{\omega} = I_y \frac{h^2}{2} = \frac{t_f b^3 h^2}{24} = \frac{h^2 I_y}{4}$
	$y_0 = h \frac{I_{2y}}{I_{1y} + I_{2y}}$ I_{1y}, I_{2y} = resp. momento de inércia dos flanges 1 e 2 em relação ao eixo Y. $J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} (b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + ht_0^3).$ $C_{\omega} = \frac{t_f h^2}{12} \frac{b_1^3 b_2^3}{b_1^3 + b_2^3},$
	$J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} (bt_f^3 + ht_0^3).$ $C_{\omega} = \frac{1}{36} \left(\frac{b^3 t_f^3}{4} + h^3 t_0^3 \right) \approx 0 \text{ (t pequeno).}$
	$x_0 = h \frac{I'_{xy}}{I_x}$ I'_{xy} = produto de inércia da metade da seção (acima do eixo x) em relação aos eixos x, y. I_x = momento de inércia de toda seção em relação ao eixo x. $t_f = t_0 \quad x_0 = \frac{th^2 b^2}{4I_x}.$ $J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_0^3).$ $C_{\omega} = \frac{h^2}{4} (I_y + A x_g^2 - A x_0 x_g).$
	$J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} (bt_f^3 + ht_0^3).$ $C_{\omega} = \frac{1}{36} (b^3 t_f^3 + h^3 t_0^3) \approx 0 \text{ (t pequeno).}$

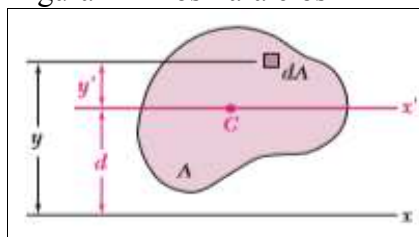
Fonte: Pfeil (2009)

4.4 Teorema dos Eixos Paralelos

Segundo Beer (2011, p.764)

Permite encontrar o momento de inércia de uma área em relação ao eixo, quando se conhece o seu momento de inércia em relação a um eixo central de mesma direção. Reciprocamente, permite determinar o momento de inércia de A em relação ao eixo central x' , quando se é conhecido o momento de inércia I_x de A em relação a um eixo paralelo, subtraindo de I_x o produto Ad^2 . Os teoremas dos eixos paralelos devem ser usados somente se um dos eixos envolvidos for eixo central, figura 4.

Figura 4-Eixos Paralelos



Fonte: Beer (2011)

Considerando o momento de inércia I_x de uma área A em relação ao um eixo arbitrário:

$$I_x = \int_A y^2 dA \quad (3)$$

Traçando o eixo central x' , eixo paralelo ao eixo x que passa pelo centroide C da área. Chamando de y' a distância do elemento dA até esse eixo, pode-se escrever $y = y' + d$, em que d é a distância entre os dois eixos. Logo:

$$I_x = \int_A y^2 dA = \int_A (y' + d)^2 dA \quad (4)$$

Aplicado as propriedades de integrais:

$$I_x = \int_A y'^2 dA + 2d \int_A y' dA + d^2 \int_A dA \quad (5)$$

A primeira integral da equação-3, representa o momento de inércia $I_{x'}$, da área em relação ao eixo central x' . A segunda integral representa o momento estático $Q_{x'}$, da área em relação ao eixo x' e é igual a zero, já que o centroide C está localizado nesse eixo. Realizando manipulações matemáticas, a equação acima reduz-se a formula abaixo que expressa o momento de inércia pelo teorema do eixo paralelos:

$$I_x = I_{x'} + Ad^2 \quad (6)$$

4.5 Esbeltez

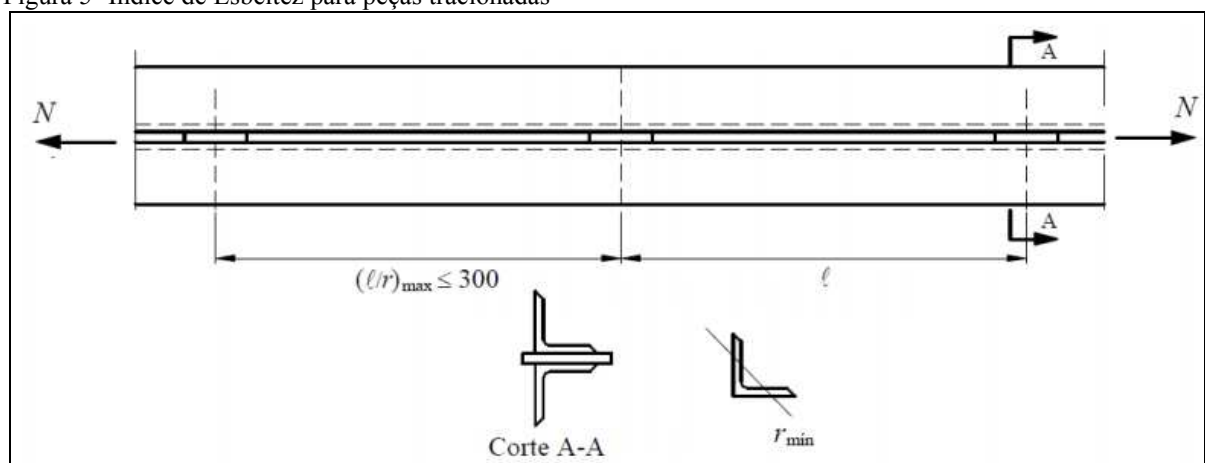
A ABNT NBR 8800 estabelece que a esbeltez é a relação entre largura e espessura (b/t) da seção transversal de um perfil. Em estruturas submetidas ao esforço de compressão, a condição O índice de esbeltez limite não pode ultrapassar o valor de 200. Em peças submetidas ao esforço de tração, o índice de esbeltez não tem importância fundamental, já que os esforços tendem a retificar a haste. (ABNT NBR 8800, 2008, p.36).

Segundo Beer (2011, p.632) “A relação l/r é chamada de índice de esbeltez da coluna. O valor mínimo do raio de giração r deverá ser usado no cálculo de índice de esbeltez e da tensão crítica”

Para tração, conforme figura 5, em barras tracionadas, considera-se o maior vão destravado e o raio de giração mínimo:

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 300 \quad (7)$$

Figura 5- Índice de Esbeltez para peças tracionadas



Fonte: ABNT NBR (8800/2008)

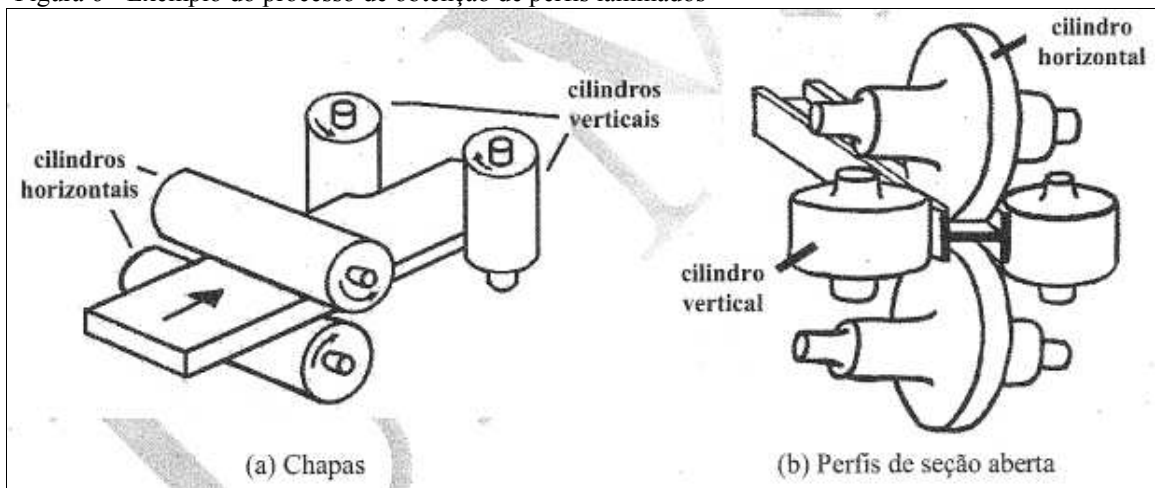
4.6 Perfis Laminados

Perfis laminados, são aqueles em que o material proveniente do lingotamento convencional ou contínuo, como ilustrado na figura 6, passa por laminadores que possuem cilindros conformadores que vão dar forma aos perfis, ver figura 7, através de uma sucessão de passes. (Fakury, 2011, p.29).

Segundo Fakury (2011, p.30):

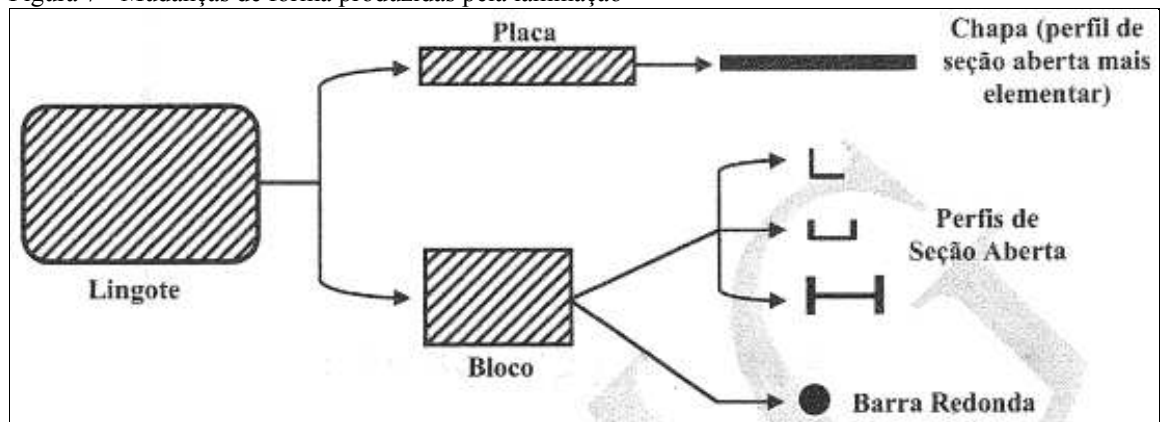
No caso dos perfis de aço, sucintamente, a laminação modifica continuamente, a quente, a seção transversal de um produto metálico pela sua passagem entre um conjunto de dois cilindros paralelos. Um lingote pode então ser transformado em placa, que por sua vez se transforma em chapa. O lingote pode também ser transformado em bloco, que se transforma em perfil de seção aberta ou barra.

Figura 6 - Exemplo do processo de obtenção de perfis laminados



Fonte: Fakury (2011)

Figura 7 - Mudanças de forma produzidas pela laminação



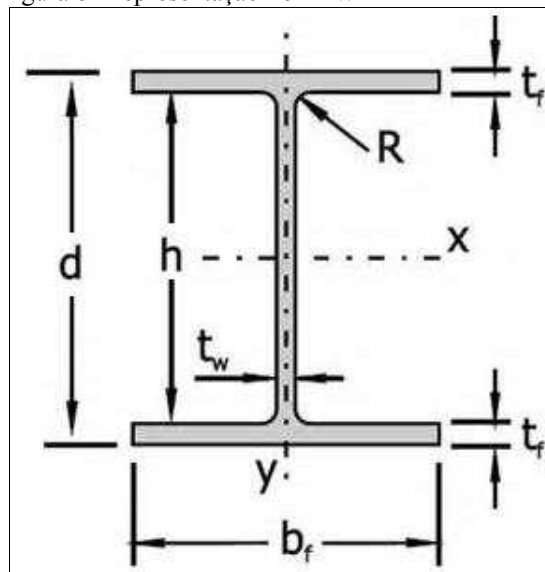
Fonte: Fakury (2011)

Possuem um processo de fabricação de alta qualidade. Em decorrência disso, estes perfis possuem um custo final elevado, porém com propriedades mecânicas superiores. Os

mais conhecidos e produzidos no Brasil são os perfis de seção aberta, perfil I de faces inclinadas seguindo o padrão americano, perfil I e H de faces paralelas obedecendo ao padrão europeu, perfil U e cantoneira (perfil L) de abas iguais (Fakury,2011, p.30).

Perfis laminados, visto na figura 8, possuem alta precisão na concordância entre a alma e as abas e uniformidade na composição química e das propriedades mecânicas. Encontram-se disponíveis nas dimensões de 150mm a 610mm de altura e sua diversidade de bitolas proporcionam flexibilidade em projetos e no processo de dimensionamento estrutural.

Figura 8- Representação Perfil W



Fonte: www.gerdau.com.br

Onde:

T_f : Espessura da mesa;

T_w : Espessura da alma;

b_f : Comprimento da alma;

d : Altura do perfil;

h : Altura interna do perfil;

R : Raio de Concordância;

No Brasil os perfis são designados como:

Código Literal, Altura (mm), Peso (kg/m)

A figura 9, mostra exemplos de designações para perfil tipo W:

Figura 9- Perfil W Laminado

ASTM Designação		Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	Espessura		h mm	d' mm
mm x kg/m	in x lb/ft				t _w mm	t _f mm		
W 150 x 13,0	W 6 x 8.5	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118
W 150 x 18,0	W 6 x 12	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119
W 200 x 15,0	W 8 x 10	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170
W 200 x 19,3	W 8 x 13	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170
W 200 x 22,5	W 8 x 15	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170
W 200 x 26,6	W 8 x 18	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170
W 200 x 31,3	W 8 x 21	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170
W 250 x 17,9	W 10 x 12	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220
W 250 x 22,3	W 10 x 15	22,7	254	102	5,8	6,9	240	220
W 250 x 25,3	W 10 x 17	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220
W 250 x 28,4	W 10 x 19	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220
W 250 x 32,7	W 10 x 22	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220
W 250 x 38,5	W 10 x 26	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220
W 250 x 44,8	W 10 x 30	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220

Fonte: www.gerdau.com.br

4.7 Perfis Soldados

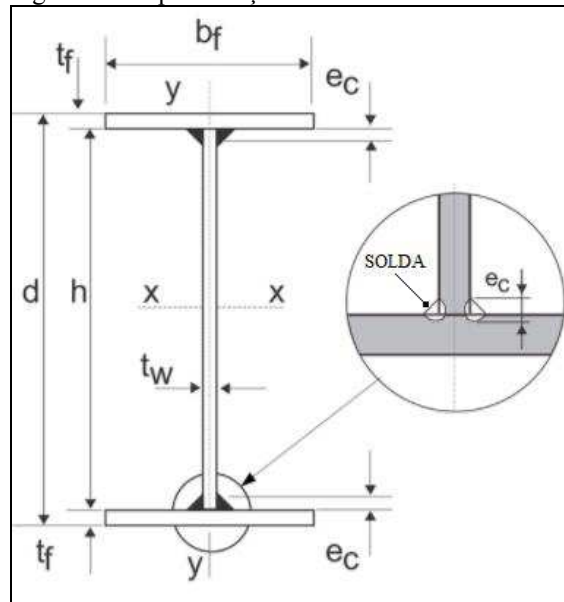
São produzidos pelo corte, composição e solda elétrica das chapas planas de aço, permitindo grande variedade de formas e dimensões de seções. FACURY (2011, p.26) “Os perfis soldados mais comuns são do tipo I ou H, constituídos de três chapas cortadas nas dimensões apropriadas. Esses perfis são prescritos pela norma brasileira ABNT NBR 588:2005 (Perfil I Estrutural de aço Soldado por arco elétrico), ver figura 9”.

Os perfis soldados mais comuns são do tipo I ou H, figura 10, feitos de três chapas cortadas nas dimensões padrões apropriados. Tais perfis, são regidos pela norma brasileira ABNT NBR 5884: 2005 (Perfil I e estrutura de Aço soldado por arco elétrico). Esta, determina os critérios necessários para a fabricação dos assim divide nas seguintes séries:

- Série CS: A sigla corresponde a coluna soldada, sendo composta por perfil simétricos, destinados a serem usados como componentes estruturais compridos axialmente. A largura da mesa corresponde sempre a altura da seção transversal.
- Série VS: A sigla corresponde a viga soldada. São de perfis de tipo I, duplamente simétricos, usadas principalmente como barras predominantemente fletidas. A alturas desses perfis pode variar de 150mm a 200mm.

- Série CVS: A sigla significa coluna viga soldada. Estes perfis são destinados aplicações onde se há a combinação de esforços de flexão e compressão axial. A altura destes perfis pode variar de 150mm a 1000mm

Figura 10- Representação Perfil Soldado



Fonte: perfilssoldado.com.br

Onde:

- d : Altura da mesa do perfil;
- b_f : Largura da mesa do perfil;
- t_w : Espessura da alma;
- t_f : Espessura da mesa;
- h : Altura da alma;
- e_c : Perna efetiva do cordão de solda

5 - NORMAS

5.1 ABNT NBR 8800/2008

A ABNT NBR, uso o critério dos estados limites e determina os critérios básicos que devem ser usados e obedecidos em projetos de estruturas de aço e mistas de aço e concreto à temperatura ambiente, para perfis de aço laminados, soldados ou de seção tubular.

A norma ABNT NBR 8800:2008, publicada há cerca de dois anos, representou um marco importante para a evolução das estruturas de aço e mistas de aço e concreto no Brasil. Essa norma, finalizada após cerca de cinco anos de discussões, apresenta procedimentos atualizados, similares aos das normas internacionais mais aceitas, e compatíveis com outras normas brasileiras. Seu escopo engloba elementos estruturais com perfis abertos e tubulares. (ABNT NBR 8800/2008).

Coefficientes de ponderações da resistência, são constantes utilizadas para obtenção dos valores do cálculo da resistência, conforme a tabela 1.

Tabela 1- Valores dos Coeficientes de Ponderações das Resistências

Combinações	Aço estrutural γ_a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

Fonte: ABNT NBR 8800 (2008)

Diante de cada caso, o responsável técnico pelo projeto deve determinar qual deslocamento, dados na tabela a baixo, devem ser comparados com os valores calculados conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Deslocamentos Máximos

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{g)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

Fonte: ABNT NBR 8800 (2008)

6 - VARIAÇÃO DE MARÉS

Localizada a sudoeste de São Luís, no golfo maranhense, a baía de São Marcos destaca-se por apresentar condições propícias para o desenvolvimento de atividades portuárias. Isso justifica-se, devido ao aspecto geológico resultando de um sistema de falhas que ocorrem devido a movimentação contrária de blocos litosféricos.

A baía de São Marcos apresenta largura variando de 8 a 23 milhas na linha de costa e considerável profundidade em torno de 6 a 7m. Suas características morfológicas e extensão, permitem que haja grande volume de água circulante formando corrente que realizam a manutenção. Existem outros componentes que garantem a potencialidade portuária local, como condições climáticas favoráveis ao longo de todo o ano, variação adequada de marés, e ausência de fenômenos como furações, terremotos (Milen A..F., et al., 2006).

Segundo (Milen A..F., et al., 2006), a baía apresenta condições suficientes para atracamento e trânsito de navios de grande porte, a exemplo o Bergen Stahl, figura 11, um dos maiores do mundo :

A baía de São Marcos, pela sua potencialidade agrupa vários portos, dentre eles destacam-se: O Porto do Itaqui, terminal da ponta da madeira, terminal do consórcio Alumínio do Maranhão e Terminal Ponta da madeira. Estes portos recebem navios graneleiros que transportam minério de ferro, carvão, coque, piche, soda cáustica, alumina, bauxita, soja e outros. A existência de um complexo portuário em São Luís torna a cidade um pólo de atração para indústrias que utilizam o transporte marítimo, a Companhia Vale do Rio Doce e Consórcio Alumínio do Maranhão são exemplos de empresas que se instalaram na cidade, atraídas, dentre outros fatores, pela potencialidade portuária. A atividade portuária na baía de São Marcos agride o ambiente: a qualidade do ar local fica reduzida

Figura 11 - Navio Bergen Stahl



Fonte: www.portosma.com.br

7 - METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste projeto consistirá inicialmente em identificar os parâmetros críticos, com base em premissas estabelecidas pelos desenhos de referência. Após essa fase inicial, usando as normas NBR 8800/2008, NBR 6120/80 e NBR 6123/88 mensurar as cargas que a estrutura da rampa de acesso estará submetida para efetuar o dimensionamento das vigas principais, secundarias e contraventamentos.

Pelos critérios da resistência dos materiais, determinar a transmissibilidade de esforços para a estrutura da balsa, no propósito de identificar a máxima condição de sobrecarga e solicitações. Estando a par dessas informações, dimensionar a resistência dos elementos de ligação, como soldas e ligações aparafusadas.

Utilizar os conceitos de mecânica dos fluidos para determinar alguns dos parâmetros de fluabilidade da balsa, como: tombamento, o metacentro, centro de gravidade e calado. Paralelo as etapas, será realizada simulação computacional utilizando o método de elementos finitos, nos softwares Solid Works e Ftool, para certificar os resultados analíticos.

8 - RESULTADOS:

Apresentamos as condições iniciais de projetos, levadas em consideração como premissas, bem como as verificações estruturais e resultados finais e discursões.

8.1 Premissas de projeto:

Os dados a seguir, são referentes aos aços utilizados no projeto, peso próprio aproximado da escada de acesso e da estrutura do píer flutuante e sobrecarga conforme atribuído pela NBR 6120 para passagem de pessoas equipamentos. São informações que servem como condições iniciais do projeto para efetuar o processo de dimensionamento:

- Aço ASTM A36 – Perfis U, Cantoneiras e chapas:

$$a) \quad f_y^{ASTM-A36} = 25kN/cm^2 \text{ (Limite de escoamento);}$$

$$b) \quad f_u^{ASTM-A36} = 40,0kN/cm^2 \text{ (Limite de resistência);}$$

- Aço ASTM A588 – Perfis U, Cantoneiras e chapas:

$$c) \quad f_y^{ASTM-A588} = 34,5kN/cm^2 \text{ (Limite de escoamento);}$$

$$d) \quad f_u^{ASTM-A588} = 48,5kN/cm^2 \text{ (Limite de resistência);}$$

- Aço SAE 1045 – Perfis U, Cantoneiras e chapas:

$$e) \quad f_y^{SAE-1045} = 45,0kN/cm^2 \text{ (Limite de escoamento);}$$

$$f) \quad f_u^{SAE-1045} = 65,3kN/cm^2 \text{ (Limite de resistência);}$$

- Eletrodo AWS - E7018 – Ligações Soldadas:

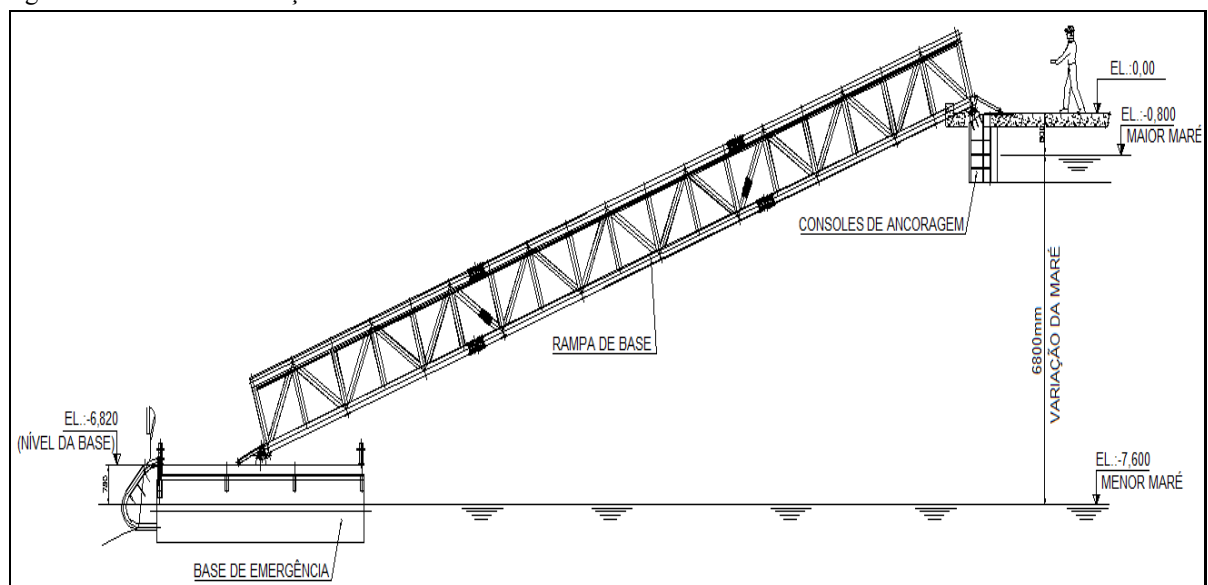
$$g) \quad f_y^{E7018} = 64,0kN/cm^2 \text{ (Limite de escoamento);}$$

- Peso aproximado da escada de acesso: $P_e = 8963,0kgf$;
- Peso aproximado do píer flutuante: $P_{pier} = 16325,0kgf$
- Peso de pessoas e equipamento de pequeno porte (NBR6120): $SC = 300kgf/m^2$
- Peso específico da água do mar a 25°C: $\gamma_{mar} = 1026,0kgf/m^3$;
- Viscosidade cinemática da água do mar a 25°C: $\nu_{mar} = 0,97 \cdot 10^{-6} m^2/s$

8.2 Verificação Estrutural Rampa de

Para a verificação da resistência estrutural da rampa de acesso, figura 12, inicialmente foi mensurada a carga atuante sobre esta, tendo por base o seu peso próprio e sobrecarga accidental adotada conforme recomendações da norma NBR 6120/08 e NBR 8800/08. Tal estrutura possui configuração treliçada, onde os banzos superiores e inferiores são constituídos por perfis VS de bitola 200x19kg/m e os montantes e diagonais de perfis W150x13kg/m.

Figura 12 - Vista em Elevação da Plataforma de Acesso



Fonte: Elaborado pelo Próprio Autor

8.2.1 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso

Os perfis metálicos que serão contemplados nesta verificação inicial, são vigas do tipo VS 200 x 19kg/m dos banzos superior e inferior da estrutura da rampa de acesso, sendo estas, as vigas principais e mais sobrecarregadas. Tendo em vista essas considerações, a carga distribuída será majorada para uma condição unifilar. Para tal, considera-se o peso próprio da rampa, juntamente com a sobrecarga adotada conforme a NBR 6120.

Conforme a fabricante **GERDAU**, figura 13, tem-se as características geométricas para o perfil VS 200 x 19kg/m:

Figura 13- Propriedades Geométricas

PERFIS SOLDADOS SÉRIE VS NBR 5884	MASSA LINEAR m kg/m	ÁREA cm ²	ALT. d mm	ALMA		ABAS		EIXO X-X				EIXO Y-Y			
				t _w mm	h mm	t _f mm	b _f mm	I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³
VS 150 x 15	15,0	19,1	150	4,75	137	6,3	100	754	100	8,28	113	105	21	2,34	32
VS 150 x 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8,0	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41
VS 150 x 19	19,2	24,4	150	6,30	134	8,0	100	934	124	6,18	142	134	27	2,34	41
VS 150 x 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1028	137	6,38	154	158	32	2,51	48
VS 150 x 21	21,4	27,3	150	6,30	131	9,5	100	1057	141	6,23	161	159	32	2,41	49
VS 200 x 19	18,9	24,0	200	4,75	187	6,3	120	1679	168	8,36	188	182	30	2,75	46
VS 200 x 20	19,8	25,3	200	4,75	187	6,3	130	1797	180	8,43	200	231	36	3,02	54

Fonte: www.gerdau.com.br

Calculando a carga distribuída linearmente para uma disposição unifilar sobre a viga VS, de acordo com o seu respectivo vão de influência, peso próprio da estrutura da rampa de acesso e sobrecarga de 300kgf/m² conforme a “Tabela 2 – Valores Mínimo das cargas verticais” da NBR 6120, tem-se:

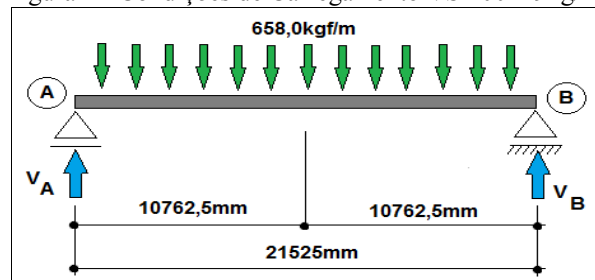
$$q = \frac{PP}{A_{INFLUÊNCIA}} + \frac{SC \cdot A_{PROJEÇÃO}}{A_{INFLUÊNCIA}} \quad (8)$$

Assim:

$$q = \frac{8963,0kgf}{2 \cdot 21,525m} + \left(\frac{300 \frac{kgf}{m^2} \cdot 64,5m^2}{2 \cdot 21,525m} \right) = 658,0kgf / m$$

A configuração de carregamento é baseada em uma distribuição bi apoiada, figura 14, já que a rampa se encontra apoiada na estrutura da balsa e do píer:

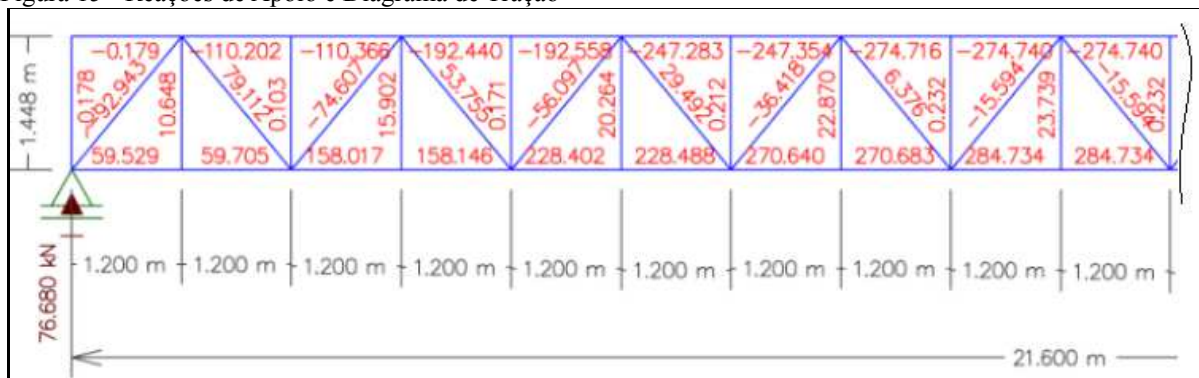
Figura 14-Condições de Carregamento VS 200x19kg/m



Fonte: Elaborado pelo Autor

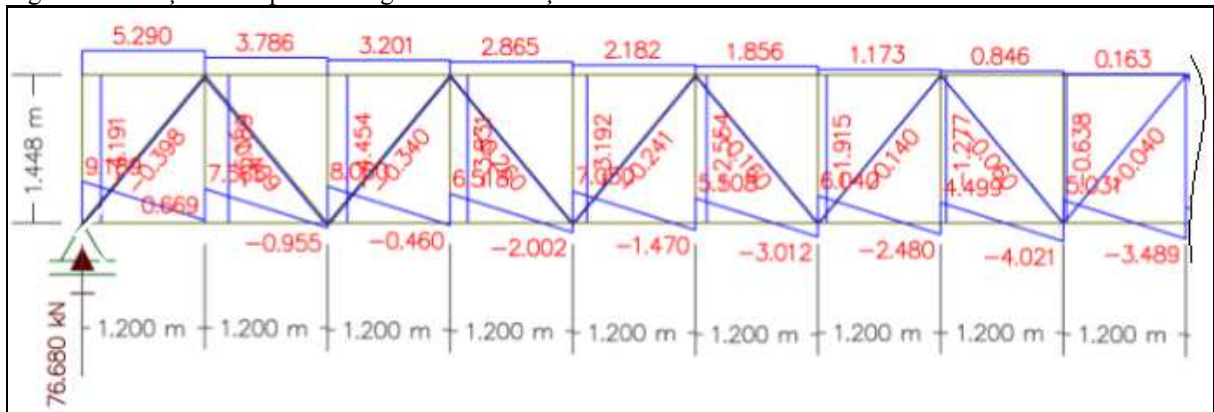
Pelo software FTOOL, também foi possível mensurar os esforços de tração e cortantes, observando-se as maiores solicitações de esforços na estrutura da rampa de acesso, isto pode ser visto nas figuras 15, 16 e 17 respectivamente.

Figura 15 - Reações de Apoio e Diagrama de Tração



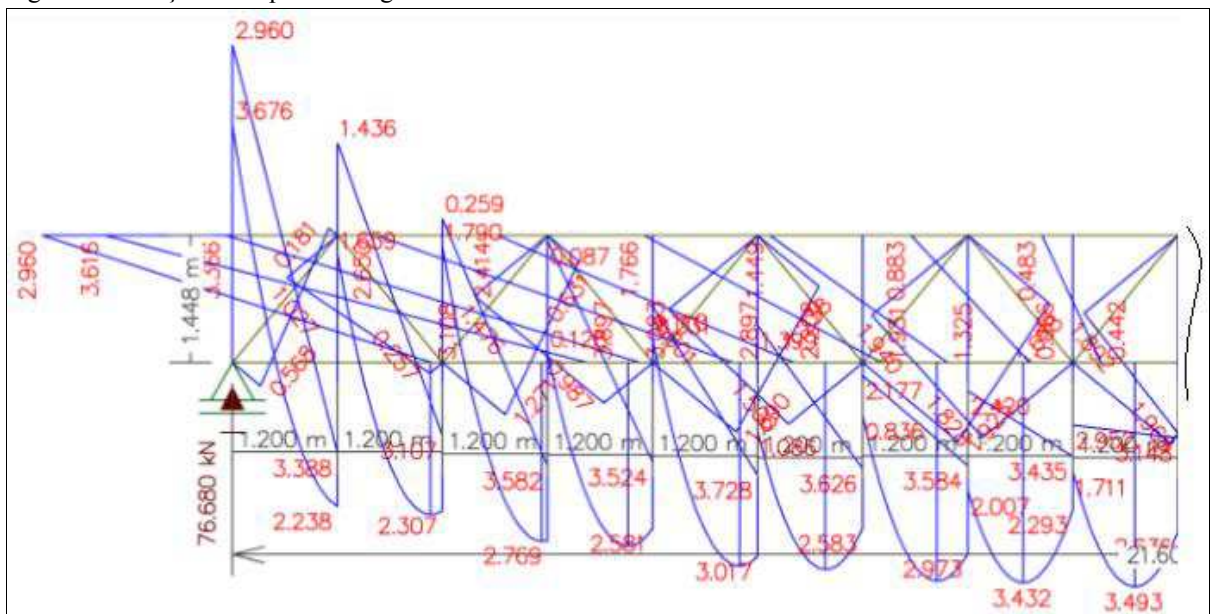
Fonte: Gerada pelo Software FTOOL

Figura 16- Reações de Apoio e Diagrama de Esforços Cortantes



Fonte: Figura gerada pelo Software FTOOL

Figura 17- Reações de Apoio e Diagrama de Momento Fletor



Fonte: Figura gerada pelo Software FTOOL

Pelas condições de equilíbrio da estática:

$$V_A + V_B = 13668,4 \text{ kgf} \quad (9)$$

Sendo:

$$\sum F_y = 0 \therefore \sum F_x = 0 \quad (10)$$

Equação do momento:

$$\sum M_{(A)} = F \cdot d \quad (11)$$

Assim, com base nas equações acima encontram-se as reações de apoio:

$$\sum M_{(A)} = 0 \rightarrow 21525 \cdot V_B - 658 \cdot 21,525 \cdot 10762,5 = 0 \therefore V_B = V_A = 7082,0 \text{ kgf}$$

O momento máximo Verificado na Estrutura da escada:

$$M_{calc}^{rampa} = 7082,0 \text{ kgf} \cdot 10762,5 \text{ mm} - 658,0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \cdot 10,7625 \cdot 5381,25 \text{ mm}$$

$$M_{calc}^{rampa} = 38111492,34 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

Módulo de resistência calculado:

$$W_{calc}^{rampa} = \frac{M_{calc}^{rampa}}{\sigma_{adm}} \quad (12)$$

Onde:

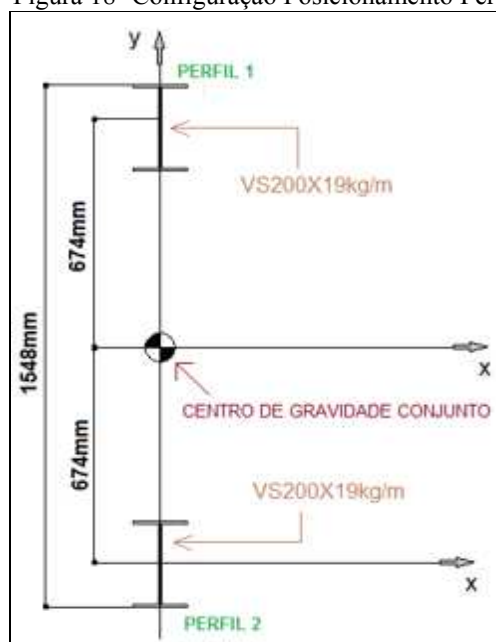
$$M_{calc}^{rampa} = 38111492 \text{ kgf} \cdot \text{mm};$$

Logo:

$$W_{calc}^{rampa} = \frac{M_{calc}^{rampa}}{\sigma_{adm}} = \frac{38111492,34 \text{ kgf} \cdot \text{mm}}{14,0 \text{ kgf} / \text{mm}^2} = 2722,25 \text{ cm}^3$$

Para encontrar o módulo de resistência característico do perfil, observa-se que as vigas VS estão trabalhando em conjunto, conforme o teorema dos eixos paralelos, figura 18, desta forma distribuindo igualmente os esforços atuantes.

Figura 18- Configuração Posicionamento Perfil VS



Fonte: Elaborado pelo Autor

Aplicando o teorema dos eixos paralelos determina-se nova configuração para o centro de gravidade:

Tabela 3 - Propriedades geométricas Perfil VS200x19kg/m Eixos Paralelos

PERFIL	$A_i (cm^2)$	$X_{CGI} (cm)$	$d_i x = X_{CGI} - X_{CG} (cm)$	$I_{Xi} (cm^4)$	$A_i dX_i^2 (cm^4)$	$I_{Yi} (cm^4)$
1	24,0	10,0	-67,4	1679	109026,24	182
2	24,0	10,0	67,4	1679	109026,24	182
TOTAL	48			3358	218052,48	364

Fonte: Gerada pelo próprio Autor

Equação do teorema dos eixos paralelos:

$$I_{X1} = \Sigma I_X + \Sigma A_i dX_i^2$$

Calculando o momento de inércia em relação ao eixo X - X:

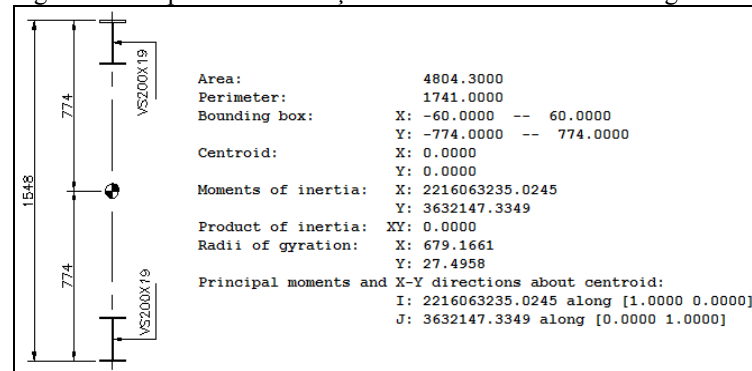
$$I_{X1} = 1679 cm^4 + 218052,48 cm^4 = 219731,48 cm^4$$

Em relação ao eixo Y – Y, o momento de inércia permanece constante, já que o eixo Y passa pelo centro do perfil, sendo assim não há distância entre o eixo e o centro de gravidade, logo:

$$I_{Y1} = \Sigma I_{Xi} = 3358 cm^4$$

Pelo Autocad, faz-se uma segunda verificação para confirmar os valores encontrados para os momentos de inércia. Combinando as propriedades geométricas, determina-se o centro de gravidade. Conforme a figura 19, tem-se:

Figura 19- Propriedades de Seção Para o Perfil VS 200 x 19kg/m



Fonte: Elaborada pelo Autor no Software Autocad

Assim as propriedades são dadas abaixo:

$$I_{x-x}^{Escada} = 2216063235,0mm^4 - (\text{Momento inércia no eixo X-X});$$

$$c_{y-y}^{Escada} = 774,0mm - (\text{Distancia da borda ao centro});$$

Módulo de Resistência Característico no eixo X-X:

$$W_{x-x}^{Escada} = \frac{I_{x-x}^{Escada}}{c_{y-y}^{Escada}}$$

Calculando-se:

$$W_{x-x}^{Escada} = \frac{I_{x-x}^{Escada}}{c_{y-y}^{Escada}} = \frac{2216063235,0mm^4}{774mm}$$

$$W_{x-x}^{Escada} = 2863130,0mm^3 = 2863,13cm^3$$

Por tanto, como o módulo de resistência característico do perfil ao longo do eixo x-x é superior ao módulo de resistência calculado $W_{x-x}^{rampa} = 2863,13cm^3 > W_{calc}^{rampa} = 2722,25cm^3$, assim o perfil VS atende as solicitações de esforços, para condições indicadas!

8.2.2 Verificação da Flecha

Pela resistência dos materiais, a equação para o cálculo da flecha para uma condição de viga bi apoiada com carregamento distribuído:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_{x-x}} \quad (13)$$

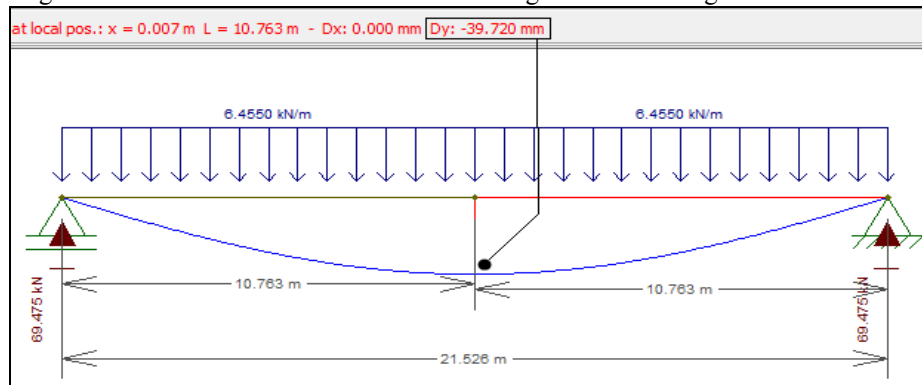
O momento de inércia da Equação 13 será considerando em relação ao eixo X-X. Assim, conforme foi verificado na figura 19, tem-se o momento de inércia para a viga VS 200x19kg/m, trabalhando em conjunto. A carga será: $q = 658kgf/m^2 = 6,455kN/m^2$

Assim, tem-se:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_{x-x}} = \frac{5 \cdot 0,645kgf/mm \cdot 21528mm^4}{384 \cdot 20000kgf/mm^2 \cdot 2216063235mm^4} = 41,52mm$$

Pelo Software Ftool, para as condições de carregamento indicadas acima, pode-se efetuar uma segunda verificação para flecha calculada, figura 20.

Figura 20 - Flecha Calculada na Estrutura da Viga VS 200 x 19kg/m



Fonte: Imagem gerada pelo Software FTOOL

A flecha calculada através da equação - 13, pela resistência dos materiais, se aproxima do valor verificada pelo software, demonstrando que os resultados encontrados são pertinentes.

Pelo anexo C da NBR 8800 Tabela C.1 – “*Deslocamentos Máximos*”, A flecha máxima admissível na plataforma de acesso, para deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base:

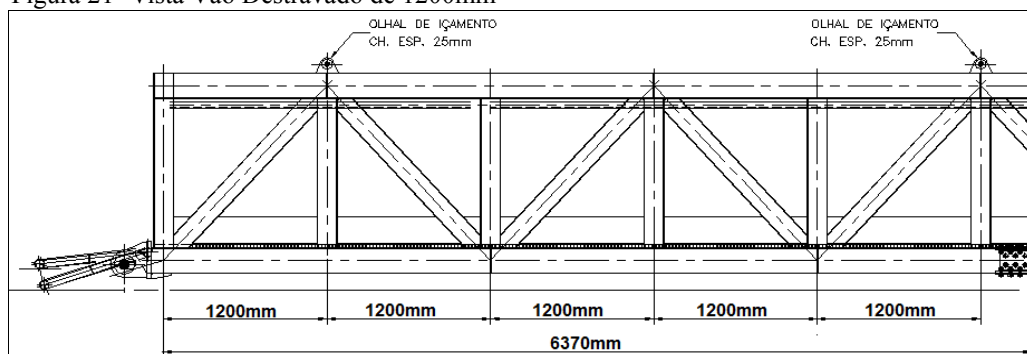
$$f_{adm} = \frac{H}{400} = \frac{21525mm}{400} = 53,8mm \quad (14)$$

Desta forma, verifica-se que a flecha calculada de 41,52mm é inferior a flecha admissível acima, logo o perfil VS atende as solicitações.

8.2.3 Carga Máxima de Flambagem

A ação da compressão pode introduzir na estrutura esforços de flambagem. Neste item faz-se a verificação da carga máxima de flambagem. Como há reforço de chapa nos pontos de ligações entre banzo, diagonais e montantes, tem-se comprimento máximo destravado de flambagem correspondente a 1200mm, conforme figura 21:

Figura 21 -Vista Vão Destravado de 1200mm



Fonte: Elaborado Pelo Autor

Cargas Máximas no perfil VS200x19kg/m, obtidas pelo software FTOOL:

$$N_{VS200} = 274,740kN \text{ (Maior Compressão, ver figura 15);}$$

$$V_{VS200} = 9,189kN \text{ (Maior Cortante, ver figura 16);}$$

Flambagem por compressão:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y-y}^{VS200x19}}{(k \cdot L_{VS200})^2} \quad (15)$$

Onde:

$$I_{y-y}^{VS200x19} = 1820000,0mm^4 \text{ - Momento de Inércia no eixo y-y;}$$

$$L_{VS200x19} = 1200,0mm \text{ - Comprimento efetivo de flambagem;}$$

$$k = 1,5 \text{ - Fator dependente do tipo de fixação (adotada condição crítica);}$$

Assim:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 1820000}{(1,5 \cdot 1200)^2} = 113650,0kgf$$

Como $113650,0kgf = 1115kN > 274,740kN$. Atende as solicitações de esforços!

8.2.4 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso

Pelo vão destravado de 1200mm, verifica-se a carga máxima de tração que o perfil pode suportar. Considerando um fator de segurança de 75% da área da seção do perfil VS, e a tensão de escoamento do aço ASTM A36, chega-se a equação:

$$S_T = 0,75 \cdot A_{VS200} \cdot f_y^{ASTM-36} \quad (16)$$

Onde:

$$A_{VS200} = 2400mm^2 \text{ - Área efetiva da seção do perfil;}$$

Logo:

$$S_T = 0,75 \cdot 2400 \cdot 25 = 45000 \text{ kgf} > 274,740 \text{ kN}.$$

Sabe-se ainda que para compressão segundo esbeltez pela NBR8800/08:

$$\lambda^{VS200X19} = k \cdot \frac{L_{VS200}}{r_{y-y}^{VS200X19}}$$

A NBR 8800/08, atribui que todos os perfis submetidos a condições críticas de compressão, devem obedecer a reação de esbeltez $\lambda^{NBR8800} < 200$

Onde, considera-se o raio de giração do perfil no sentido mais fraco:

$$r_{y-y}^{VS200X19} = 27,5 \text{ mm} - \text{Raio de giração no eixo y-y;}$$

Logo, calculando:

$$\lambda^{VS200X19} = 1,5 \cdot \frac{1200 \text{ mm}}{27,5 \text{ mm}} = 66$$

Como $\lambda^{VS200X19} = 66$ é inferior a 200, logo o perfil atende as solicitações para o índice de esbeltez!

8.3. Resistência perfil W150x13kg/m - Carga de Flambagem (Montagem e Diagonais)

Os montantes e diagonais da estrutura treliçada da rampa, são compostas por perfis W150x13kg/m. Os esforços atuantes nesses conjuntos, estão indicados nas figuras 15 e 16, geradas pelo Software FTOOL. Devido ao reforço de chapa nos pontos de ligações entre banzo, diagonais e montantes, tem-se comprimento máximo de flambagem de 1881mm:

8.3.1 Cargas Máximas no perfil W150x13kg/m

$$N_{W150x13} = 92,943 \text{ kN} \text{ (Maior Compressão, figura 15);}$$

$$V_{W150x13} = 9,189 \text{ kN} \text{ (Maior Cortante, figura 16);}$$

Flambagem por compressão:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y-y}^{W150x13}}{(k \cdot L_{W150})^2}$$

Onde:

$$I_{y-y}^{W150 \times 13} = 820000,0 \text{ mm}^4 - \text{Momento de Inércia no eixo y-y};$$

$$L_{W150} = 1881,0 \text{ mm} - \text{Comprimento efetivo de flambagem};$$

$k = 1,5$ - Fator dependente do tipo de fixação colunas (adotada condição crítica);

Assim:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 820000}{(1,5 \cdot 1881)^2} = 20840,0 \text{ kgf}$$

Como $20840,0 \text{ kgf} > 92,943 \text{ kN}$. O perfil atende as solicitações de esforços!

8.3.2. Resistência a Tração

Pelo o vão destravado de 1881mm, verifica-se a carga máxima de tração que o perfil pode suportar. Considerando um fator de segurança de 75% da área da seção do perfil VS, e a tensão de escoamento do aço ASTM A36, chega-se a equação:

$$S_T = 0,75 \cdot A_{W150} \cdot f_y$$

Onde:

$$A_{W150} = 1660,0 \text{ mm}^2 - \text{Área efetiva da seção do perfil};$$

Logo:

$$S_T = 0,75 \cdot 1660 \cdot 25 = 31125,0 \text{ kgf} > 92,943 \text{ kN}. \text{ Atende a solicitação,}$$

Sabe-se ainda que para compressão segundo esbeltez pela NBR8800/08:

$$\lambda^{W150 \times 13} = k \cdot \frac{L_{W150 \times 13}}{r_{y-y}^{W150 \times 13}} < 200$$

Considera-se o raio de giração do perfil no sentido mais fraco:

$$r_{y-y}^{W150 \times 13} = 22,20 \text{ mm} - \text{Raio de giração no eixo y-y};$$

Logo:

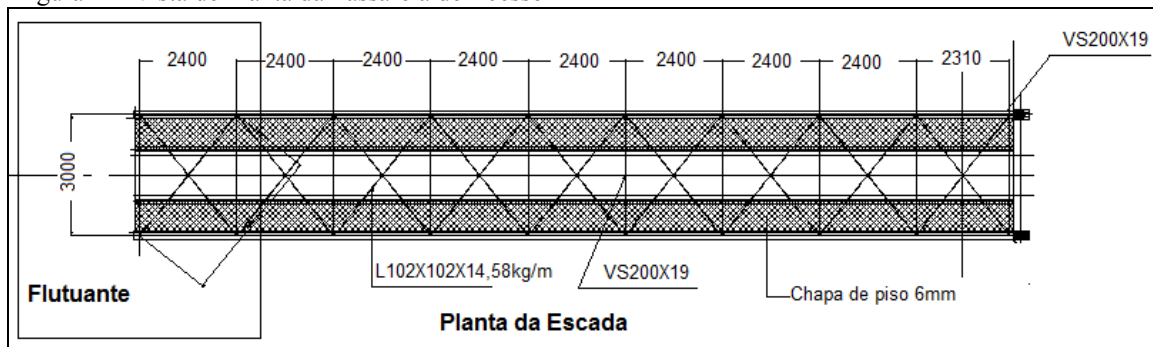
$$\lambda^{W150 \times 13} = 1,5 \cdot \frac{1881mm}{22,2mm} = 127$$

Como $\lambda^{W150 \times 13} = 127$ é inferior a 200, logo o perfil atende as solicitações para o índice de esbeltez!

8.4 Resistência Do Contravento Inferiores Da Rampa De Acesso

Sabe-se que a carga de $300kgf/m^2$ tem-se carga distribuída no contravento da rampa de acesso para o perfil VS200x19kg/m de vão 3000mm, conforme está indicado na figura 22.

Figura 22- Vista de Planta da Passarela de Acesso



Fonte: Desenho Elaborado pelo Autor

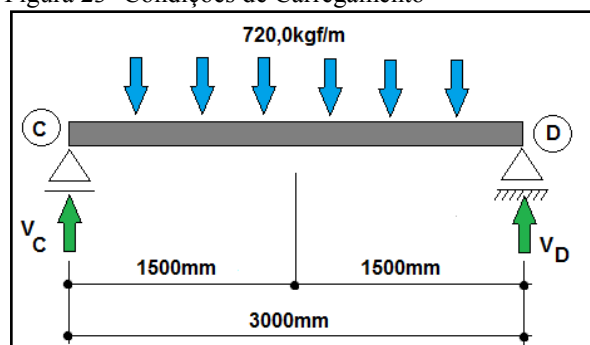
Considerando a sobrecarga e o respectivo vão de influência, tem-se:

$$q_{VS} = SC \cdot A_{INFLUÊNCIA} \quad (17)$$

Calculando, obtém-se as condições de carregamento, figura 23:

$$q_{VS} = 300 \frac{kgf}{m^2} \cdot 2,40m = 720,0kgf/m$$

Figura 23- Condições de Carregamento



Fonte: Elaborado pelo Autor

Pelas equações de equilíbrio da estática:

$$V_C + V_D = 2160,0 \text{ kgf}$$

Sendo:

$$\sum F_y = 0 \therefore \sum F_x = 0$$

Equação do momento:

$$\sum M_{(A)} = F \cdot d$$

Pela equação de Momento em relação ao Ponto C tem-se

$$\sum M_{(C)} = 0 \rightarrow 3000 \cdot V_D - 720 \cdot 1,5 \cdot 750 = 0 \therefore V_C = V_D = 1080,0 \text{ kgf}$$

O momento máximo verificado no contravento:

$$M_{calc}^{CT} = 1080 \text{ kgf} \cdot 1500 \text{ mm} - 720,0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 750 \text{ mm}$$

$$M_{calc}^{CT} = 810000,0 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

Temos o módulo de resistência calculado de:

$$W_{calc}^{CT} = \frac{M_{calc}^{CT}}{\sigma_{adm}} = \frac{810000,0 \text{ kgf} \cdot \text{mm}}{14,0 \text{ kgf} / \text{mm}^2} = 57,90 \text{ cm}^3$$

Adotando-se fator de segurança 1,5 tem-se:

$$W_{calc}^{CT} = 1,5 \cdot 57,90 = 86,9 \text{ cm}^3$$

Módulo de resistência no eixo x-x do perfil VS200x19kg/m é:

$$W_{x-x}^{VS200x19} = 172,0 \text{ cm}^3$$

$$\text{Como } W_{x-x}^{VS200x38} > W_{Calc}^{CT}. \text{ Logo atende}$$

Sabe-se ainda que para cálculo do arraste da água do mar com a superfície inferior do píer flutuante depende da viscosidade, velocidade do mar e altura de contato da superfície do

pier com a água do mar. Pela equação da viscosidade dinâmica:

$$\mu = \gamma_{mar} \cdot \nu_{mar} \quad (18)$$

Tensão de cisalhamento é:

$$\tau = \mu \frac{V_{máx}}{h} \quad (19)$$

Onde, a região de contato entre a estrutura da balsa flutuante e água do mar, será adotada camada limite:

$$h = 1,0mm = 0,001m$$

Calculando:

$$\tau = \gamma_{mar} \cdot \nu_{mar} \cdot \frac{V_{máx}}{h} = 1026 \cdot 0,97 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{18,0}{0,001} = 18,0 N/m^2 = 1,80 kgf/m^2$$

Fazendo uma segunda verificação, desta vez adotando como critério a carga dinâmica do vento. Considerando a equação de Pressão Dinâmica do vento conforme a NBR 6123/88:

$$qk = 0,613 \cdot V_k^2 (N/m^2) \quad (20)$$

Adotando-se a velocidade característica do vento no litoral:

$$V_k = V_{máx} = 18,0 m/s$$

Então:

$$qk = 0,613 \cdot 18^2 = 198,6 N/m^2$$

$$qk = 19,86 kgf/m^2$$

Verifica-se que a tensão de cisalhamento da água do mar na região do projeto possui baixa intensidade de 1,8 kgf/m². Para compensar uma possível deficiência da condição inicial, a velocidade característica do vento, será utilizado como tensão de cisalhamento correspondente a $\tau = 19,86 kgf/m^2$.

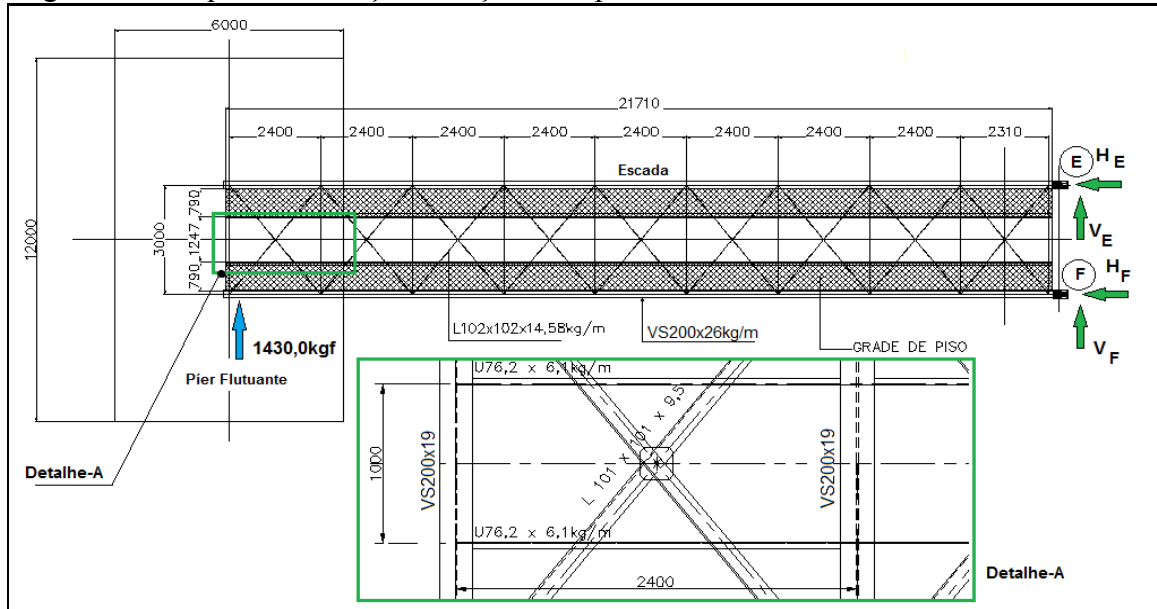
Sendo a área de projeção da superfície de contato do pier flutuante com a água do mar:

$$A_{PROJEÇÃO}^{BALSA} = 6,0m \cdot 12,0m = 72m^2 \quad (21)$$

Então a força atuante nos travamentos, conforme mostra a figura 24 é:

$$F = \tau \cdot 72,0m^2 = 1430,0kgf \quad (22)$$

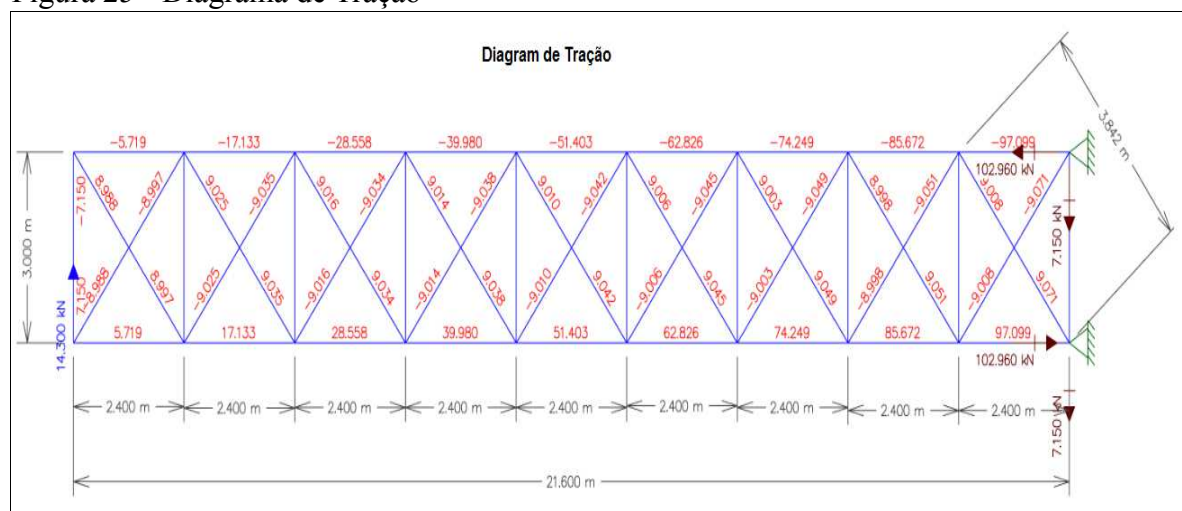
Figura 24 - Esquema de forças e reações nos pinos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

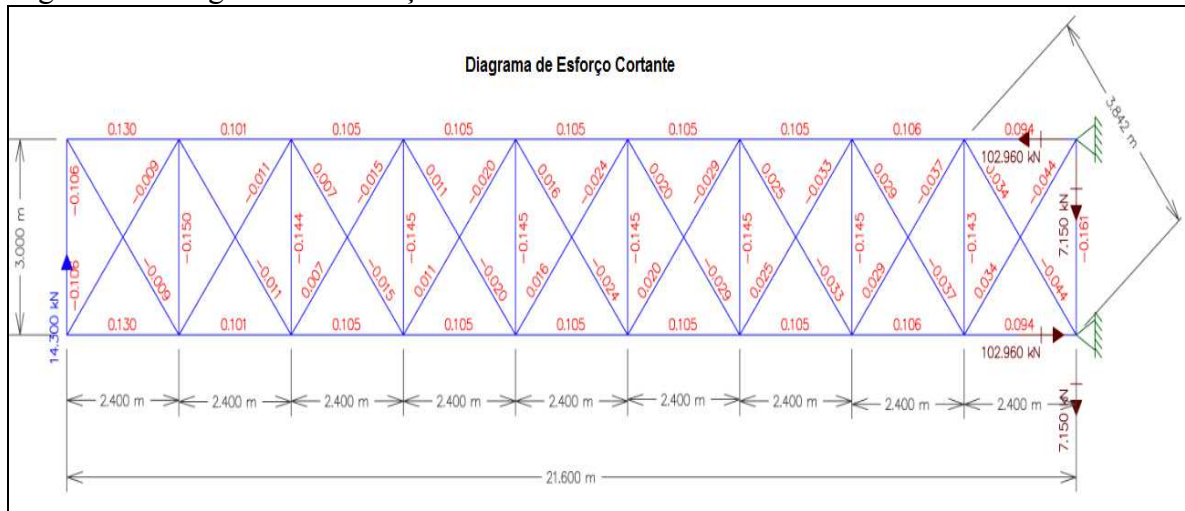
Tem-se então a carga de arraste aproximado do pódio flutuante para uma condição crítica de 18,0m/s, velocidade do vento no litoral (65,0km/h). Assim pode-se calcular a resistência da escada para condições horizontais de força. Com os dados da figura 23 e utilizando-os para análise no software Ftool, obteve-se os diagramas de tração, esforço cortante e momento fletor mostrados nas figuras 25, 26 e 27 respectivamente.

Figura 25 - Diagrama de Tração



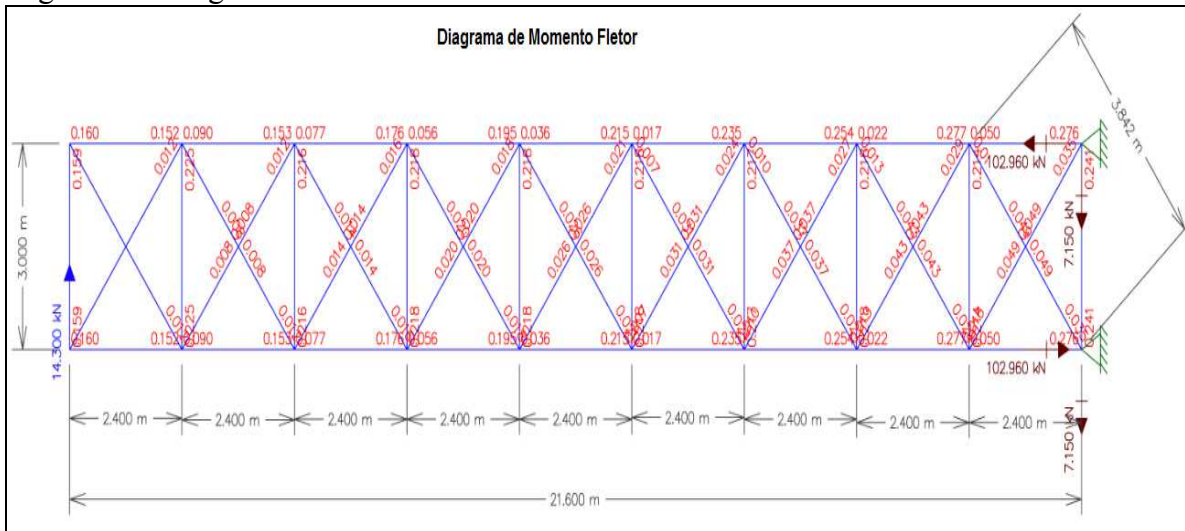
Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Ftool

Figura 26 - Diagrama de Esforços Cortantes



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Ftool

Figura 27 - Diagrama de Momento Fletor



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Ftool

Calculando o Momento Máximo no Perfil Duplo -VS200x19:

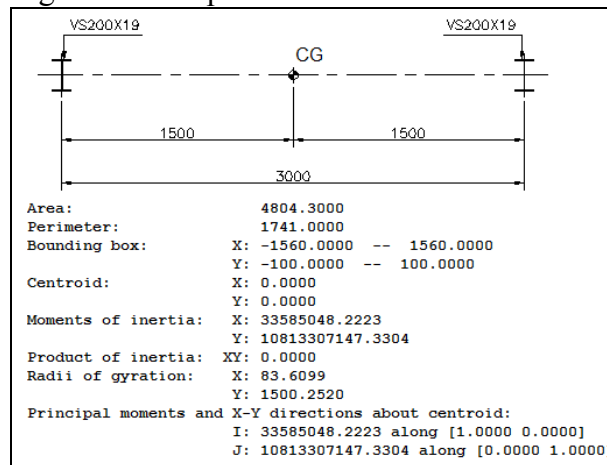
$$M_F = 1430,0 \text{ kgf} \cdot 21600 \text{ mm} = 30888000,0 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

Módulo de Resistência:

$$W_F = \frac{M_F}{\sigma_{adm}} = \frac{30888000,0 \text{ kgf} \cdot \text{mm}}{14,0 \text{ kgf} / \text{mm}^2} = 2206,30 \text{ cm}^3$$

Têm-se as propriedades geométricas da seção característica básicas dos perfis considerados, figura 28:

Figura 28 - Propriedades Geométricas do Perfil VS



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Autocad

Assim as propriedades são dadas abaixo:

$$I_{y-y}^{VS-Duplo} = 10813307147,3mm^4 - (\text{Momento inércia no eixo x-x});$$

$$c_{x-x}^{VS-Duplo} = 1565,0mm - (\text{Distancia da borda ao centro});$$

Módulo de resistência no eixo y-y:

$$W_{y-y}^{VS-Duplo} = \frac{I_{y-y}^{VS-Duplo}}{c_{y-y}^{VS-Duplo}} = \frac{10813307147,3mm^4}{1565,0mm} = 6909,50cm^3$$

Como $W_{y-y}^{VS-Duplo} > W_F$. Logo atende.

8.4.1 Verificação Flecha

Pelo anexo C da NBR 8800 Tabela C.1 – “Deslocamentos Máximos”, A flecha máxima admissível na plataforma de acesso, para deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base:

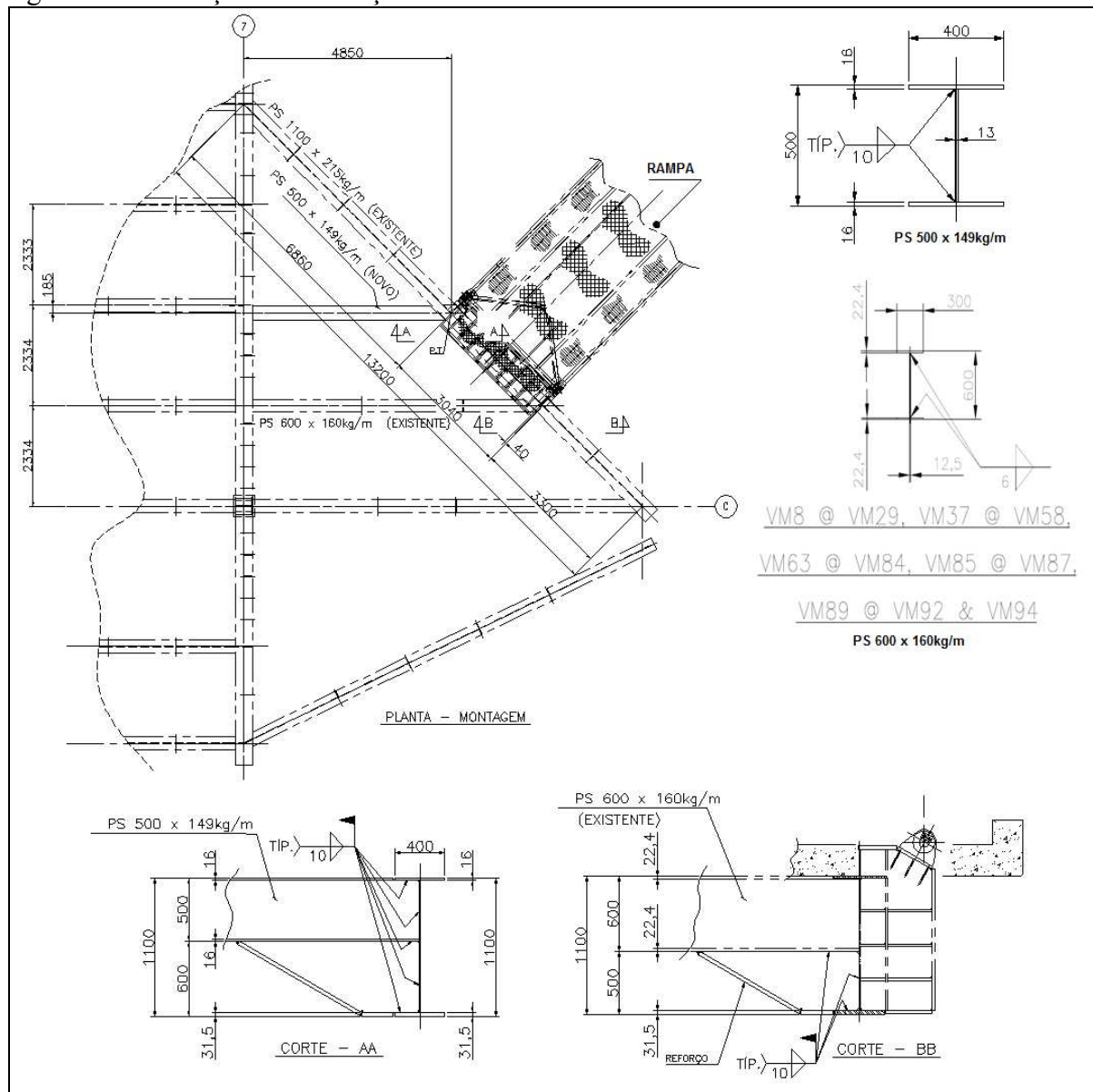
$$f_{adm} = \frac{H}{400} = \frac{21525mm}{400} = 53,8mm$$

Desta forma, verifica-se que a flecha calculada de 39,0mm é inferior a flecha admissível acima, logo o perfil VS atende as solicitações.

8.5 Verificação da Fixação do Console

A figura 29, mostra a estrutura existente dos consoles, identificando seu perfil principal. Com base na transmissibilidade de esforços, esta será avaliada.

Figura 29 - Condições de Reforço Estrutural da Plataforma Existente

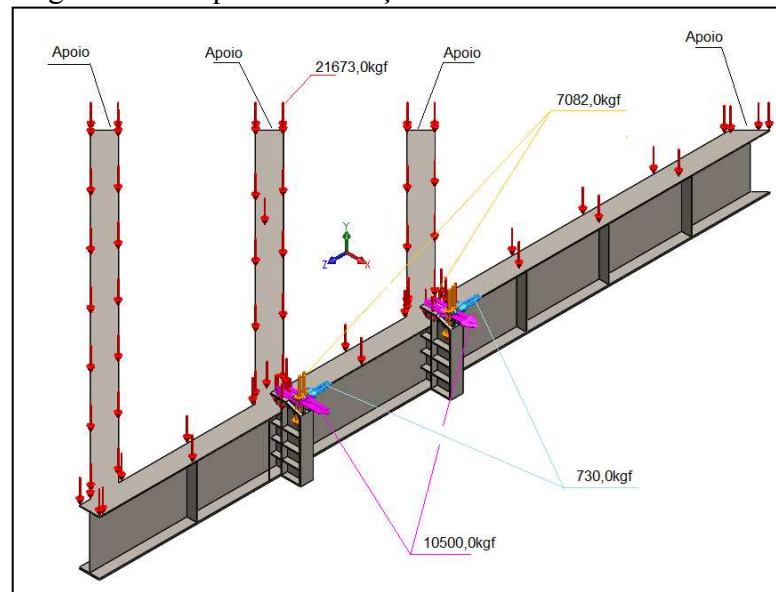


Fonte: Elaborado pelo Autor

Informações de carregamento apresentados nas figuras anteriores e desenho de referência, tem-se as condições de carregamento na estrutura do console conforme figura 30.

As cargas: 715,0kgf(lateral) :. 10500,0kgf(frontal) :. 7082kgf(vertical) :. 21673kgf(Piso);

Figura 30 - Esquema de Forças Solicitantes



Fonte: Elaborado pelo Autor no software SolidWorks

Tabela 4: Propriedades do Material

Peça	Material	Peso	Modelo do Material	Critério de falha
Console	ASTM A36	8014 kg	Isotrópico elástico Linear	Tensão Von Mises Máxima

Fonte: Elaborada pelo Autor no software SolidWorks

Tabela 5: Forças de Reação

Reações	Unid.	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Todo o corpo	N	-103111	420904	-14369,5	433588

Fonte: Elaborado pelo Autor no software SolidWorks

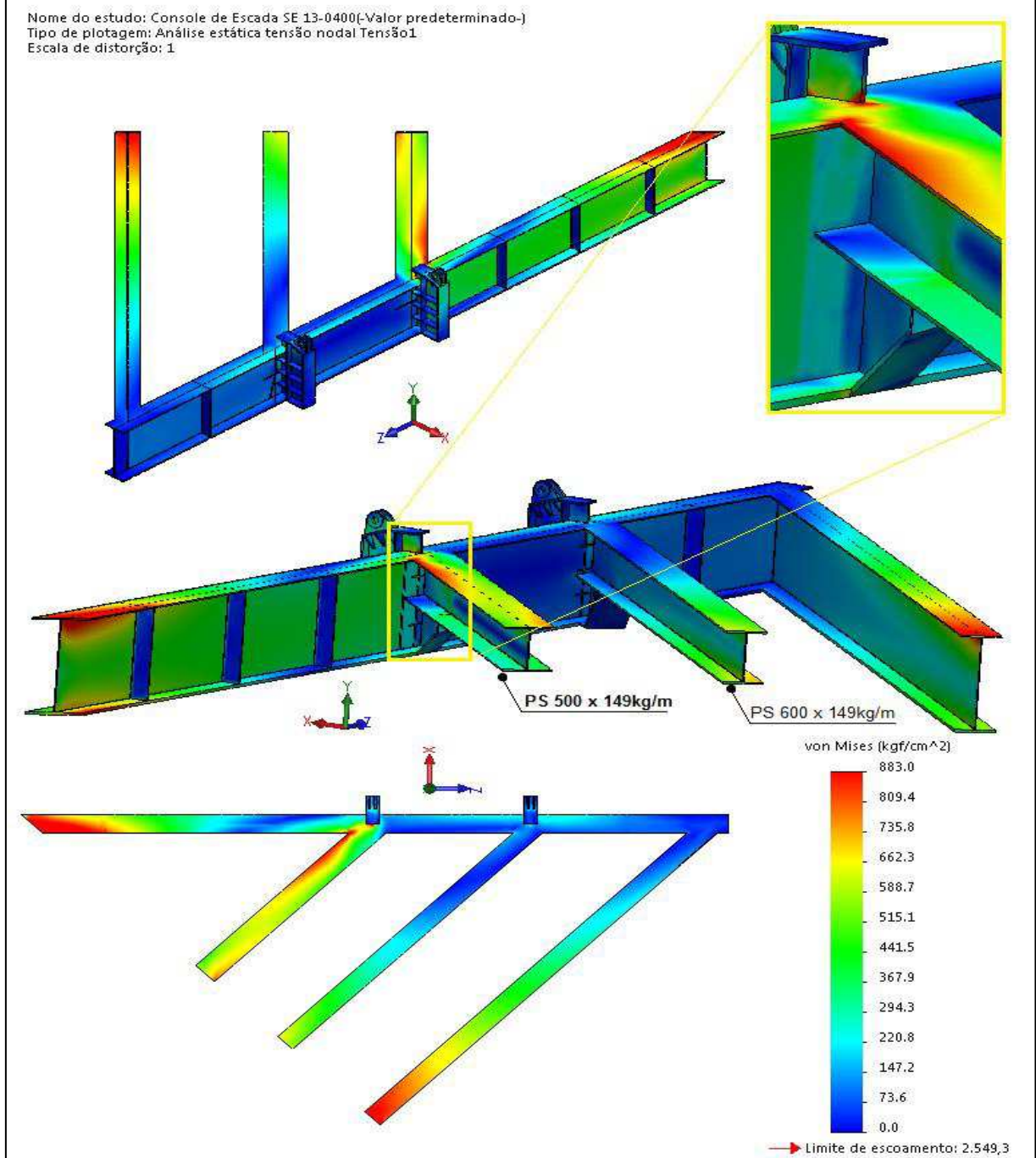
Tabela 6: Informações Gerais de Malha

Tamanho do elemento:	75 mm
Tolerância:	3,75 mm
Qualidade:	Alta
Número de elementos:	81809
Número de nós:	164183

Fonte: Elaborado pelo Autor no software SolidWorks

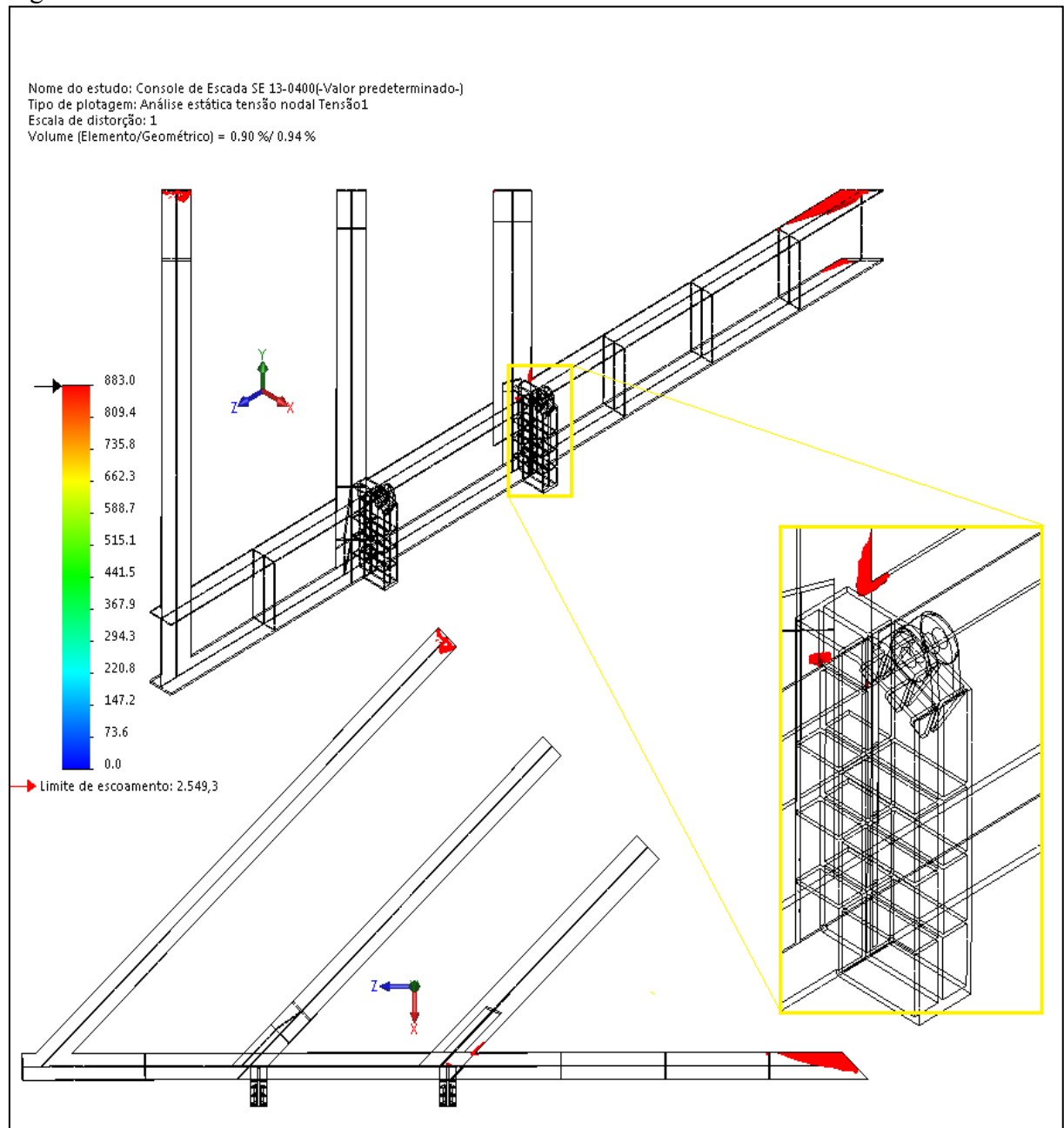
A plotagem dos valores de tensão e fator de segurança para a carga aplicada estão representadas nas figuras 31 e 32.

Figura 31 - Tensão Máxima Verificada



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software SolidWorks

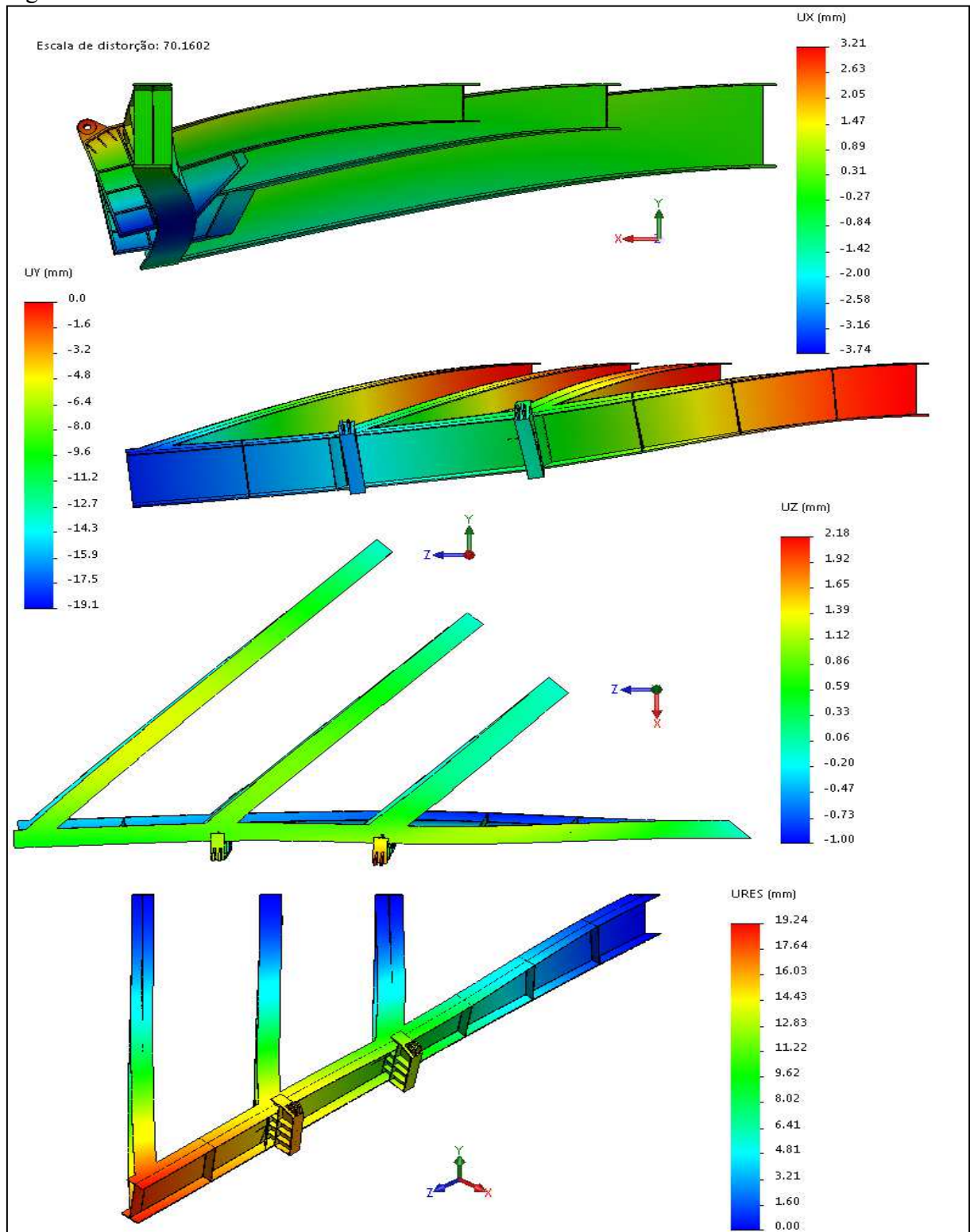
Figura 32 - Volume de Material Sob Tensão Máxima



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software SolidWorks

Verifica-se com uso das figuras 31 e 32 que a tensão máxima é de $8,83 \text{ kgf/mm}^2$, ou seja, não é superior a tensão admissível do aço ASTM A36 que corresponde a $14,0 \text{ kgf/mm}^2$. Sendo o volume total de material da estrutura, submetida a tensão máxima, entre 0,90% e 0,94%, indica que o conjunto em análise atende as solicitações de carregamento.

Figura 33 - Flecha Máxima Verificada



Fonte: Figura Gerada no Software SolidWorks

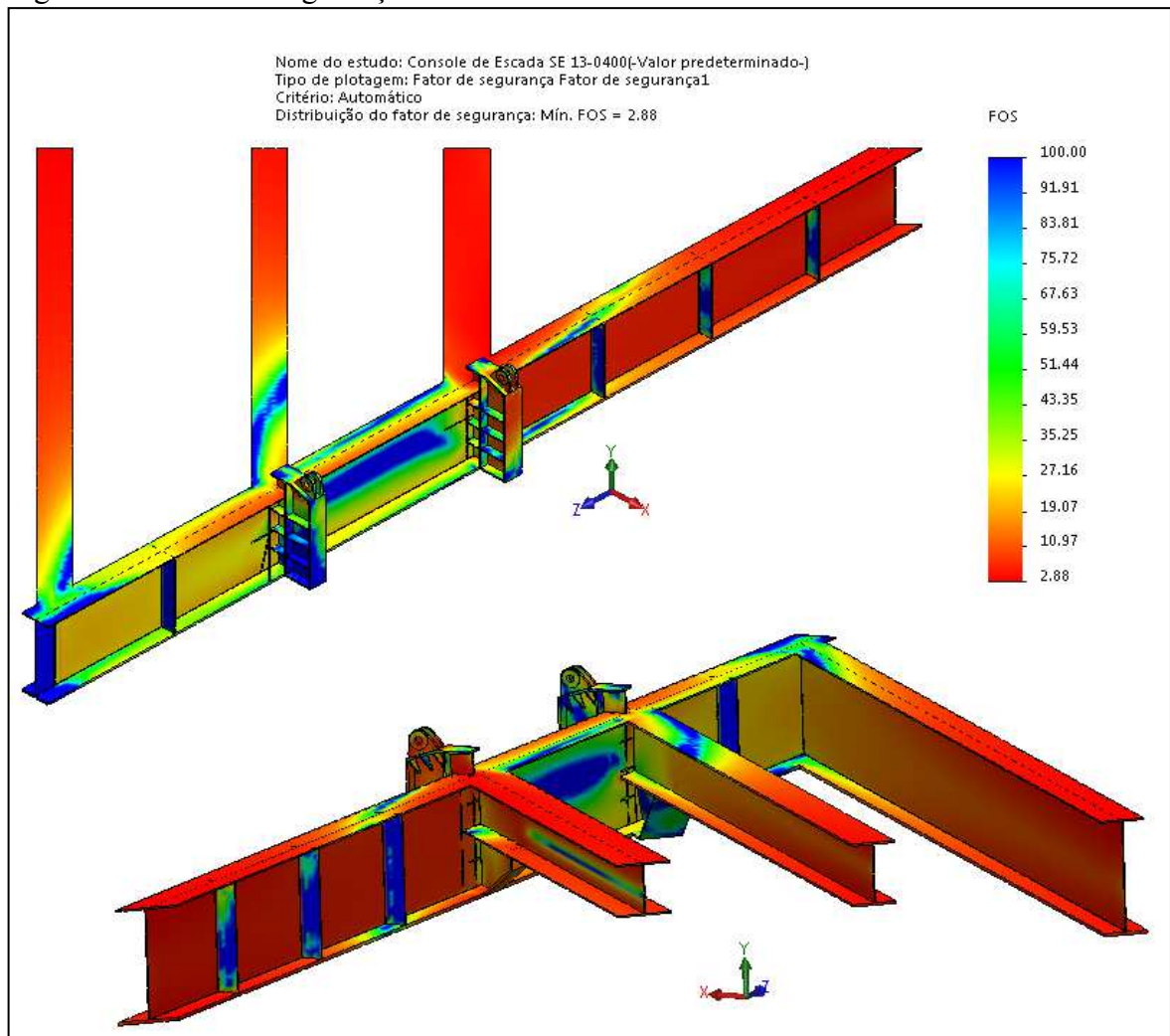
Percebe-se que a flecha máxima resultante na figura 33 é de 19,24mm na extremidade esquerda. Sabe-se que o vão da superfície do piso engastado é de 13m para viga existente de mesa 1100mm (ver figura-18).

Pelo anexo C da NBR 8800 Tabela C.1 – “*Deslocamentos Máximos*”, A flecha máxima admissível na plataforma de acesso, para deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base:

$$f_{adm} = \frac{H}{400} = \frac{13000mm}{400} = 32,5mm$$

Desta forma, verifica-se que a flecha calcula de 19,24 mm é inferior a flecha admissível acima. Logo o perfil VS atende as solicitações.

Figura 34 - Fator de Segurança

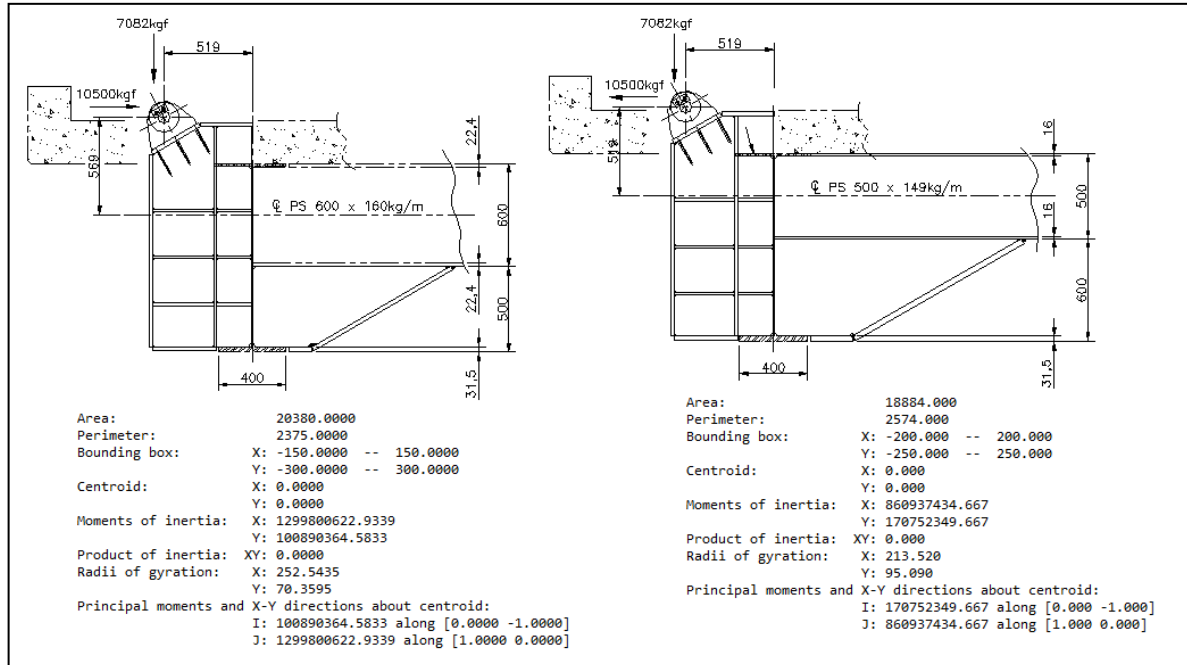


Fonte: Elaborado pelo Autor no Software SolidWorks

A figura 34 mostra o fator de segurança mínimo sobre a viga de 1100mm (existente) é de 2,88 que é superior aos valores estabelecido pela norma. A norma NBR 8800 estabelece para cargas de grande permanente o valor de o fator de segurança 1,4 e para cargas de grande variabilidade o fator de segurança 1,5. Logo atende as solicitações.

Verificando as Resistências das Vigas VS 500 x 149kg/m e VS 600 x 160kg/m, conforme está identifica na figura 35:

Figura 35 - Configuração para Cálculo dos Momentos



Fonte: Elaborado pelo Autor

VS 500 x 149kg/m: Momento máximo

$$M_{PS500} = 10500kgf \cdot 519mm + 7082kgf \cdot 519mm = 9125058,0kgf \cdot mm$$

VS 600 x 160kg/m: Momento máximo

$$M_{PS600} = 10500kgf \cdot 519mm - 7082kgf \cdot 519mm = 1773942,0kgf \cdot mm$$

O módulo de resistência crítico está sobre o perfil PS 500 x149kg/m:

$$W_{VS500} = 1,4 \cdot \frac{M_{VS500}}{\sigma_{adm}} = 1,4 \cdot \frac{9125058,0kgf \cdot mm}{14,0kgf / mm^2} = 912,5cm^3$$

Módulo Resistência Característico do perfil é:

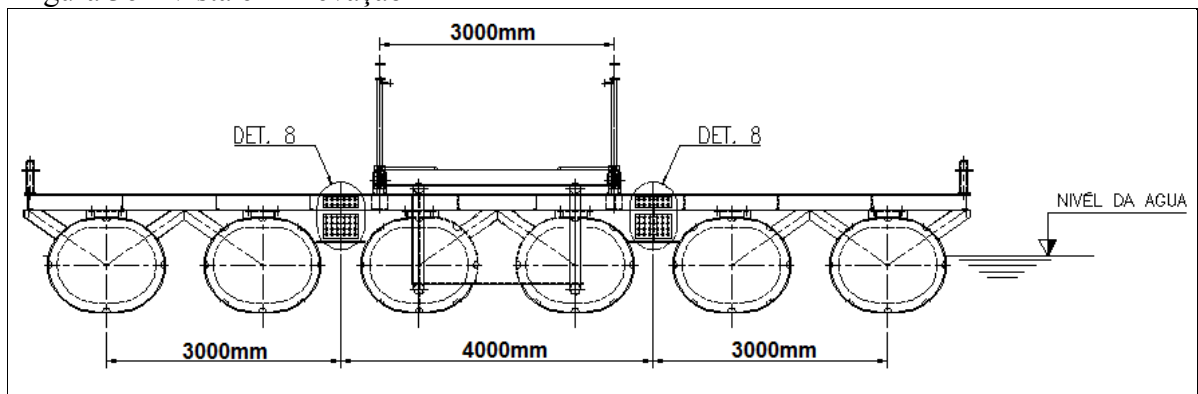
$$W_{PS500}^{x-x} = \frac{860937434,6mm^4}{519mm} = 1658,8cm^3$$

Como $W_{PS500}^{x-x} > W_{VS500}$. Logo atende as solicitações, levando em consideração que as ligações soldadas estejam conforme norma AWS e de acordo com proteção anticorrosiva (Norma empresa solicitante).

9. CÁLCULO DE FLUTUABILIDADE E RESISTÊNCIA

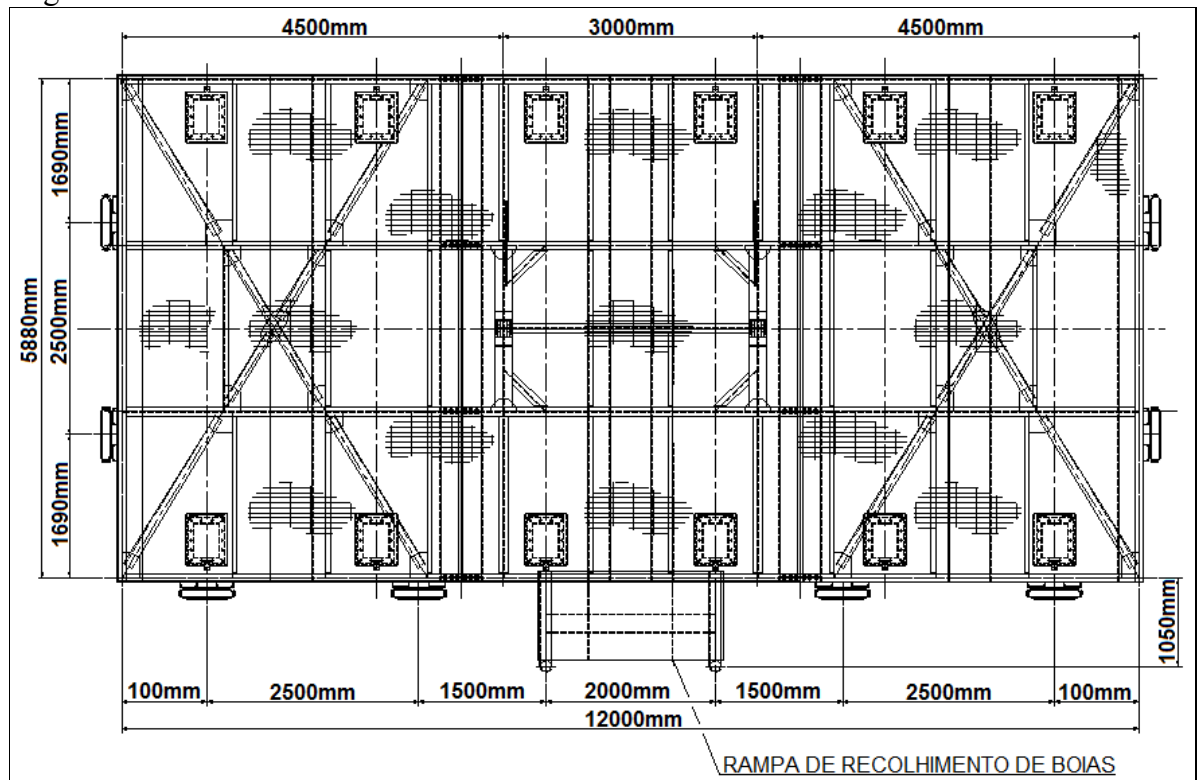
Estabilidade é uma propriedade fundamental em qualquer instalação fixa ou móvel. Para as situações de flutuadores ou píers flutuantes a estabilidade é primordial, devendo ser o primeiro aspecto a ser verificado. Somente os corpos em condições de equilíbrio estável tem estabilidade. Pela figura 36, tem-se a vista em elevação da estrutura da balsa flutuante e figura 37, a vista de planta, com a sua respectiva área de projeção.

Figura 36 - Vista em Elevação



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Autocad

Figura 37 - Vista de Planta da Estrutura da Balsa Flutuante



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Autocad

Assim a estabilidade pode ser definida como a propriedade dos corpos que tem equilíbrio estável.

Pelo princípio de Arquimedes uma das condições de estabilidade tem o empuxo maior que o peso estrutural. Logo:

$$P_{Pier} = 16325kgf ; \text{ (Peso o pier flutuante);}$$

$$V'_A = 2 \cdot V_A = 14164,0kgf ; \text{ (Peso sobre o pier flutuante);}$$

Logo o peso estrutural sobre o pier flutuante devido sobrecarga da escada:

$$P_W = P_{Pier} + V'_A \cong 30489,0kgf$$

Logo o peso estrutural sobre o pier flutuante devido sobrecarga na balsa, onde a área útil da balsa é de 63,0m²:

$$P_W = P_{Pier} + 300,0 \frac{kgf}{m^2} \cdot 63,0m^2 \cong 35523,0kgf$$

Para os 06(seis) cilindros de Ø1200mm de espessura de 6,4mm e comprimento de 6000mm.

$$\text{Então o volume de máximo de empuxo é: } V_{Máx}^E = 54,0m^3$$

Assim o Empuxo máximo para submersão total do flutuante é:

$$E_{Máx} = \gamma_{mar} \cdot V_{Máx}^E = 1026,0 \cdot 54 = 55404,0kgf$$

Percebe-se que o $E_{Máx} > P_W$. Logo ok!

Para volume de calado de:

$$V_{calado}^E = 34,62m^3 \text{ (64\% de } V_{Máx}^E \text{)}$$

A altura do calado é de:

$$A_{Calado} = \frac{V_{calado}^E}{6 \cdot 6,0m} = 0,961m^2 - \text{área por flutuante.}$$

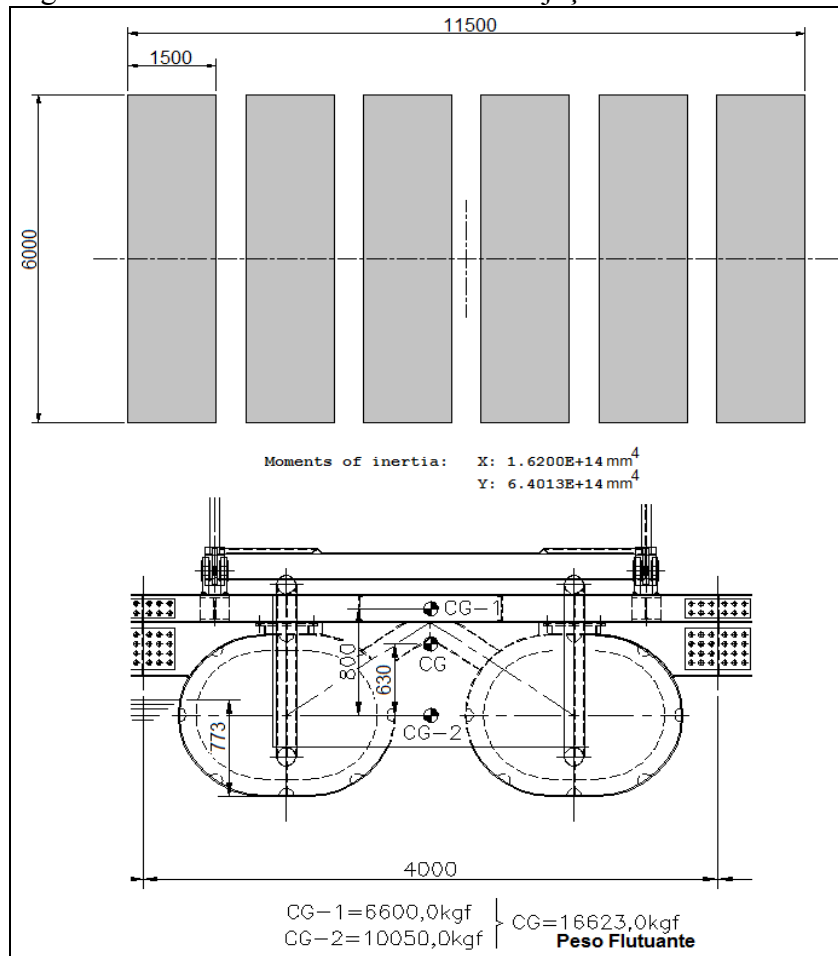
Onde área unitária total do flutuante é $1,491\text{m}^2$. Assim altura do calado aproximada é $773,0\text{mm}$:

Logo empuxo devido à sobrecarga é:

$$E_{\text{calado}} = 35523,0\text{kgf} > P_w. \text{ Logo ok!}$$

Metacentro: Pela figura 38 pode calcular o metacentro da estrutura do flutuante.

Figura 38 - Metacentros do Flutuante Projeção em Planta



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sendo o centro de gravidade do flutuante mais sobrecarga igual a:

$$CG = \frac{18900 \cdot 0,9\text{m} + 6600,0\text{kgf} \cdot 0,80\text{m}}{18900 + 16623\text{kgf}} = 0,63\text{m} \quad (23)$$

Assim pela figura-38 e volume de empuxo do calado:

Metacentro Longitudinal:

$$MG_y = MC_L - CG = \frac{640,0m^4}{34,62m^3} - 0,63m = 17,86m \quad (24)$$

Metacentro Transversal:

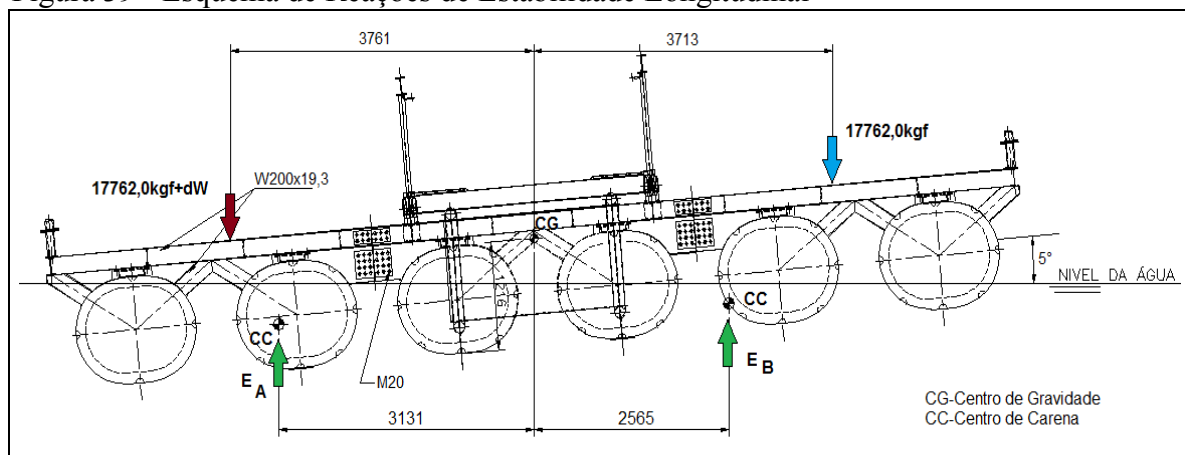
$$MG_x = MC_T - CG = \frac{162m^4}{34,62m^3} - 0,63m = 4,05m$$

Como $MG_y > CG \therefore MC_x > CG$. Tem equilíbrio estável.

9.1 Estabilidade Longitudinal

Com uso da figura 39 pode-se calcular a carga dW sobre o piso do píer flutuante:

Figura 39 - Esquema de Reações de Estabilidade Longitudinal



Fonte: Elaborado pelo Próprio Autor

Sabe-se que o empuxo em cada lado do píer é dado pela área da seção submersa.

$$\begin{aligned} \text{Empuxo-A: } V_A^E &= 23,15m^3 \\ E_A &= \gamma_{mar} \cdot V_A^E = 1026,0 \cdot 23,15 \\ E_A &= 23752,0kgf \\ \text{Empuxo-B: } V_B^E &= 11,68m^3 \\ E_B &= \gamma_{mar} \cdot V_B^E = 1026,0 \cdot 11,68 \\ E_B &= 11984,0kgf \end{aligned} \quad (25)$$

Assim:

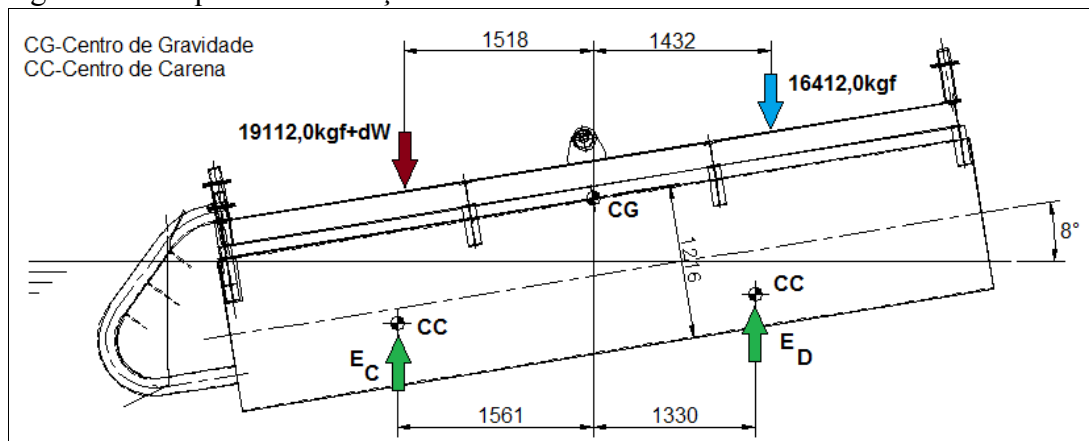
$$\begin{aligned}\sum M_{CG} &= 0 \\ (17762 + dW) \cdot 3761 - 22777,2 \cdot 3131 + 11984 \cdot 2565 - 17762 \cdot 3713 &= 0 \\ dW &= \frac{39723877,2}{3761} = 10562,0 \text{ kgf}\end{aligned}$$

Pode-se afirmar que para uma angulação de 5° , o empuxo excedente para equilíbrio do flutuante além da carga aplicada devido à sobrecarga favorece ao flutuante o retorno a posição de equilíbrio. Sabe-se que apesar da condição indicada na figura-24 a embarcação deve obedecer uma distribuição de carga equitativa na sua área de utilização.

9.2 Estabilidade Transversal

Com o uso da figura 40 pode-se calcular a carga dW sobre o piso do píer flutuante:

Figura 40 - Esquemas de Reações de Estabilidade Transversal



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sabe-se que o empuxo em cada lado do píer é dado pela área da seção submersa.

$$\text{Empuxo-C: } V_C^E = 22,20 \text{ m}^3$$

$$E_C = \gamma_{mar} \cdot V_C^E = 1026,0 \cdot 22,2$$

$$E_C = 22777,2 \text{ kgf}$$

$$\text{Empuxo-D: } V_D^E = 12,6 \text{ m}^3$$

$$E_D = \gamma_{mar} \cdot V_D^E = 1026,0 \cdot 12,6$$

$$E_D = 12928,0 \text{ kgf}$$

Assim:

$$\begin{aligned}\sum M_{CG} &= 0 \\ (19112 + dW) \cdot 1518 - 22777,2 \cdot 1561 + 12928 \cdot 1330 - 16412 \cdot 1432 &= 0 \\ dW &= \frac{12850937,2}{1518} = 8465,7 \text{ kgf}\end{aligned}$$

Pode-se afirmar que para uma angulação de 8° , o empuxo excedente para equilíbrio do flutuante além da carga aplicada devido a sobrecarga favorece ao flutuante o retorno a posição de equilíbrio. Sabe-se que apesar da condição indicada na figura-25 a embarcação deve obedecer uma distribuição de carga equitativa na sua área de utilização. Assim pelo cálculo verificação com segurança:

$$dW_{Médio} + P_W < E_{Máx} = 9513,5 \text{ kgf} + 35523,0 \text{ kgf} = 45036,5 \text{ kgf} < E_{Máx}. \text{ Ok.}$$

Resistência do perfil W200x19,3kg/m e U203x17,1 kg/m, conforme mostra a vista de planta da balsa, figura 41. Para o perfil W200x19,3 kg/m a carga distribuída “ q_W ” para vão de 4,5m e para o perfil U203X17,1 a carga distribuída “ q_U ” para vão de 1,96m. Assim tem-se:

Adotar sobrecarga de $350 \text{ kgf} / \text{m}^2$ devido fator fadiga.

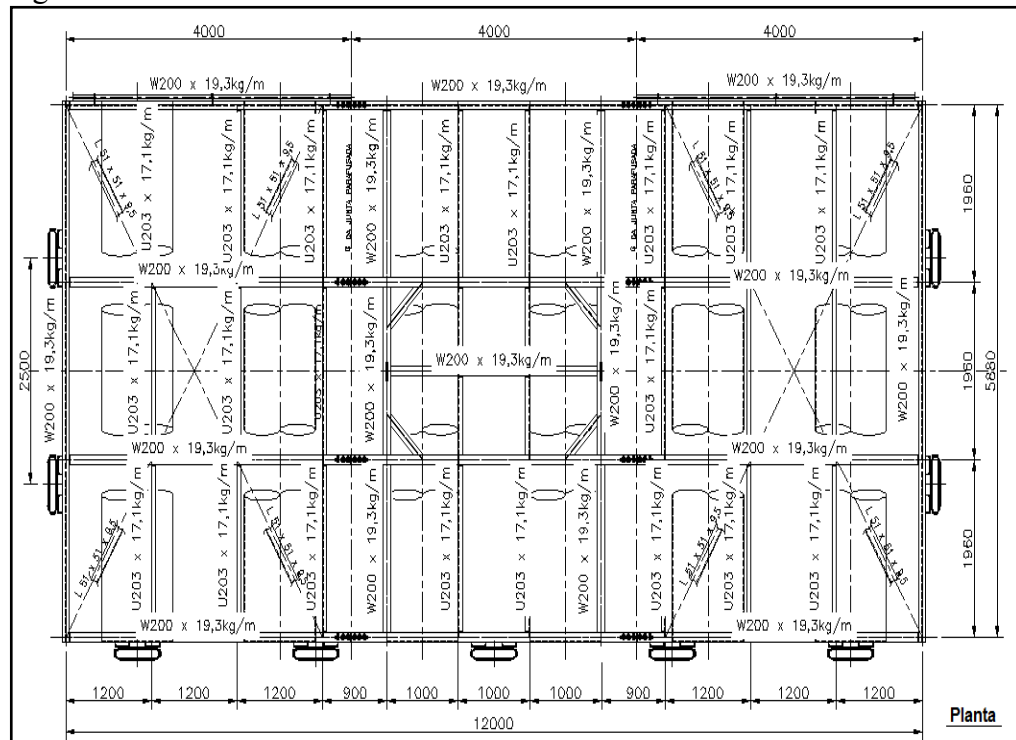
W200x19,3kg/m:

$$q_W = 350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot 1,96 \text{ m} = 686,0 \text{ kgf} / \text{m}$$

U203X17,1kg/m:

$$q_U = 350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot 1,2 \text{ m} = 420,0 \text{ kgf} / \text{m}$$

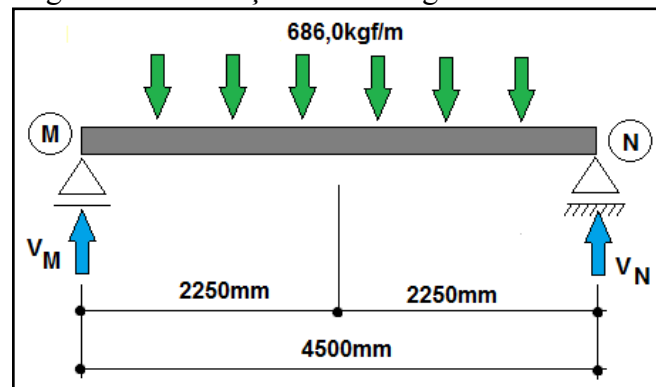
Figura 41 - Vista de Planta do Pier Flutuante



Fonte: Elaborado pelo Autor

W200x19,3kg/m:

Figura 42 - Condições de Carregamento



Fonte – Elaborado pelo Autor

Pelas equações de equilíbrio:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \therefore V_M + V_N = 3087,0kgf$$

$$\sum M_{(M)} = 0$$

$$4500 \cdot V_N - 686 \cdot 4,5 \cdot 2250 = 0$$

$$V_M = V_N = 1543,50kgf$$

Tem-se o momento máximo:

$$M_{calc}^{W200} = 1543,5 \text{ kgf} \cdot 2250 \text{ mm} - 686,0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \cdot 2,25 \cdot 1125 \text{ mm}$$

$$M_{calc}^{W200} = 1736437,50 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

Temos o módulo de resistência calculado de:

$$W_{calc}^{W200} = \frac{M_{calc}^{W200}}{\sigma_{adm}} = \frac{1736437,50 \text{ kgf} \cdot \text{mm}}{14,0 \text{ kgf} / \text{mm}^2} = 124,1 \text{ cm}^3$$

Módulo de resistência no eixo x-x: $W_{x-x}^{W200x19,3} = 166,1 \text{ cm}^3$

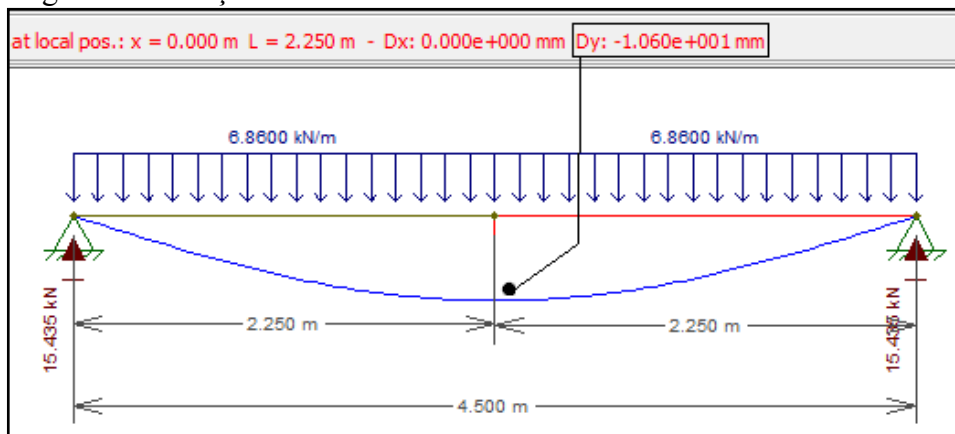
Como $W_{x-x}^{W200x19,3} > W_{Calc}^{W200}$. O perfil atende.

A flecha admissível é:

$$f_{adm} = \frac{4500 \text{ mm}}{400} = 11,3 \text{ mm}$$

Flecha calculada e reações plotadas no Ftool, figura 43:

Figura 43 - Reações e Flecha Máxima



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software Ftool

Verifica-se que a flecha calculada plotada no Ftool correspondente a 10,6mm é inferior à flecha admissível de 11,3mm, logo atende as solicitações.

10 - CONCLUSÃO

A verificação estrutural corresponde a um fator de extrema importância nos projetos de estruturas metálicas. A ineficiência deste processo pode acarretar em sub ou superdimensionamento levando ao colapso da estrutura e em alguns casos ceifando vidas. Por isso, faz-se crucial o aperfeiçoamento de estudos e tecnologias que proporcionem a redução/ eliminação destes riscos.

Desta forma, a proposta deste objeto de estudo foi realizar o dimensionamento de uma balsa flutuante com rampa de acesso ancorada ao píer, em uma empresa local, situada na baía de São Marcos.

Em um primeiro momento foram realizados levantamentos das condições iniciais de projeto, tais como amplitude de variação da maré, peso próprio da estrutura, elevação do local do projeto em relação ao nível do mar, valor de sobrecarga a ser adotado com base na norma NBR 8800/2008, e os aços de projeto. Todas essas informações foram obtidas com base no projeto inicial.

A partir daí procedeu-se a verificação estrutural da rampa de acesso, que possui configuração treliçada com base nas premissas de projeto. Efetuou-se os cálculos dos esforços atuantes nos banzos, montantes e diagonais, juntamente com as suas ligações aparafusadas. Foram verificados os perfis principais da balsa flutuantes e seus contraventamentos, levando em conta a força produzida pela maré, adotando como parâmetro a carga dinâmica de vento. Constatou-se que os respectivos perfis metálicos e ligações satisfazem as condições de cálculo.

O conjunto balsa/ rampa, encontra-se apoiado no píer em estruturas existentes, os consoles. De posse das cargas oriundas da rampa, pelo princípio da transmissibilidade de esforços da estática, utilizou-se da análise do método de elementos finitos para efetuar a verificação dos consoles, que diante do que foi verificado atendem as solicitações. Por tanto, foram alcançadas êxito todas as propostas dos objetivos específicos.

É importante ressaltar que essa pesquisa não se restringe apenas a verificação estrutural, mas sim podendo ser aplicada a mensurar os custos para implantação projeto. Sugere-se que trabalhos futuros complementem esta proposta.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 8880**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – Apresentação. Rio de Janeiro, 2008

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Apresentação. Rio de Janeiro, 1980

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações – Apresentação. Rio de Janeiro, 1988

BEER, Ferdinand P. [et al] **Mecânica dos materiais**. Tradução técnica José Benaque Robert, Walter Libardi.- 5 ed. – Dados eletrônicos - Porto Alegre: AMGH, 2011.

CHAMBERLAIN, Pravia Zacarias M. **Projeto e cálculos de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013

Comercial Gerdau. Disponível em: <www.gerdau.com/br/pt>. Acesso em 17 de Outubro de 2017.

FAKURY, Ricardo Hallal [et al] **Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Concreto** – Belo Horizonte, 2011.

GUANABARA, M K. **Dimensionamento de estruturas metálicas**: rotina computacional para seleção de perfis metálicos. 2010. 83 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PINHEIROS, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo; Editora Blucher, 2005.

PFEIL, Walter [et al] **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Perfil Soldado. Disponível em: <www.perfilsoldado.com/br/pt>. Acesso em 17 de Outubro de 2017

MÍLEN, A..F. [et al] Complexo Portuário da Baía de São Marcos: Contribuições às análises geoambientais. In.: VI simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology, 6., 2006, São Luis. Resumos ... São Luis UFMA, 2006.

ANEXOS