

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Estrutura (Skid) de transporte submarino para  
conectores (jumpers) elétricos de  
Tubulações(manifold) conforme API 17D**

André Duque de Barros  
Pedro Rezende Andreoli

Prof. Orientador: Leydervan de Souza Xavier, D.C.

**Rio de Janeiro  
Novembro de 2015**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Estrutura (Skid) de transporte submarino para  
conectores (jumpers) elétricos de  
tubulações(manifold) conforme API 17D**

André Duque de Barros  
Pedro Rezende Andreoli

Projeto final apresentado em cumprimento às  
normas do Departamento de Educação Superior  
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Prof. Orientador: Leydervan de Souza Xavier, D.C.

**Rio de Janeiro  
Novembro de 2015**

## RESUMO

Com o crescimento contínuo do mercado petrolífero e sua concorrência cada vez mais agressiva, buscam-se, cada vez mais, no século XXI, novas tecnologias e novas formas de realizar serviços de forma mais rápida, segura e lucrativa. Este trabalho trata de um problema real e propõe a criação de uma estrutura (Skid) de transporte submarino para conectores (jumpers) elétricos, a serem usados no equipamento manifold, visando agilizar e otimizar o processo de exploração de campos para a produção de petróleo no mar. O projeto trata da construção de um skid capaz de transportar 10 jumpers elétricos de uma vez, cada um possuindo 30 metros de comprimento, que seja capaz de ser transportado tanto dentro, quanto fora da água. O trabalho compreende as seguintes etapas: estudo de viabilidade técnica e econômica, dimensionamento, seleção de material, adequação às normas aplicáveis e estudo de confiabilidade.

Palavras-chave: Manifold, Skid, jumpers.

## **ABSTRACT**

With the continuous growth of the oil Market and its increasingly fierce competitors, companies have been searching more and more for new Technologies and new ways of performing a faster, safer and more profitable service. This work covers a real problem and proposes the creation of a transport skid for Electrical Flying Leads to be used in manifold, aiming to streamline and optimize the process of field exploitation for oil production at sea. This project is about the construction of a skid capable of transporting 10 electrical flying leads, of 30 meters in length each, at once, that is also capable of being transported either in or out of water. This work comprises the following steps: study of technical and economic feasibility, sizing, equipment selection, compliance with applicable standards and reliability study.

Key-words: Manifold, Skid, Electrical Flying Leads

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	2
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Metodologia e Trabalho realizado .....	3
1.5 Organização do Trabalho.....	3
<b>2. Fundamentação Teórica .....</b>	<b>3</b>
2.1 Sistema submarino de produção .....	3
2.2 Arranjos submarinos.....	4
2.2.1 Manifold .....	4
2.3 Jumpers elétricos .....	5
2.4 Skid.....	6
2.5 Umbilical Submarino.....	7
<b>3.0 Problema proposto .....</b>	<b>9</b>
3.1 Descrição do Problema.....	9
3.2 Documentos de Referência.....	10
3.2.1 Normas Aplicáveis .....	11
3.2.1.1 API 17D SECOND EDITION - Design and Operation of Subsea, Production Systems-Subsea, Wellhead and Tree Equipment .....	11
3.2.1.2 API RP 2A– LRFD “Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design” .....	11
3.2.1.3 ET-3000.00-1514-270-PEK-001 rev D – Manifold .....	11
3.2.1.4 ASTM A36 – Standard specification for Carbon Structural Steel .....	11
3.2.1.5 ASTM A131 – Standard Specification for Structural Steel for Ships .....	11
3.2.1.6 ET-3000.00-1514-270-PEK-001 rev D – Manifold Submarino.....	11
3.2.1.7 RM-3000.00-1514-270-PEK-003 – Manifold Submarino Diver Assisted (DA) – Proef.....	11
3.2.1.8 ET-3000.00-1500-610-PEK-002 rev A – Eslingas para Transporte de Equipamentos Submarinos. ....	11
3.2.1.8.1 DNV 2.7-1 – Offshore Containers (Norma de Referência).....	11

3.2.1.8.2 DNV 2.7-3 – Portable Offshore Units (Norma de Referência) .....	11
3.2.1.8.3 DNV – RP – H103 – Modeling and Analysis of Marine Operations (Norma de Referência).....	11
3.2.1.8. ABNT/CB-50, Projeto 50:002.03-06, Agosto: 2008 – Movimentação de cargas – Manilhas (Norma de Referência) .....	11
3.2.1.8.5 AWS D1.1 – Structure Welding Codes – Steel (Norma de Referência) .....	11
3.2.2 Descrição das principais Normas deste Projeto.....	11
3.2.2.1 DNV 2.7-1 .....	12
3.2.2.2 API 17D Second Edition .....	12
3.2.2.3 DNV – RP – H103 – Modeling and Analysis of Marine Operations .....	12
3.2.2.4 ABNT/CB-50, Projeto 50:002.03-06, Agosto: 2008 – Movimentação de cargas – Manilhas.....	13
<b>4.0 Concepção de Projeto.....</b>	<b>14</b>
4.1 Fatores relevantes para o layout da estrutura.....	14
4.1.1 Peso dos conjuntos “Jumpers Elétricos” .....	14
4.1.2 Layout do transporte do Jumper .....	15
4.1.2.1 Componentes da Montagem do Enrolamento .....	16
4.1.3 Bolsões para Empilhadeira .....	17
4.1.4 Ergonomia .....	17
4.1.5 Estabilidade do Skid .....	18
4.1.6 Resistência Mecânica e Rigidez .....	19
4.1.7 Fabricação e Montagem.....	19
4.2 Outros componentes necessários para concepção final do modelo.....	19
4.2.1 Tubo de Suporte do Jumper.....	19
4.2.2 Olhais de Içamento .....	20
4.2.3 Olhais de Amarração .....	21
4.2.4 Telas de Proteção.....	21
4.2.5 Chapas de ¼” .....	22
4.2.6 Chapa de Fundação.....	22
4.2.7 Barra de Docagem para ROV .....	22
4.4 Layout Final.....	22

<b>5.0 Dimensionamentos</b> .....	<b>26</b>
5.1 Olhal de içamento .....	26
5.2 Tubo de Suporte dos jumpers .....	31
5.3 Parafusos.....	34
<b>6.0 Seleção dos Componentes Comerciais</b> .....	<b>37</b>
6.1 Vigas.....	37
6.2 Chapas .....	38
6.3 Tubo Mecânico .....	39
6.4 Barra de Docagem .....	39
6.5 Jumpers Elétricos.....	40
6.6 Tubos de suporte dos jumpers .....	40
6.7 Parafusos do Parking .....	41
6.8 Telas de Proteção – Chapa Expandida .....	42
6.9 Manilhas .....	42
6.10 Eslingas.....	44
6.11 Anel de Carga .....	44
<b>7.0 - Premissas de Projeto</b> .....	<b>46</b>
7.1 Dados de Entrada.....	46
7.1.1 Carga de içamento .....	46
7.1.2 Proteção Catódica .....	46
7.1.3 Profundidades de Trabalho .....	46
7.1.4 Temperatura de Trabalho.....	47
7.1.5 Requisito de Qualidade.....	47
7.1.6 Inclinação máxima: 30° .....	47
7.1.7 Olhais.....	47
7.2 Carregamentos. ....	47
7.3 Material.....	48
7.4 Critérios de Aceitação .....	49
<b>8.0 - Metodologia de Cálculo</b> .....	<b>50</b>
8.1 Carregamentos .....	50
8.2 Principais Carregamentos utilizados na Análise de Elementos Finitos.....	50
8.2.1 Peso Próprio.....	51
8.3 Carregamentos conforme Norma de Referência “DNV 2.7-1”.....	51

8.3.1 Carga de içamento (4 pontos).....	51
8.3.2 Carga de içamento (2 pontos).....	51
8.3.3 Carga de Levantamento pela Empilhadeira.....	52
8.3.4 Carga de Impacto (Vertical, Horizontal) .....	52
8.4 Carregamentos conforme Norma de Referência [3.2.2.3] “DNV RP-H103” .....	52
8.5 Carregamentos conforme Norma de Referência [3.2.1.2] “API RP 2A - LRFD”.	
.....	53
8.5.1 Capacidade de Suporte da Fundação do Skid.....	53
8.5.2 Carga de Sucção na Retirada .....	54
8.5.3 Máxima Resistência ao Deslizamento .....	54
8.6 Resistência dos Componentes e Análise de Elementos Finitos.....	55
8.6.1 içamento – 4 pontos.....	56
8.6.1.1 Modelo.....	56
8.6.1.2 Carregamento.....	57
8.6.1.3 Resultados.....	58
8.6.2 içamento – 2 pontos (Diagonal) .....	59
8.6.2.1 Modelo.....	59
8.6.2.2 Carregamento.....	60
8.6.2.3 Resultados.....	61
8.6.3 Retirada do solo marinho.....	62
8.6.3.1 Modelo.....	62
8.6.3.2 Carregamento.....	63
8.6.3.3 Resultados.....	64
8.6.4 Cargas de Inclinação (Eixo X) .....	65
8.6.4.1 Modelo.....	65
8.6.4.2 Carregamento.....	66
8.6.4.3 Resultados.....	67
8.6.5 Cargas de Inclinação (Eixo Z) .....	68
8.6.5.1 Modelo.....	68
8.6.5.2 Carregamento.....	69
8.6.5.3 Resultados.....	70
8.6.6 Transporte por Empilhadeira .....	71
8.6.6.1 Modelo.....	71
8.6.6.2 Carregamento.....	72

8.6.6.3 Resultados.....	73
8.6.7 Carga de Impacto Frontal na Base na Estrutura .....	74
8.6.7.1 Modelo.....	74
8.6.7.2 Carregamento.....	75
8.6.7.3 Resultados.....	76
8.6.8 Carga de Impacto Lateral na Base na Estrutura .....	77
8.6.8.1 Modelo.....	77
8.6.8.2 Carregamento.....	78
8.6.8.3 Resultados.....	79
8.6.9 Carga de Impacto Frontal nos Postes de Içamento .....	80
8.6.9.1 Modelo.....	80
8.6.9.2 Carregamento.....	81
8.6.9.3 Resultados.....	82
8.6.10 Carga de Impacto Frontal nas Travessas Superiores .....	83
8.6.10.1 Modelo.....	83
8.6.10.2 Carregamento.....	84
8.6.10.3 Resultados.....	85
8.7 Soldagem .....	86
8.8 Resultados.....	87
8.8.1 Análise por Elementos Finitos da Resistência dos Componentes .....	87
8.8.2 Resistência do Olhal .....	87
8.9 Limites Operacionais .....	88
8.10 Considerações finais .....	88
<b>9.0 – Trabalhos Futuros.....</b>	<b>90</b>
<b>10.0 – Conclusão .....</b>	<b>91</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>92</b>
<b>Apêndice A – Análise de Cargas .....</b>	<b>93</b>
<b>Apêndice B – Dimensionamento da Fundação do Skid .....</b>	<b>104</b>
<b>Apêndice C – Olhal Padrão API 17D.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO I – Desenhos Técnicos .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO II – Catálogo do Jumper Elétrico.....</b>	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Manifold Submarino .....	5
FIGURA 2: Exemplo de um Jumper Elétrico .....	6
FIGURA 3: Exemplo de um Skid .....	7
FIGURA 4: Cabo umbilical .....	8
FIGURA 5: Esquema de conexão .....	10
FIGURA 6: Enrolamento elíptico do Jumper (Isométrico).....	15
FIGURA 7: Enrolamento elíptico do jumper (Vista Superior) .....	15
FIGURA 8: Componentes da Montagem do Enrolamento .....	16
FIGURA 9: Jumpers enrolados na vertical.....	18
FIGURA 10: Detalhes do olhal de içamento.....	20
FIGURA 11: Olhais de Amarração .....	21
FIGURA 12: Modelo da Estrutura final do Skid.....	23
FIGURA 13: Perspectiva Isométrica do Skid com os Jumpers já enrolados .....	25
FIGURA 14: Dimensões do Olhal .....	28
FIGURA 15: Análise de Corpo Livre .....	32
FIGURA 16: Localização da Linha Neutra (LN) .....	32
FIGURA 17: Viga I.....	37
FIGURA 18: Chapas de ¼” .....	38
FIGURA 19: Tubos de suporte dos jumpers .....	41
FIGURA 20: Parafusos do Parking .....	41
FIGURA 21: Tela de Proteção .....	42
FIGURA 22: Manilhas .....	43
FIGURA 23: Eslingas.....	44
FIGURA 21: Anel de Carga .....	45
FIGURA 22: Malha Gerada para a Análise do Skid para Instalação de jumpers elétricos .....	57
FIGURA 23: Carga de içamento por todos os pontos.....	58
FIGURA 24: Distribuição de Tensões no Skid no içamento por todos os pontos .....	59
FIGURA 25: Malha gerada para Análise do Skid para Instalação de Jumpers elétricos. ....	60
FIGURA 26: Carga de içamento por 2 pontos .....	61

FIGURA 27: Distribuição de Tensões no Skid para Instalação de jumpers elétricos no içamento por 2 pontos .....	62
FIGURA 28: Malha gerada para Análise do Skid para Instalação de Jumpers elétricos .....	63
FIGURA 29: Carga de içamento por todos os pontos. ....	64
FIGURA 30: Distribuição de Tensões no Skid na Retirada do Solo Marinho.....	65
FIGURA 31: Malha gerada para Análise de Resistência do Skid para jumpers elétricos à inclinação de 30 graus. ....	66
FIGURA 32: Condições de contorno e Aplicação de Cargas .....	67
FIGURA 33: Distribuição de Tensões no Skid na inclinação à 30 graus (Eixo X) .....	68
FIGURA 34: Malha gerada para Análise de Resistência do Skid para jumpers elétricos à inclinação de 30 graus .....	69
FIGURA 35: Condições de Contorno e Aplicação de Cargas.....	70
FIGURA 36: Distribuição de Tensões no Skid na inclinação à 30 graus (Eixo Z) .....	71
FIGURA 37: Malha gerada para análise de Transporte por Empilhadeira. ....	72
FIGURA 38: Condições de Contorno e Cargas de Transporte por Empilhadeira.....	73
FIGURA 39: Distribuição das Tensões no Skid no Transporte por Empilhadeira. ....	74
FIGURA 40: Malha gerada para análise do impacto frontal no Skid para instalação de jumpers elétricos.....	75
FIGURA 41: Condições de Contorno de Impacto Frontal do Skid para Instalação de jumpers elétricos .....	76
FIGURA 42: Distribuição das Tensões na estrutura no Impacto Frontal.....	77
FIGURA 43: Malha gerada para a análise do impacto frontal no Skid para a instalação de jumpers elétricos.....	78
FIGURA 44: Condições de Contorno de Impacto Frontal do Skid para instalação de jumpers elétricos.....	79
FIGURA 45: Distribuição das Tensões na estrutura no impacto lateral. ....	80
FIGURA 46: Malha gerada para análise do impacto frontal no poste de içamento.....	81
FIGURA 47: Condições de Contorno de Impacto Frontal no poste de içamento do Skid para jumpers elétricos .....	82
FIGURA 48: Distribuição das Tensões no impacto frontal no poste de içamento do Skis para jumpers elétricos.....	83

FIGURA 49: Malha gerada para a análise do impacto Lateral nas Travessas superiores.....	84
FIGURA 50: Carga de Impacto Frontal nas Travesas Superiores e suas reações de fixação ..	85
FIGURA 51: Distribuição das Tensões de impacto frontal na Travessa superior do Skid.....	86

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Força Resultante em cada Olhal .....	26
TABELA 2: Máxima carga de trabalho .....	27
TABELA 3: Tensão de arrancamento do olhal .....	29
TABELA 4: Fator de utilização (Tensão de arrancamento) .....	29
TABELA 5: Análise da integridade da tensão de contato do olhal.....	30
TABELA 6: Fator de utilização da tensão de contato do olhal.....	30
TABELA 7: Momento fletor total aplicado ao tubo.....	32
TABELA 8: Peso total aplicado ao tubo .....	32
TABELA 9: Tensão fletora máxima aplicada ao tubo.....	33
TABELA 10: Tensão cisalhante média aplicada ao tubo .....	33
TABELA 11: Tensão de Von Mises aplicada ao tubo .....	33
TABELA 12: Fator de utilização do tubo .....	34
TABELA 13: Dados de Entrada para os cálculos do parafuso .....	34
TABELA 14: Força axial em um parafuso.....	35
TABELA 15: Força cisalhante em um parafuso .....	35
TABELA 16: Tensão cisalhante no parafuso .....	35
TABELA 17: Tensão axial no parafuso .....	36
TABELA 18: Tensão de Von Mises do parafuso.....	36
TABELA 19: Fator de utilização do parafuso.....	36
TABELA 20: Viga I.....	38
TABELA 21: Tabela da chapa de ¼”.....	39
TABELA 22: Tabela do tubo mecânico .....	39
TABELA 23: Tabela da Barra de Docagem.....	40
TABELA 24: Tabela da Tela de Proteção.....	42
TABELA 25: Tabela da Manilha .....	43
TABELA 26: Propriedades Mecânicas dos Materiais Utilizados nos Cálculos.....	48
TABELA 27: Fator de Utilização Admissível .....	49
TABELA 28: Resultado das Análises de Elementos Finitos .....	87
TABELA 29: Resistência do Olhal .....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A – Largura interna da Manilha
- $A_{ef}$  : Área efetiva do Mudmat do Skid
- $A_{front}$  - Maior área de arrasto do Skid
- ANM – árvore de natal molhada
- $A_{tubo}$  – Área transversal do tubo cortado
- B – Diâmetro do Pino da Manilha
- $B_{mudmat}$  – Dimensão da base no eixo 2
- $C_{DSi}$  - Coeficiente de arrasto
- $C_{max.dist}$  – Ponto do tubo mais distante do eixo neutro
- CMT – Carga Máxima de Trabalho
- $CMT_{anel.carga}$  – Carga Máxima de Trabalho
- $CMT_{eslinga}$  – Carga Máxima de Trabalho
- $C_{saia}$  – Intercepto coesivo do solo para o cravamento de saia
- $C_{suporte}$  – Intercepto coesivo do solo para capacidade de suporte e deslizamento
- $c_{suporte}$ : Intercepto coesivo do solo para capacidade de suporte e deslizamento
- $D_H$  – Diâmetro nominal do furo do Olhal (DH)
- $D_{paraf}$  - Diâmetro do parafuso
- $D_{paraf}$  – Diâmetro do parafuso
- $D_{suporte}$  - Profundidade de Enterramento da Chapa de Fundo
- E – Módulo de Elasticidade do Material do Olhal
- $E_{reforço}$  – Módulo de Elasticidade do Material do Olhal
- $E_{chapa}$  – Espessura da chapa
- $E_{chapa}$  – Quantidade dos furos da chapa de fundo
- $E_{tubo}$  - Espessura do tubo
- Farrasto - Carga distribuída do vento
- $F_{axial.Lparaf}$  – Força axial por parafuso
- $F_{cis.Lparaf}$  – Força cisalhante por parafuso
- $F_{h\_skid}$  - Força horizontal aplicada ao Skid

$\gamma$  – Peso específico do solo efetivo (submerso)  
 $H_{cm}$  - Altura do centro de massa em relação a base  
 $I_{tubo\_x}$  - Momento de inércia em X da seção transversal do Tubo  
 $K_{V_{suporte}}$  : Constante adimensional  
 $K_{C_{suporte}}$  : Constante adimensional  
 $K_{q_{suporte}}$  : Constante adimensional  
 kg – Quilograma  
 $K_{laf}$  - Fator de amplificação dinâmica de carga  
 kPa – Kilo pascal  
 $L_{bin,paraf}$  - Distância do binário atuante nos parafusos  
 $L_{chapa,men}$  - Distância entre a chapa menor e a viga I  
 $L_{cm\_base}$  - Distância da extremidade da base até o centro de massa  
 $L_{conex\_chapa}$  - Distância da conexão até a chapa  
 $L_{diag,olhais}$  - Distância diagonal entre olhais - medido pela vista superior  
 $L_{eslinga}$  - Comprimento da eslinga  
 $L_{ext.con}$  - Distância da chapa até a extremidade do conector  
 $L_{jumper}$  - Comprimentos dos Jumpers  
 $L_{jumper\_livre}$  - Comprimento de jumper solto do tubo que se liga ao conector  
 $L_{mudmat}$  - Dimensão da base no eixo 1  
 $L_{tubo}$  - Comprimento linear do tubo  
 $L_{vigaI,central}$  - Comprimento da viga I central  
 $L_{vigas,vertical}$  - Somatório do comprimento das vigas I verticais  
 m – Metros  
 mm – Milímetros  
 MPa – Megapascal  
 $M_{SKID\_1}$  - Momento no centróide da área da base do Skid eixo 1  
 $M_{SKID\_2}$  - Momento no centróide da área da base do Skid eixo 2  
 $M_{total,tubo}$  - Momento Fletor total aplicado ao tubo  
 N – Newton  
 N – Número de olhais  
 $N_{furos}$  - Diâmetro dos furos da chapa de fundo  
 $n_{paraf}$  - Número de parafusos por flange do conector

$N_{y_{suporte}}$  : Constante adimensional

$N_{c_{suporte}}$  : Constante adimensional

$N_{q_{suporte}}$  : constante adimensional, função do ângulo de atrito do solo

$\emptyset_{saia}$  - Ângulo de atrito do solo para o cravamento de saia

$\emptyset_{suporte}$  – Ângulo de atrito do solo para capacidade de suporte e deslizamento

P – Carga de Içamento

Pa – Pascal

$P_{agua}$  - Densidade da água

$P_{con\_park}$  - Peso dos conectores e parking

$P_{jumper.lin}$  - Peso linear dos Jumpers

$P_{mergulhador}$  – Peso do mergulhador equipado

$P_{nominal.vigas}$  - Peso Nominal da viga I de 3''

$P_{skid\_jump}$  – Massa do Skid de transporte dos jumpers elétricos

$P_{total.jumper}$  - Peso total dos 10 jumpers

$P_{tubo.lin}$  - Peso linear do tubo

PLEM (pipeline end Manifold): Sistema de manifold submarino.

PLET (pipeline end terminator): Terminal para linha submarina

$Q_{suporte}$ : Capacidade de Suporte da Fundação do Skid

$q_{suporte}$ : Constante adimensional, função da profundidade de enterramento e do peso específico do solo

R - Raio nominal do Olhal (R)

$S_{lifting}$  - Massa do conjunto de içamento do Skid

$S_{skid}$  - Peso total do Skid(Rating do Skid)

$S_y$  – Tensão limite de escoamento do Material do Olhal

$S_{y\_reforço}$  - Tensão limite de escoamento do Material do Reforço

T - Espessura nominal do Olhal ( t)

$T_{chapa\_menor}$  - Espessura da chapa menor

$T_{tare\_SKID.jump}$  - Massa do Tare(Container Vazio) do Skid

$v$  – Ângulo de inclinação da base

$V_{cis.tubo}$  – Força total cisalhante aplicado ao tubo

$V_{fundo}$  - Velocidade da Corrente na localização do Equipamento

$V_{skid}$  – Volume deslocado pela carga total

$\alpha$  – Ângulo da eslinga com a vertical

$\beta$  – Ângulo de inclinação do terreno

$\gamma$  : Peso específico do solo efetivo (submerso)

$\Delta_{e1\_manifold}$  - Distância entre centros de massa e geométrico da base no eixo 1

$\Delta_{e2\_manifold}$  - Distância entre centros de massa e geométrico da base no eixo 2

$\theta$  – Ângulo máximo de inclinação da carga

$\mu_{aco.lub}$  - Coeficiente de atrito do aço lubrificado

$\rho$  - Massa específica da água

$\sigma_{esc.paraf}$  - Escoamento do Material - AISI 316

$\sigma_{esc.tubo}$  - Tensão limite de escoamento do tubo - Aço ASTM A-5

# Capítulo 1

## Introdução

No começo do século XIX o interesse econômico pelo petróleo aumentou devido ao seu uso como fonte de energia para a iluminação pública. Porém, com o desenvolvimento da obtenção da luz a partir da energia elétrica, o interesse comercial pelo óleo fóssil reduziu consideravelmente, voltando apenas no século XX com a invenção dos motores à gasolina e a diesel. No Brasil, durante as primeiras décadas do século XX, alguns exploradores tentaram perfurar poços de petróleo, porém não obtiveram êxito. Contudo, em 1932, o engenheiro agrônomo Manoel Inácio de Basto conseguiu realizar um laudo técnico que atestava a existência de petróleo em um bairro suburbano de Salvador. Com essa descoberta, a discussão sobre o uso e a exploração dos recursos do subsolo brasileiro viabilizou a criação do CNP – Conselho Nacional do Petróleo. O surgimento dessa nova riqueza incentivou, em 1953, a criação da empresa estatal “Petróleo Brasileiro S.A.”, mais conhecida como Petrobras, que, em 1968, iniciou a exploração de petróleo em águas profundas. Ao longo dos anos, o Brasil passou a ser um dos poucos países a dominar a tecnologia de exploração petrolífera em águas profundas e ultra profundas.

Atualmente, as petroleiras têm investido na instalação de Manifolds<sup>1</sup> a fim de aumentar a recuperação de petróleo em águas profundas, estender sua vida útil e reduzir as despesas operacionais e com capital. A Europa é o maior mercado em termos de instalação de manifolds, mas a expectativa é que companhias com operações no Brasil e no oeste da África passem a concentrar essa demanda nos próximos cinco anos.

No presente trabalho desenvolve-se o projeto de um equipamento que servirá como transporte de materiais que serão utilizados em um manifold. Esse equipamento é conhecido no meio industrial como Skid.

---

<sup>1</sup> Manifold: Conjunto de válvulas e acessórios que permitem a manobra e junção dos fluxos produzidos pelos poços, formando um único fluxo em direção à Unidade de Produção [12].

## **1.1 Motivação**

O desenvolvimento de tecnologias para a exploração de petróleo é justificado pela grande demanda mundial devido a questões políticas e estratégicas de mercado. Isso explica o alto investimento nessa área, visando a o acesso às novas reservas e a otimizar, de certa forma, a produção nas reservas que já estão em processo de exploração.

Os skids são equipamentos utilizados em diversos tipos de indústria, porém são indispensáveis para a indústria de óleo e gás, pois permitem o transporte e manuseio de equipamentos de modo seguro e dentro das exigências legais e das normas técnicas utilizadas no setor.

## **1.2 Justificativa**

Um componente do grupo estagia na Oilequip, empresa localizada no Rio de Janeiro que projeta e fabrica equipamentos para exploração e completação de poços de petróleo terrestres ou submarinos, tendo como principal cliente a Petrobrás. Nesta área de completação de poços submarinos, a empresa está com um projeto em desenvolvimento, conhecido como Manifold, e serão necessários Skids para transportes das peças associadas a esse projeto. Tendo em vista as necessidades atuais referentes ao projeto, há a demanda da construção de um Skid de transporte submarino para os jumpers elétricos que são componentes a serem usados no Manifold. Sendo assim, este projeto possibilitará um grande aprendizado, na medida em que conecta diversos pontos do curso de Engenharia Mecânica e outros fatores não presentes, como o transporte submarino do Skid, forças das correntes marinhas, dentre outros, não sendo assim uma análise trivial. Associado a isso, devido ao fato de o projeto ser de demanda real, os componentes do grupo poderão visualizar todas as etapas do processo, logo, bastante gratificante.

## **1.3 Objetivos**

Desenvolver um Skid que possa organizar e transportar da melhor forma os jumpers elétricos que serão utilizados no Manifold. Por ser um equipamento que será fabricado na empresa citada, o Skid deverá ser projetado de acordo com situações reais de indústria, tais como, análise de custo, autenticidade da memória de cálculo, planejamento fabril das peças

necessárias e outros. E por se tratar de algo novo para a empresa, o mesmo permitirá que o desenvolvimento de futuros projetos semelhantes se torne mais rápido e facilitado.

## **1.4 Metodologia e Trabalho realizado**

Inicialmente será realizado um levantamento dos conceitos abordados, sendo alguns fundamentais para o entendimento deste trabalho como manifold, umbilicais, jumper e skid. Partindo da descrição do problema proposto e das normas de referência para o início da concepção do projeto. Em seguida, a partir do layout de transporte do jumper, e de outras considerações abordadas neste Projeto Final, foi realizada a concepção do projeto, modelo esse feito no programa SOLIDWORKS 2014, juntamente com as memórias de cálculo (MATHCAD 14) e finalizando com análise da integridade estrutural do skid através do software ABAQUS CAE-12. Todos os Softwares utilizados nesse projeto foram fornecidos pela empresa Oilequip.

## **1.5 Organização do Trabalho**

O projeto foi organizado em 6 etapas. O capítulo 1 apresenta uma introdução ao leitor do tema a ser abordado ao longo do trabalho. O capítulo 2 apresenta uma explicação sucinta dos equipamentos e componentes necessários à realização do projeto. O capítulo 3 apresenta as normas aplicáveis e as de referência, assim como os fatores relevantes para a estrutura e os componentes principais. No capítulo 4, constará as seleções dos componentes comerciais e suas características e propriedades, já no capítulo 5, constará as premissas utilizadas para o projeto. O capítulo 6 conterà a metodologia de cálculo utilizada e finalmente, no capítulo 7, a conclusão.

## Capítulo 2

### Fundamentação Teórica

#### 2.1 Sistema submarino de produção

Um sistema submarino de produção pode ser definido como sendo “um conjunto de instalações submersas destinadas à elevação, injeção e escoamento dos fluidos produzidos e/ou movimentados em um campo de petróleo ou gás natural. O projeto de desenvolvimento de um campo visa à maximização da recuperação de petróleo e um custo mínimo operacional e de investimento de capital [3].

#### 2.2 Arranjos submarinos

A escolha dos equipamentos que serão utilizados e, de que maneira eles estarão dispostos, constitui o arranjo submarino de produção. O seu arranjo final é o resultado de um processo de otimização que envolve algumas variáveis, tais como:

- Número de poços e posicionamento dos mesmos;
- Comprimento e diâmetro dos dutos de produção;
- Posicionamento da unidade de produção flutuante;
- Tipo de ancoragem;
- Meios de instalação;
- Perfil de produção desejado;
- Necessidade de utilização de meios de elevação artificial, etc.;

Em um sistema submarino de produção, basicamente, há os seguintes equipamentos:

- Cabeça de Poço;
- ANM (árvore de natal molhada)
- Dutos Submarinos;
- Manifold
- Pipeline end Manifold (Sistema de manifold submarino)
- Pipeline end Terminator (Terminal para linha submarina)

### 2.2.1 Manifold

A principal função do Manifold é de reunir, em uma só linha, a produção oriunda de vários poços. Consiste em um arranjo de tubulações que servem para coleta, injeção, teste e exportação, conjunto de válvulas de bloqueio, válvulas de controle de escoamento (chokes) e subsistemas de monitoramento, controle e interconexão. No caso de injeção de gás e água, o Manifold tem como função distribuir para os poços os fluidos de injeção vindos da UEP (Unidade estacionária de produção).

Os Manifolds típicos incluem válvulas do tipo esfera e gaveta para bloqueio dos fluidos e, também, do tipo choke para controle de vazão e pressão. É composto de base e sub-base podendo possuir módulos recuperáveis, módulos de conexão de dutos, sistema de controle hidráulico direto ou multiplexado e sistema de aquisição de dados multiplexado.

As principais vantagens na utilização de Manifolds são a redução do comprimento total de linhas e redução do número de risers (tubos que fazem a ligação entre os poços de petróleo, no fundo do mar, e as plataformas ou navios, na superfície) conectados à UEP. Esse equipamento contribui para a viabilidade técnica e econômica da produção, considerando-se o alto custo dessas linhas. Atualmente, a configuração mais usual se constitui numa estrutura independente, simplesmente assentada no leito submarino, que recebe produção de vários poços satélites. Na Figura 1 pode-se ver o exemplo de um Manifold.



**Figura 1:** Manifold Submarino [3]

### 2.3 Jumpers elétricos

Os jumpers elétricos são equipamentos utilizados para fazer conexões submarinas entre módulos e equipamentos que são instalados separadamente ou que possam ser substituídos. Também conhecidos como Electrical Flying Leads (EFL), esses equipamentos são compostos por um ou mais cabos elétricos dispostos dentro de uma mangueira preenchida normalmente com óleo de silicone, hermeticamente selada e com conectores multivias em suas extremidades (jumpers elétricos para ambiente submarino). São equipamentos simples e versáteis, que podem sofrer pequenas alterações em sua forma a fim de se adequar ao serviço em questão; podem apresentar alças para operação de robôs em ambiente ultra profundo, ou não, caso seja possível a operação por mergulhadores (águas rasas). A Figura 2 ilustra um jumper elétrico de doze vias com conectores do tipo pino.



**Figura 2:** Exemplo de um Jumper elétrico [5]

## 2.4 Skid

O Skid é uma estrutura de aço, usada como uma plataforma para transporte, que, posteriormente, é instalado em concreto ou sobre fundação no seu destino final de trabalho. Este conceito de instalação permite que o fabricante consiga realizar toda a montagem da unidade dentro de seu próprio chão de fábrica, onde a quantidade e a variedade de recursos são maiores do que no "campo". Esse "pacote" de equipamentos, montados em uma mesma estrutura metálica, é comumente complementado com acessórios, instrumentos e controles.

Fator de extrema importância é o custo de montagem no chão de fábrica, que é normalmente muito menor do que seria necessário para montagem no "campo", em especial quando o local de trabalho está em uma parte remota do mundo ou o ambiente de trabalho é insalubre (as questões de custo não serão abordadas nesse projeto). A Figura 3 ilustra um exemplo de Skid.

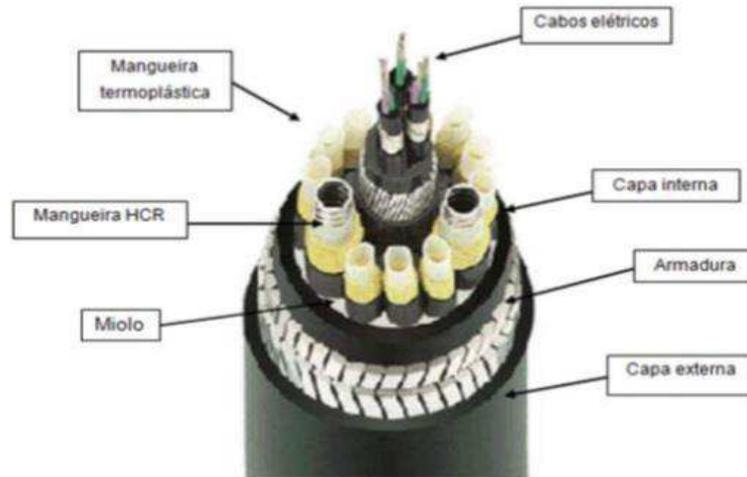


**Figura 3:** Exemplo de Skid [5]

## 2.5 Umbilical Submarino

Os umbilicais submarinos são componentes fundamentais do sistema de controle de poço e na prática são dutos flexíveis, compostos por um conjunto de mangueiras, cabos elétricos ou ópticos que ligam a unidade de produção (plataformas ou FPSO) ao manifold ou à árvore de natal molhada. De maneira geral, os umbilicais têm a função de transportar a potência hidráulica para acionamento das válvulas na ANM, a potência elétrica para aquisição e escoamento do produto. De forma geral, este cabo possui uma configuração diferente para cada aplicação. Em geral são compostos por:

1. **Mangueiras:** responsável pelo transporte da potência hidráulica da unidade de produção para o manifold ou poço.
2. **Mangueiras HCR:** São mangueiras de maior calibre que suportam maiores diferenciais de pressão, assim evitando o colapso durante as operações de injeções de produtos químicos.
3. **Cabos Elétricos:** Responsáveis pela aquisição de dados dos poços satélites
4. **Miolo:** Previne o atrito entre a mangueira e o cabo elétrico, além de promover o isolamento térmico e equalizar a pressão.
5. **Capa Interna:** Protege o miolo
6. **Armadura:** Camada metálica que tem a função de proteger a mangueira contra esforços de tração e torção.
7. **Capa Externa:** Capa polimérica que gera isolamento e garante a estanqueidade do restante do umbilical.



**Figura 4:** Cabo umbilical [8]

## Capítulo 3 – Problema proposto

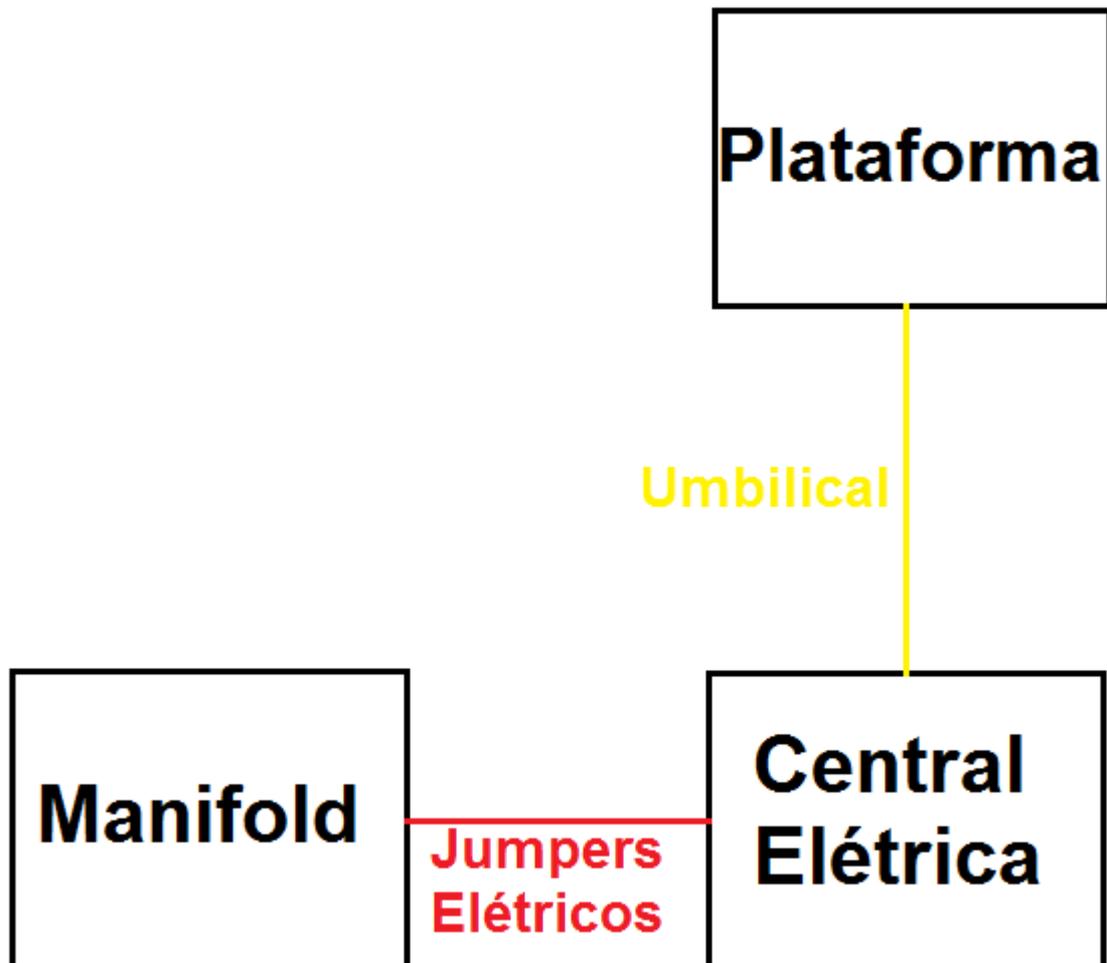
### 3.1 – Descrição do Problema

A empresa OILEQUIP tem em andamento o projeto e construção de um Manifold que será utilizado pelo Cliente Petrobras, para sua utilização a uma profundidade de 300 metros na Bacia de Campos, Rio de Janeiro. Como parte do projeto, a empresa precisa se responsabilizar por todos os aspectos do funcionamento do Manifold. Desde a estrutura, tubulação e do conjunto de válvulas de bloqueio (Gaveta e esfera) e válvulas Choke (Controle do fluxo), até sistemas de controle, ferramentas e acessórios.

Um destes acessórios está associado ao tema deste projeto final: os jumpers elétricos do Manifold que fazem a conexão entre a central elétrica e o Manifold. Estes são necessários para prover energia aos sensores utilizados no Manifold. Essas centrais elétricas são conectadas aos umbilicais. A Figura 5 abaixo ilustra o esquema geral da utilização dos jumpers elétricos.

Este Trabalho terá enfoque no Skid, estrutura de transporte responsável por proteger os jumpers elétricos citados até o local em que os jumpers elétricos serão instalados, ou seja, no solo marinho a 300 metros de profundidade. Mais especificamente, O Skid deve ser projetado para transportar 10 Jumpers elétricos de 30 metros de comprimento e que possuem

um raio de curvatura mínimo de 4". Os jumpers são itens comerciais, sendo assim a responsabilidade da empresa e o tema deste Projeto Final, o projeto do Skid que faça o transporte destes jumpers de maneira segura. O produto, posteriormente será fabricado pela própria empresa Oilequip.



**Figura 5:** Esquema de conexão  
Fonte: Elaborada Pelo Autor

### 3.2 – Documentos de Referência

Os documentos utilizados foram determinados pelo cliente para auxílio do projeto. Os documentos denominados Normas Aplicáveis são de natureza obrigatória para a aceitação do projeto. As Normas de Referência foram assim designadas por serem referenciadas pelas Normas Aplicáveis, então apesar de não serem normas mandatórias, são imprescindíveis para a realização do projeto. Alguns documentos são de natureza confidencial do projeto do

cliente, sendo assim, apesar de serem citados aqui, possivelmente não serão acessíveis pela internet.

A seguir, as Normas Aplicáveis e de Referência, serão citadas:

### **3.2.1 – Normas Aplicáveis**

**3.2.1.1** - API 17D SECOND EDITION [3.2.1.1] - Design and Operation of Subsea, Production Systems-Subsea, Wellhead and Tree Equipment

**3.2.1.2** - API RP 2A– LRFD “Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design”

**3.2.1.3** - ASTM A36 – Standard specification for Carbon Structural Steel

**3.2.1.4** - ASTM A131 – Standard Specification for Structural Steel for Ships

**3.2.1.5** - RM-3000.00-1514-270-PEK-003 – Manifold Submarino Diver Assisted (DA) – Proef

**3.2.1.6** - ET-3000.00-1514-270-PEK-001 rev D – Manifold Submarino

**3.2.1.7** - ET-3000.00-1500-610-PEK-002 rev A – Eslingas para Transporte de Equipamentos Submarinos.

#### **3.2.1.8 - Normas de Referência**

**3.2.1.8.1** - DNV 2.7-1 – Offshore Containers (Norma de Referência)

**3.2.1.8.2** - DNV 2.7-3 – Portable Offshore Units

**3.2.1.8.3** - DNV – RP – H103 – Modeling and Analysis of Marine Operations

**3.2.1.8.4** - I-ET-3000.00-1000-941-PPC-001 – METOCEAN DATA

**3.2.1.8.5** - AWS D1.1 – Structure Welding Codes – Steel

### **3.2.2 – Descrição das principais Normas deste Projeto**

A seguir será apresentado uma breve descrição das principais normas que regularam esse projeto. Apesar de todas terem sua importância, algumas são essenciais para o entendimento do projeto.

#### **3.2.2.1 – Norma de Referência - DNV 2.7-1**

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2-7-1 é a principal norma que rege este projeto, pois, apesar do Skid não ser o container padrão, todo fechado, o mesmo pode ser considerado como um container aberto, então todas as indicações da norma podem e devem ser levadas em consideração para garantir a segurança, funcionalidade e qualidade do projeto. Utilizou-se essa norma para o cálculo de muitos componentes do projeto como por exemplo: material, projeto de estrutura, fator de segurança mínimo, seleção das eslingas e manilhas foram levados em consideração na realização deste projeto. Vale ressaltar que a DNV 2-7-1 também referencia a DNV 2-7-3 “PORTABLE OFFSHORE UNITS”.

#### **3.2.2.2 – Norma Aplicável - API 17D Second Edition**

A norma aplicável API 17 D “Especificação para Equipamentos Submersos de Cabeças de Poço e Árvores de Natal” foi formulada com o intuito de disponibilizar equipamentos submersos de cabeça de poço, tubulações de lama e árvores-de-natal seguros, dimensionais e funcionalmente intercambiáveis. Ou seja, é uma norma ampla para aplicações “Subsea”, porém, por se tratar dos equipamentos citados anteriormente, são feitas menções às estruturas principais não pressurizadas, como o Skid, que se enquadra nessa categoria. Ela também foi utilizada para base de cálculo dos olhais de içamento e principalmente por referenciar a norma DNV 2-7-1 “OFFSHORE CONTAINERS”, principal norma utilizada neste projeto.

### **3.2.2.3 – Norma de Referência - DNV 2.7-3**

A norma de referência [3.2.2.3] DNV 2.7-3 trata de Unidades Offshore Portáteis, e foi utilizada nesse projeto como complemento da norma DNV 2.7-1 uma vez que esta cobre “transportes submarinos”. O Skid deste projeto especificamente, além de ser uma estrutura de transporte offshore, é de transporte submarino, logo esta norma se torna relevante para o projeto.

### **3.2.2.4 – Norma Aplicável - API RP 2A**

A norma aplicável [3.2.2.4] API RP 2A – LRFD “RECOMMENDED PRACTICE FOR PLANNING, DESIGNING AND CONSTRUCTING FIXED OFFSHORE PLATAFORMS – LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN” também foi utilizada nesse projeto como norma de referência, apesar de não ser uma plataforma offshore padrão, o Skid ficará sobre solo marinho durante a instalação dos jumpers elétricos ao Manifold, por isso a API RP 2A deve ser levada em consideração em alguns cálculos de fundação, para garantir que o Skid não irá afundar nem deslizar. Esta norma prevê também forças de sucção sobre a base de fundação no momento da retirada do Skid do solo marinho, dessa forma a força para o içamento na retirada será maior. O apêndice B da memória de cálculo contém o cálculo de fundação do Skid.

## Capítulo 4 - Concepção do Projeto

A partir do layout de enrolamento do Jumper já definido previamente, foi iniciado o esboço do layout da estrutura como um todo. Inicialmente foi feito o esboço da estrutura de acordo com experiências de Skids de sucesso da empresa, auxiliado pelas boas práticas da engenharia, para posteriormente fazer a verificação da integridade da estrutura na memória de cálculo deste projeto final, de acordo os critérios de aceitação das normas de projeto.

### 4.1 – Fatores relevantes para o layout da estrutura

Inicialmente, para fazer o layout da estrutura e as disposições das vigas, alguns fatores devem ser levados em consideração:

- Peso do conjunto “jumpers elétricos”
- Layout do transporte do jumper
- Bolsões para empilhadeira
- Ergonomia
- Estabilidade do Skid
- Resistência mecânica e rigidez
- Fabricação e montagem

#### 4.1.1 – Peso dos conjunto “Jumpers Elétricos”

O conjunto “Jumpers Elétricos” é assim citado por incluir além dos 10 jumpers elétricos, os conectores, parkings associados e os tubos de suporte dos mesmos. O conjunto “Jumpers Elétricos” é a carga a ser carregada pela estrutura pois o restante é considerado como a estrutura principal do Skid. Porém, visto que os jumpers são cargas relativamente pequenas (Cerca de 31 kgf por jumper) e por isso não solicitam materiais muito refinados, foi escolhida a utilização de vigas em I de menor tamanho encontrado no mercado, no caso foi escolhida a viga de 3” da GERDAU, para o uso no “frame” da estrutura, bem como para o suporte dos Jumpers.

Além do suporte aos Jumpers elétricos, há também o frame do Skid, a parte que envolve o interior, este foi também dimensionado com viga I de 3” e seu cálculo da integridade está na análise de elementos finitos no capítulo 8 deste projeto final.

#### 4.1.2 - Layout do transporte do Jumper

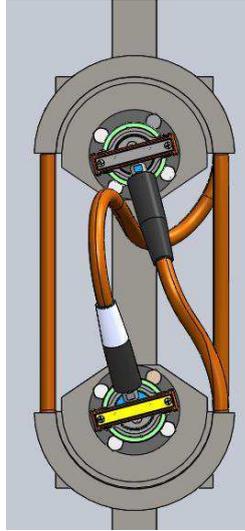
Os jumpers foram definidos previamente por padrão da empresa Oilequip, que seriam transportados enrolados individualmente em formato elíptico a fim de que os conectores que ficam nas extremidades de cada jumper possam ser encaixadas aos parkings dos conectores, transportando assim em seu interior, “ganhando” esse espaço interno ao enrolamento. Desta forma, foi estabelecida que a melhor forma de realizar esse enrolamento seria enrolando-o em volta de um tubo cortado ao meio e separada a certa distância, esses tubos seriam soldados diretamente à estrutura. Nos tópicos seguintes será descrito como funcionará essa montagem. A Figura 6 abaixo mostra como funcionará esse enrolamento.



Figura 6: Enrolamento elíptico do Jumper (isométrico)

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Apesar de ter sido definido o enrolamento do jumper, precisava ainda ser definido como esta montagem seria feita na prática. A posição escolhida para esses tubos ficarem presos foi a posição vertical, de forma a facilitar a ergonomia no processo de enrolamento/desenrolamento pelo mergulhador (Conforme Figura 7).



**Figura 7:** Enrolamento elíptico do jumper (vista superior)

**Fonte:** Elaborada pelo autor

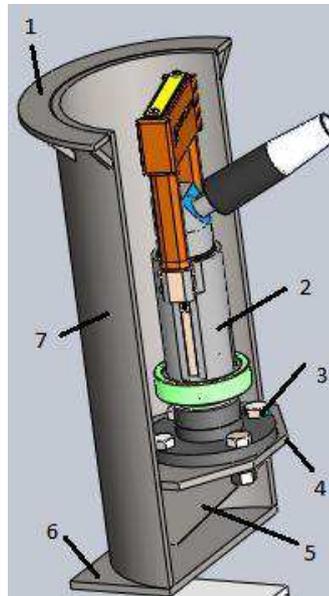
#### 4.1.2.1 – Componentes da Montagem do Enrolamento

A função dos jumpers é fazer a ligação elétrica entre a central elétrica e o manifold. A montagem pela qual o jumper é enrolado e os conectores são fixados no interior do enrolamento, utilizam 7 componentes principais:

- Batente dos Jumpers [1]
- Conector [2]
- Parking do conector [3]
- Chapa de suporte do parking [4]
- Reforço [5]
- Chapa de interface tubo/viga [6]
- Tubo [7]

O conector [2] é encaixado cuidadosamente no parking [3], que por sua vez é aparafusado a uma chapa de suporte [4] e esta soldada ao tubo [7]. A fim de atingir uma maior segurança e rigidez foi considerado um reforço [5] na extremidade da chapa de suporte [4]. O tubo [7] é então soldado a uma chapa de interface [6] e ela soldada à viga I, esta chapa foi utilizada de modo a ampliar a área de contato para a soldagem. Foi adicionado um batente para o jumper [1] para que ele se desprenda do tubo [7] durante o transporte. A Figura 8 abaixo mostra o resultado final desta montagem do enrolamento assim como cada um dos

seus componentes principais. Detalhe que na Figura 8 abaixo, está representado apenas uma metade do tubo superior, a metade inferior contém os mesmos componentes.



**Figura 8:** Componentes da Montagem do Enrolamento

**Fonte:** Elaborada pelo autor

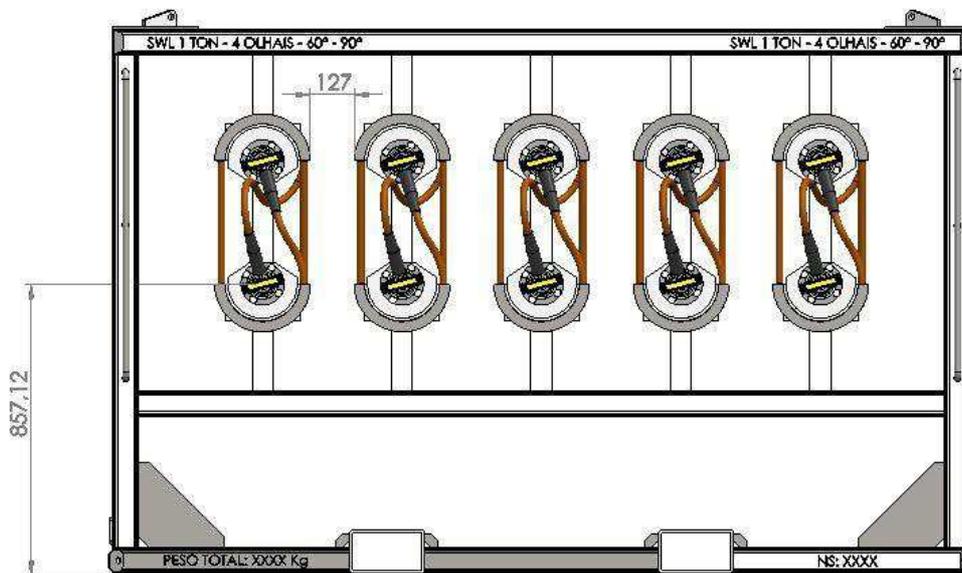
#### 4.1.3 – Bolsões para Empilhadeira

O Skid alvo deste projeto tem a capacidade de ser transportado de duas formas, por içamento pelos olhais ou através do levantamento pelos bolsões de empilhadeira (que é um requisito da Petrobras como cliente e também da norma de referência [3.2.2.1]). Foram utilizados tubos mecânicos comerciais para a elaboração desses “bolsões” que de acordo com a norma devem estar separados no mínimo de 1300 mm, centro a centro, e devem ser capazes de resistir à carga exercida a eles na execução do levantamento através da empilhadeira. O cálculo da carga na condição de levantamento pela empilhadeira esta detalhada no Apêndice A e a análise da estrutura na análise de elementos finitos no Capítulo 8. Os bolsões estão representados no layout final do Skid na Figura 10, no final deste capítulo.

#### 4.1.4 – Ergonomia

Toda operação a ser realizada com os jumpers elétricos no fundo do mar será feita por mergulhadores, dessa forma a ergonomia é um fator de extrema importância para o projeto e, por isto, foi então definido que os Jumpers seriam enrolados na vertical conforme Figura 9, de modo a facilitar o processo pelo mergulhador. Foi determinado também um espaço entre os jumpers com cerca de 130 mm para permitir o movimento de enrolamento/desenrolamento

por parte do mergulhador. Os Jumpers foram dispostos na vertical a certa altura do chão para não dificultar o trabalho por parte do mergulhador, porém não tão alto de forma a elevar muito o centro de gravidade do Skid, podendo ocasionar problemas de estabilidade já previstos pela norma e calculados no Apêndice A da memória de cálculo, conceito este que será explicado no tópico a seguir. Vale ressaltar também que por serem 10 jumpers a serem transportados, foram colocados 5 na parte da frente e 5 “espelhados” do lado de trás de modo a otimizar o espaço interno e mantendo-o simétrico. O modelo do leiaute final pode ser observado na Figura 9, nela é possível observar a distância entre os Jumpers e sua altura do chão com cerca de 860 mm do chão.



**Figura 9:** Jumpers enrolados na vertical

**Fonte:** Elaborada pelo autor

#### 4.1.5 – Estabilidade do Skid

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2.7-1 estabelece que o Skid deve ter estabilidade mesmo após um tombamento de 30° em qualquer direção. O cálculo desta estabilidade está detalhado no Apêndice A da memória de cálculo. O conceito é simples, o Skid ao ser tombado 30°, seu centro de massa o acompanha, assim o centro de massa ao ser tomado 30° não pode passar do eixo de rotação de tombamento (no caso a extremidade da base), porque se acontecer isso, o peso concentrado no centro de massa agiria de forma a causar um momento no sentido de tombar o Skid. Esta estabilidade exigida na norma de referência

[3.2.2.1] deve ser cautelosamente calculada, pois se procurou dimensionar o Skid da menor forma possível, mantendo a ergonomia para o mergulhador, entretanto, são fatores conflitantes, uma vez que para manter uma ergonomia ideal os jumpers deveriam ficar a uma altura que pudessem ser manuseados pelos mergulhadores em pé na altura dos ombros e sem maiores esforços, mas desta forma implicaria no aumento do tamanho da estrutura para acompanhar a elevação (utilizando mais material e encarecendo o projeto como um todo) e principalmente, elevando o centro de gravidade, o que poderia comprometer a estabilidade ao tombamento de 30° previstos pela norma referida.

#### **4.1.6 – Resistência Mecânica e Rigidez**

As cargas a serem transportadas (jumpers e conectores) como descrito anteriormente, são considerados como uma carga leve para uma estrutura de Aço, então, do ponto de vista da resistência mecânica, a disposição das vigas não é um fator que necessite de uma atenção especial, de qualquer forma considerações foram feitas como exemplo: As vigas, que suportam os tubos com os jumpers enrolados, foram dispostas de modo que o momento causado pelo jumper em relação a viga fosse realizado em relação ao maior momento de inércia da seção transversal da viga I, oferecendo assim maior resistência . A disposição dos jumpers foi feita também de maneira a dar a máxima rigidez ao transporte, por esta razão vigas muito longas foram evitadas, por exemplo, para além de garantir a integridade da estrutura, possibilitar segurança ao transporte.

#### **4.1.7 – Fabricação e Montagem**

A Fabricação e a Montagem são fatores de extrema importância, pois nada adiantaria utilizar dos outros fatores citados acima se não fosse possível a fabricação dos componentes para que posteriormente pudessem ser montados adequadamente. Desta forma, como será descrito no capítulo 6 “Seleção dos Componentes Comerciais”, todos serão fabricados ou serão comerciais. Do ponto de vista da montagem, foi decidido que seria uma estrutura de natureza permanente, assim sendo, todas as junções de componentes deste Skid serão soldados, com exceção do parking do conector que possui um flange com 4 parafusos, aparafusados à chapa de suporte do parking, explicado anteriormente.

## **4.2 – Outros componentes necessários para concepção final do modelo**

Os fatores relevantes para a definição do layout da estrutura e disposição das vigas foi feito no item anterior, neste item serão definidos os outros itens necessários para a conclusão do modelo final do Skid.

### **4.2.1 – Tubo de Suporte do Jumper**

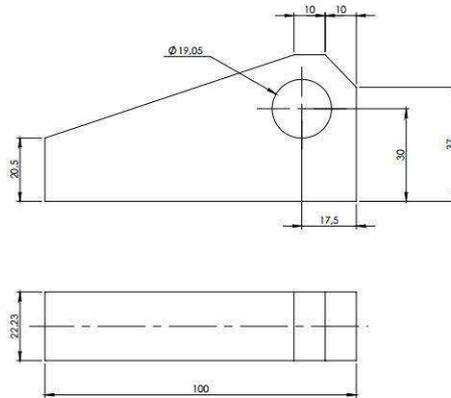
Como já foi descrito anteriormente, o jumper será levado enrolado em tubos cortados ao meio. Haverá então 10 tubos, 1 para cada jumper, considerando que somente a metade do tubo superior que resiste a essa carga.

Pelo fato de o peso de cada jumper não ser muito elevado, os tubos escolhidos para tal função, foram tubos de condução, sem a necessidade de utilizar tubos mecânicos de alta resistência. O capítulo 5, a seguir contém as análises de carga no tubo de suporte dos jumpers, assim como o cálculo de resistência mecânica desses. Na Figura 12, os tubos de suporte estão representados.

### **4.2.2– Olhais de Içamento**

Um dos componentes mais importantes para o Skid devido à sua criticidade, são os olhais de içamento, cuja principal norma aplicável é a API 17D [3.2.2.2] que pela sua importância, contém um guia para dimensioná-los, este dimensionamento é explicado no Capítulo 5 e detalhado no apêndice C. O olhal de içamento deve estar de acordo com os critérios de aceitação da norma referida. Idealmente, devem ser utilizados 4 olhais para o içamento e, como o Skid possui formato retangular, o número ideal de olhais pode ser utilizado.

As dimensões estão na representação da vista frontal e superior na Figura 11 abaixo. As medidas estão em milímetros. O material desses olhais é o ASTM AH131, conforme requisito de qualidade da norma API RP-2A, norma também utilizada neste projeto.

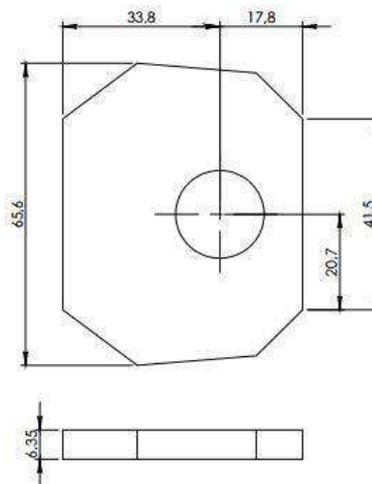


**Figura 10:** Detalhes do olhal de içamento  
**Fonte:** Elaborada pelo autor

### 4.2.3 – Olhais de Amarração

Os olhais de amarração, ou olhais de “seafastening” são assim denominados porque é por meio destes que o Skid é amarrado para este não se movimentar durante o transporte nas embarcações. Serão colocados 4 olhais de amarração, um em cada canto inferior do skid, que podem ser visualizados na Figura 12.

Foi utilizado um olhal de amarração padrão da empresa para Skids até 5 toneladas, adaptado ao layout da estrutura em questão. As medidas básicas desse olhal de amarração utilizado nos 4 cantos inferiores do Skid estão representados na figura abaixo. O material é ASTM AH131, igual ao do olhal de içamento. O desenho da figura abaixo não é para a fabricação, apenas para ilustração das medidas gerais do olhal de amarração.



**Figura 11:** Olhais de Amarração  
**Fonte:** Elaborada pelo autor

#### **4.2.4 – Telas de Proteção**

O Skid como já descrito foi considerado como um container aberto para projeto, porém, a fim de não haver uma total desproteção dos componentes internos do Skid, sobretudo dos jumpers elétricos, foram colocadas telas de proteção nas laterais e na parte superior do Skid. Nas Figuras 12 e 13 as telas podem ser visualizadas. As telas de proteção são chapas expandidas, itens comerciais, que foram selecionadas de acordo com as considerações de carregamento explicitadas no apêndice A da memória de cálculo.

#### **4.2.5 – Chapas de ¼”**

As chapas de ¼” que podem ser vistas as Figuras 12 e 13, têm as mais variadas utilizações. Podem servir como reforço de modo a fazer os carregamentos serem melhor distribuído ao longo da estrutura, podem servir apenas de apoio, batente e podem servir também para o aumento da área de contato para soldagem como por exemplo a chapa de interface olhal/estrutura.

#### **4.2.6 – Chapa de Fundação**

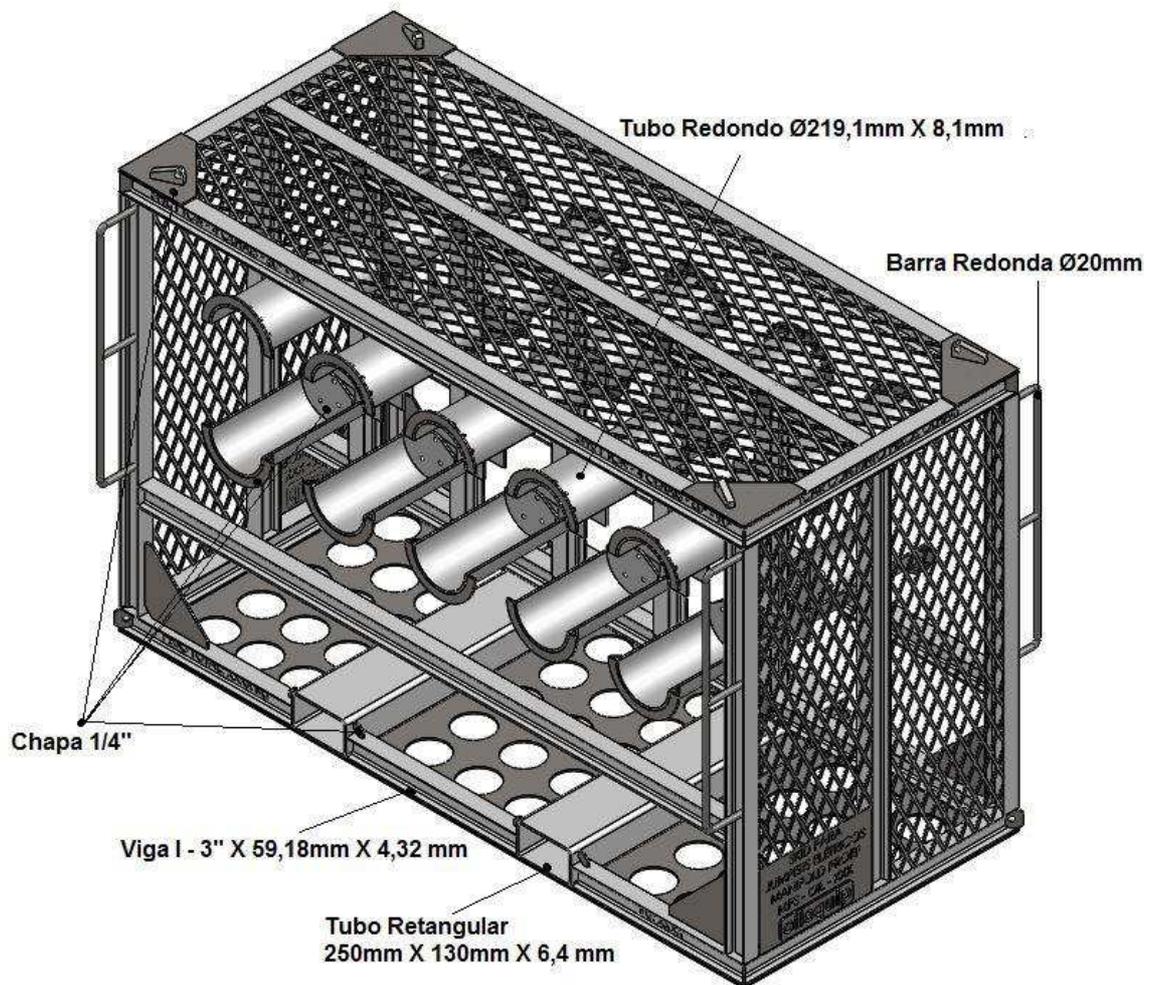
A chapa de fundação que pode ser vista nas Figuras 12 e 13, têm a função de distribuir melhor o peso do Skid em solo marinho. Este componente é muito importante, pois a partir de sua geometria, peso do Skid, dados do solo marinho e do ambiente de trabalho pode-se avaliar se o Skid irá afundar ou deslizar em solo marinho, bem como avaliar a carga de sucção devido ao agarramento do solo marinho ao Skid, no momento da retirada. Os furos têm objetivo de garantir as condições de fundação bem como a redução da carga de sucção, do peso e a diminuição do arrasto durante o transporte marítimo. A chapa de fundação é soldada diretamente à face inferior da estrutura do Skid. A explicação dos cálculos de fundação está no Capítulo 8 e detalhada no Apêndice B.

#### **4.2.7 – Barra de Docagem para ROV**

Pode ser observado na Figura 12 como “barra redonda”. Apesar de o Skid ser manuseado por mergulhadores, o cliente requisitou que o Skid tivesse adaptações caso fosse utilizado o ROV (veículo submarino operado remotamente). Trata-se um equipamento muito utilizado na indústria de petróleo e que consiste em um robô submersível, operado remotamente por uma pessoa a bordo de uma embarcação. É utilizado para realizar e supervisionar a montagem de equipamentos de exploração e produção em grandes profundidades). Sendo assim, foram colocadas barras de docagem para o caso de serem utilizados os ROV's. Estas barras serão utilizadas para a estabilização do ROV durante a operação de retirada e instalações dos jumpers.

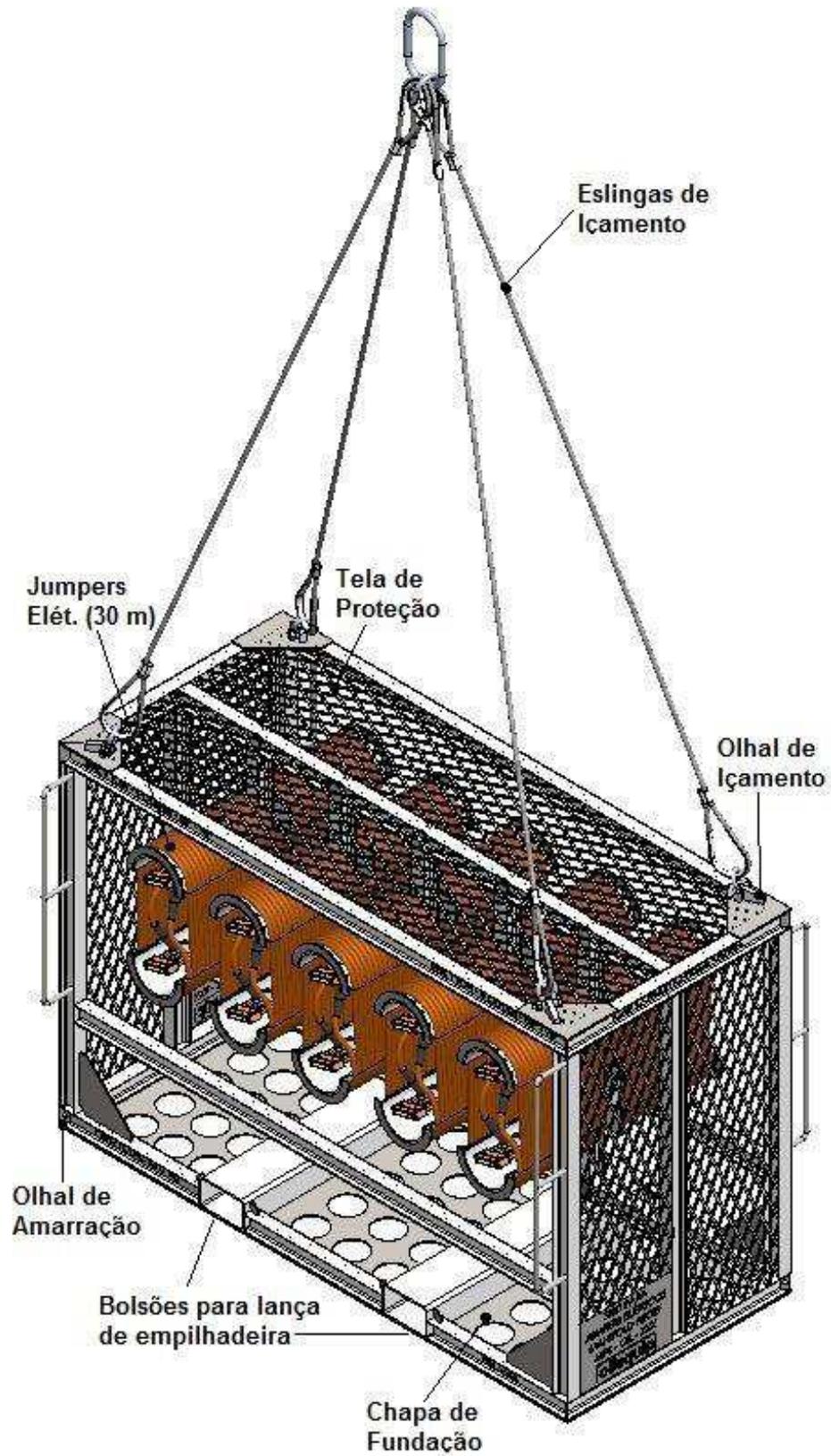
### 4.3 – Layout Final

Levando em conta todas as considerações anteriores para modelar a estrutura, obteve-se a estrutura final cuja análise de integridade estrutural por elementos finitos encontra-se no Capítulo 8 deste projeto final. A Figura 12 a seguir mostra o modelo final da estrutura com detalhes para os componentes comerciais. Já a Figura 13 mostra o modelo do Skid final com os componentes mais importantes como os jumpers e as eslingas de içamento.



**Figura 12:** Modelo da Estrutura final do Skid

**Fonte:** Elaborada pelo autor



**Figura 13:** Perspectiva Isométrica do Skid com os Jumpers já enrolados  
**Fonte:** Elaborada pelo autor

## Capítulo 5 – Dimensionamentos

Neste Capítulo será descrito o processo de dimensionamentos dos componentes que necessitam ser feitas análises para a sua seleção. Os detalhes dos cálculos estarão nos apêndices deste projeto final.

### 5.1 – Olhal de Içamento

O olhal de içamento foi dimensionado conforme o guia de projeto das normas API 17D e DNV 2.7-1. Devido ao fato de este ser um componente essencial para o transporte do Skid, este deve ser então aprovado pelos critérios de aceitação das normas anteriormente citados para poderem ser aceitos pelo cliente. A seguir será apresentado os principais dados de entrada, o cálculo de dimensionamento para posterior cálculo de integridade, comparando assim com o critério de aceitação.

- **Cálculo da Força Resultante em cada olhal:**

**Tabela 1:** Força Resultante em cada olhal

$P = 3,925 \text{ tonnef}$	Carga Resultante do Peso total do Skid somado à carga de Sucção (Apêndice B)
$n = 4$	Número de Olhais
$\alpha = 30^\circ$	Ângulo da Eslinga com a Vertical
$k_{Laf} = 2$	Coefficiente de ampliação dinâmica de carga (Para içamentos submarinos – API 17D)
$F_p = \frac{3P}{(n - 1) \times \cos(\alpha)} \times K_{Laf}$	Força Resultante em Cada Olhal

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Seleção da Manilha:**

**Tabela 2:** Máxima carga de Trabalho

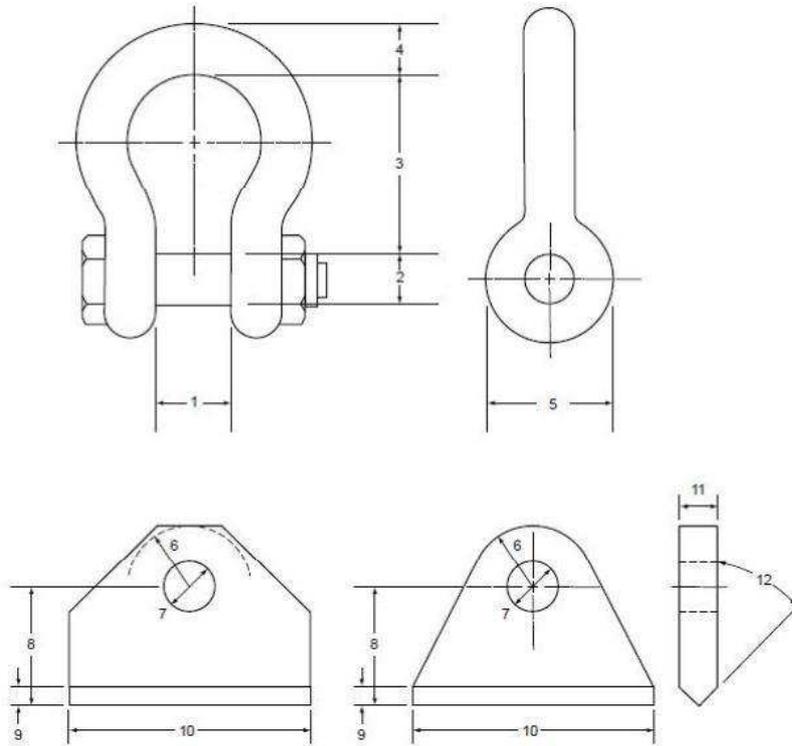
$WLL = 7\text{tonnef}$	Máxima carga de Trabalho (Valor indicado devido ao Peso do Skid conforme DNV 2.7-1)
$MWL = \frac{WLL}{3 \times \cos(30^\circ)}$	Máxima Carga de Trabalho da Manilha
$MWL = 26,4\text{ kN}$	Máxima Carga de Trabalho da Manilha

**Fonte:** Elaborada pelo autor

A partir desse valor de Máxima Carga de Trabalho da Manilha (MWL) foi selecionada a Manilha Gunnebo Green Pin Standard G-4163 com Capacidade Carga Máxima de 31,9 kN, ou seja, carga superior a MWL calculada anteriormente, garantindo a conformidade com a norma referida.

Após a seleção da manilha, com suas dimensões, é possível fazer o dimensionamento do olhal, visto que as medidas têm que estar de acordo de modo a permitir a conexão entre o Olhal e Manilha, o detalhe desse dimensionamento se encontra no Apêndice C deste Projeto Final.

Depois de Dimensionar o Olhal, este deve então ser calculado de modo a garantir a integridade do mesmo. As duas piores condições do cálculo de integridade do olhal serão apresentadas a seguir, as outras por estarem muito aquém do fator de utilização máximo estarão detalhadas no Apêndice C do Projeto Final. A seguir a Figura 14 mostra o Olhal e suas incógnitas.

**Key**

1	<i>A</i>	shackle jaw width	7	$D_h$	hole diameter
2	<i>B</i>	shackle bolt diameter	8	<i>H</i>	height from base to centre of pad eye hole
3	<i>C</i>	shackle inside length	9	<i>h</i>	pad eye weld thickness, equal to $t/h$ for full penetration welds
4	<i>N</i>	shackle loop thickness	10	<i>L</i>	pad eye length
5	<i>F</i>	shackle flange width	11	<i>t</i>	pad eye thickness
6	<i>R</i>	minimum distance from centre of bolt hole to pad eye edge	12	$\beta$	bevel angle for weld preparation

NOTE For a pad eye thickness larger than 50,8 cm (2,0 in), see ISO 10423 for recommended weld geometries.

**Figure K.1 — Shackle and Pad eye profiles and dimensions (not to scale)**

### Figura 14: Dimensões do Olhal

Legenda:

- 1 - A - Largura Interna da Manilha
- 2 - B - Diâmetro do Pino da Manilha
- 3 - C - Comprimento Interno da Manilha
- 4 - N - Espessura do "loop" da Manilha
- 5 - F - Largura do Flange da Manilha
- 6 - R - Mínima distância entre o furo do olhal até a extremidade do mesmo.
- 7-  $D_h$  - Diâmetro do furo
- 8 - H - Altura da base até o centro do furo do Olhal
- 9 - h - Espessura da solda do olhal

10-L - Comprimento do Olhal

11-t - Espessura do Olhal

12- $\beta$ - Ângulo de chanfro para preparação da solda

### Cálculos de integridade do olhal:

- **Tensão de Arrancamento do Olhal:**

**Tabela 3:** Tensão de arrancamento do Olhal

$F_p = 88,9kN$	Força Resultante em cada Olhal
$R = 35\text{ mm}$	Mínima distância entre o furo do olhal até a extremidade do mesmo
$t = 22,22\text{ mm}$	Espessura do Olhal
$D_h = 19,05\text{ mm}$	Diâmetro do Furo
$S_{TO} = \frac{3F_p}{2Rt - D_h t}$	Tensão de arrancamento do Olhal de acordo com norma API 17D
$S_{TO} = 235,4\text{ MPa}$	Tensão de arrancamento do Olhal de acordo com norma API 17D

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Fator de Utilização da tensão de arrancamento**

**Tabela 4:** Fator de Utilização (tensão de arrancamento) (%)

$S_y = 355 \text{ MPa}$	Tensão Limite de Escoamento do Material do Olhal
$UF_{TO} = \frac{S_{TO}}{S_y}$	Fator de Utilização (%)
$UF_{TO} = 66,34 \%$	Fator de Utilização (%)

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Comparando o Fator de Utilização achado para a Tensão de Arrancamento do Olhal (66,34 %) e comparando com o fator de utilização máximo do critério de aceitação da norma API 17D ( 100%) chega-se à conclusão que o olhal está considerado aprovado de acordo com os critérios considerados.

- **Tensão de Contato do Olhal e Fator de Utilização:**

**Tabela 5:** Análise de integridade da tensão de contato do olhal

$F_p = 88,9 \text{ kN}$	Força Resultante em cada Olhal
$D_h = 19,05 \text{ mm}$	Diâmetro do Furo
$t = 22,22 \text{ mm}$	Espessura do Olhal
$\sigma_{c_{padeye}} = 23,7 \times \sqrt{\frac{F_p}{D_H t}}$	Tensão de Contato do Olhal
$\sigma_{c_{padeye}} = 343,4 \text{ MPa}$	Tensão de Contato do Olhal

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Fator de Utilização da Tensão de Contato do Olhal**

**Tabela 6:** Fator de Utilização da Tensão de Contato do Olhal

$S_{y\_reforço} = 517 \text{ MPa}$	Tensão Limite de Escoamento do Material do Reforço do Olhal
$FU_{c\_padeye} = \frac{\sigma_{c\_padeye}}{S_{y\_reforço}}$	Fator de Utilização (%)
$FU_{c\_padeye} = 66,42 \%$	Fator de Utilização da Tensão de Contato do Olhal

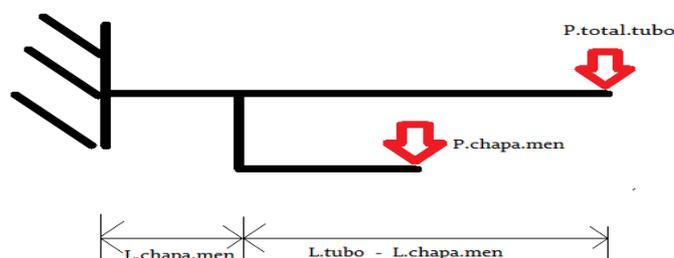
**Fonte:** Elaborada pelo autor

Comparando o Fator de Utilização achado para a Tensão de Contato do Olhal (66,42 %) e comparando com o fator de utilização máximo do critério de aceitação da norma DNV 2.7-2 (85%) chega-se à conclusão que o olhal está considerado aprovado de acordo com os critérios considerados.

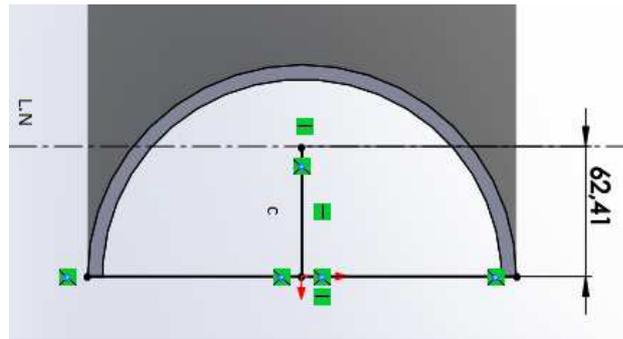
Desta forma, conclui-se que de acordo com as normas de projeto, o olhal foi adequadamente dimensionado, para sua fabricação e montagem deverá atender as normas de qualidade do projeto já citados no Capítulo 3.

## 5.2 – Tubo de Suporte dos Jumper

O tubo de Suporte dos Jumpers deverá ser dimensionado pois apesar de o Jumper ser relativamente leve (Cerca de 31 kg), precisa-se confirmar, até mesmo para uma posterior análise, se houver a necessidade de alteração do material e ou das suas dimensões. O tubo a priori foi dimensionado de acordo com o raio de curvatura mínimo do jumper de 4”, a espessura foi a menor encontrada para o diâmetro escolhido, já o material escolhido foi o melhor valor resistência/preço. A seguir será representado a análise de cargas no Tubo de Suporte dos Jumpers e posteriormente sua análise de integridade. Será representado aqui os pontos mais importantes do cálculo, o detalhamento dos cálculos estará no Apêndice A deste projeto.



**Figura 15:** Análise de Corpo Livre



**Figura 16:** Localização da Linha Neutra (LN)

- **Análise de Cargas (dados de entrada):**

**Tabela 7:** Momento fletor total aplicado ao tubo

$M_{chapa.men} = 8,36 \text{ N.m}$	Momento devido aos pesos aplicados a chapa menor (em contato direto com o tubo)
$M_{jumper.livre} = 1,55 \text{ N.m}$	Momento aplicado devido ao Jumper solto
$M_{con.park} = 27,45 \text{ N.m}$	Momento aplicado pelo Peso do Conector
$M_{total.tubo} = 187,1 \text{ N}$	Momento aplicado na extremidade do Tubo (Peso do Jumper + Peso Tubo cortado)
$M_{total.tubo} = M_{ext.tubo} + M_{jumper.livre} + M_{con.park} + M_{chapa.men}$	Momento Fletor total Aplicado ao Tubo
$M_{total.tubo} = 224.45 \text{ N.m}$	Momento Fletor total Aplicado ao Tubo

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Força Cisalhante aplicada ao Tubo**

**Tabela 8:** Peso total aplicado ao tubo

$V_{cis.tubo} = 481,7 N$	Peso Total aplicado ao Tubo (Jumper, Conector, Parking, Peso do Tubo, Peso da chapa)
$V_{cis.tubo} = P_{total.tubo}$	Força Cisalhante aplicada ao Tubo

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão Fletora máxima aplicada ao Tubo**

**Tabela 9:** Tensão Fletora máxima aplicada ao Tubo

$c_{max.dist} = 62,41 mm$	Maior distância da extremidade da seção transversal até a Linha Neutra (LN)
$I_{tubo_x} = 2880101.71 mm^4$	Momento de inércia da Seção do tubo em relação ao momento aplicado
$\sigma_{n\_max\_tubo} = \frac{M_{total.tubo} \times c_{max.dist}}{I_{tubo_x}}$	Tensão Fletora máxima aplicada ao Tubo
$\sigma_{n\_max\_tubo} = 4,86 MPa$	Tensão Fletora máxima aplicada ao Tubo

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão Cisalhante Média aplicada ao Tubo**

**Tabela 10:** Tensão Cisalhante Média aplicada ao Tubo

$A_{tubo} = 2713,74 mm^2$	Área da seção transversal do Tubo
$\tau_{Tubo} = \frac{V_{cis.tubo}}{A_{tubo}}$	Tensão Cisalhante Média aplicada ao Tubo

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão de Von Mises aplicada ao Tubo**

**Tabela 11:** Tensão de Von Mises aplicada ao Tubo

$\sigma_{tubo} = \sqrt{(\sigma_{n\_max\_tubo})^2 + 3(\tau_{Tubo})^2}$	Tensão de Von Mises aplicada ao Tubo
$\sigma_{tubo} = 4,87 \text{ MPa}$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Fator de utilização do tubo**

**Tabela 12:** Fator de Utilização do Tubo (%)

$\sigma_{esc.tubo} = 205 \text{ MPa}$	Tensão de Escoamento do Material do Tubo
$FU_{tubo} = \frac{\sigma_{tubo}}{\sigma_{esc.tubo}}$	Fator de Utilização do Tubo (%)
$FU_{tubo} = 2,38 \%$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Apesar da análise anterior ser realizada pelo método de resistência dos Materiais não haveria necessidade de utilizar os critérios de aceitação das Normas de Projeto. Mas mesmo o fazendo, o fator de segurança do tubo (2,38%) é muito menor que o fator de utilização máximo das Normas de Projeto (85%).

### 5.3 – Parafusos

Os parafusos assim como o tubo dos jumpers deverão ser dimensionados, assim sendo foram inicialmente escolhidos parafusos de 21 mm de diâmetro de material AISI 316 inoxidável para posteriormente fazer a análise da integridade como mostrado abaixo:

- **Dados de Entrada**

**Tabela 13:** Dados de Entrada para os cálculos do parafuso

$P_{total\_paraf} = 83,64 N$	Carga total aplicada ao Parafuso
$M_{total\_paraf} = 29 N.m$	Momento total aplicado aos Parafusos
$L_{bin\_paraf} = 75,44 mm$	Distância entre binários do parafuso (Entre o par superior/inferior do flange)

**Fonte:** Elaborada pelo autor

#### Força Axial em 1 parafuso

**Tabela 14:** Força Axial em 1 parafuso

$F_{axial.1paraf} = \frac{M_{total\_paraf}}{2L_{bin.paraf}}$	Força Axial em 1 parafuso
$F_{axial.1paraf} = 192,17 N$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Força Cisalhante em 1 parafuso**

**Tabela 15:** Força Cisalhante em 1 parafuso

$n_{paraf} = 4$	Número de Parafusos no Flange do Parking
$F_{cis.1paraf} = \frac{P_{total\_paraf}}{n_{paraf}}$	Força Cisalhante em 1 parafuso
$F_{cis.1paraf} = 20,91 N$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão Cisalhante no Parafuso**

**Tabela 16:** Tensão Cisalhante no Parafuso

$A_{cis} = 316,79 mm^2$	Área Cisalhante do Parafuso ( $\pi$ x Diâmetro do Furo x Espessura do Flange)
$\tau_{paraf} = \frac{F_{cis.1paraf}}{2A_{cis}}$	Tensão Cisalhante no Parafuso
$\tau_{paraf} = 0,033MPa$	Tensão Cisalhante no Parafuso

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão Axial no Parafuso**

**Tabela 17:** Tensão Axial no Parafuso

$A_{trans} = 126,77 mm^2$	Área Transversal do Parafuso
$\sigma_{paraf} = \frac{F_{axial.1paraf}}{2A_{trans}}$	Tensão Axial no Parafuso
$\sigma_{paraf} = 1,517 MPa$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Tensão de Von Mises do Parafuso**

**Tabela 18:** Tensão de Von Mises do Parafuso

$\sigma_{total\_paraf} = \sqrt{(\sigma_{paraf})^2 + 3(\tau_{paraf})^2}$	Tensão de Von Mises do Parafuso
$\sigma_{total\_paraf} = 1.518 \text{ MPa}$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **Fator de Utilização do Parafuso**

**Tabela 19:** Fator de Utilização do Parafuso

$\sigma_{esc.paraf} = 240 \text{ MPa}$	Tensão de Escoamento do Parafuso
$FU_{paraf} = \frac{\sigma_{esc.paraf}}{\sigma_{total.paraf}}$	Fator de Utilização do Parafuso
$FU_{paraf} = 0,63\%$	

**Fonte:** Elaborada pelo autor

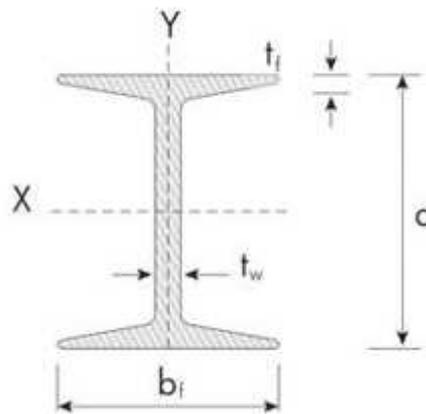
Apesar da análise anterior ser realizada pelo método de resistência dos Materiais não haveria necessidade de utilizar os critérios de aceitação das Normas de Projeto. Mas mesmo o fazendo, o fator de segurança do tubo (0,63 %) é muito menor que o fator de utilização máximo das Normas de Projeto (85%).

## Capítulo 6 – Seleção dos Componentes Comerciais

Uma das etapas mais importantes de qualquer projeto é a definição dos parâmetros iniciais. A partir destes parâmetros serão realizados os cálculos de projeto. Neste capítulo serão detalhados os componentes comerciais do Skid e, a partir desta definição será possível definir os parâmetros que serão utilizados em todos os cálculos do projeto.

### 6.1 – Vigas

As Vigas utilizadas para a estrutura do Skid foram as de 3” da Gerdau como já citado anteriormente no capítulo 3. Seguem, abaixo, as especificações da viga utilizada. O material escolhido para tal, foi o ASTM A36.



**Figura 17:** Viga I

**Fonte:** Acesso via [www.gerdau.com.br/produtos-catalogo-e.../5267.global.pt-BR.force.axd](http://www.gerdau.com.br/produtos-catalogo-e.../5267.global.pt-BR.force.axd) acessado em 10/10/2015

**Tabela 20:** Tabela da viga I

Bitola	Peso Nominal	Alma		Mesa		Área	Eixo X			Eixo Y			
		h	tw	bf	tf		J	W	r	J	W	r	rt
pol	Kg/m	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
3"	8,48	76,20	4,32	59,18	6,60	10,80	105,10	27,60	3,12	18,90	6,40	1,33	1,45

**Fonte:** Acesso via [www.gerdau.com.br/produtos-catalogo-e.../5267.global.pt-BR.force.axd](http://www.gerdau.com.br/produtos-catalogo-e.../5267.global.pt-BR.force.axd) acessado em 10/10/2015

## 6.2 – Chapas

Foram selecionadas as chapas de ¼” que neste projeto serão usadas como chapa de fundo para fundação do Skid (chapa com furos para redução da carga de sucção) e para os reforços da estrutura, onde o material utilizado foi o ASTM A36. Abaixo, segue detalhes das chapas selecionadas.



**Figura 18:** Chapas de ¼”

**Fonte:** Acesso via: [diaco.com.br](http://diaco.com.br), acessado em 21/10/2015

**Tabela 21:** Tabela da chapa de ¼”

pol.	Espessura		Peso aproximado kg/m <sup>2</sup>
		mm	
1/4”		6,30	49,39

**Fonte:** [diaco.com.br](http://diaco.com.br), acessado em 21/10/2015

### 6.3 – Tubo Mecânico Retangular

Os tubos mecânicos retangulares serão localizados na base da estrutura como os bolsões para empilhadeira, ou seja, esses componentes serão responsáveis pela movimentação do Skid, quando o mesmo não estiver sendo içado através dos olhais de içamento. Foram selecionados tubos comerciais com 6,4 mm. O material do Tubo é o ASTM A36.

**Tabela 22:** Tabela do tubo mecânico

Medidas de Fabricação mm												
Dimensões		Espessura de parede (mm) - Peso (kg/m)										
250	130	3,6	3,9	4,4	4,8	5,2	5,6	6,4	7,1	8,2	8,8	9,5
								36,08	39,90	45,86	49,09	52,83

**Fonte:** Acesso via: Açotubo.com.br A, acessado em 21/10/2015

### 6.4 – Barra de Docagem

Requisitada pelo cliente para a utilização de ROV's, a barra de docagem foi feita a partir de um tubo redondo de 20 mm de diâmetro e fixada nas laterais da estrutura para auxiliar a movimentação desse veículo submarino operado remotamente. O material selecionado para a aquisição dessas barras, foi o ASTM A36.

**Tabela 23:** Tabela da Barra de Docagem

Ø pol.	Ø mm	●
3/4	19,05	2,24

**Fonte:** Acesso via: <http://www.acosrodman.com.br>, acessado em 21/10/2015

## 6.5 – Jumpers Elétricos

Os Jumpers Elétricos determinados pela empresa Oilequip foram do fornecedor Teledyne. Apesar do fornecedor referenciar o peso linear de 5,84 N/m, utilizou-se neste projeto 10 N/m pelo fato da especificação ser o peso apenas da mangueira, sem o preenchimento interno e, assim seria feita uma análise conservadora para projeto. O catálogo não fornece também o peso dos Conectores e Parking, sendo assim a partir do modelo fornecido, estimou-se seu peso, considerando-se ser de aço comum. Sendo assim, através da folha de dados (Anexo B) foram analisados os seguintes dados como entrada:

Massa de cada conector: 4,8 kg

Massa de Parking do Conector: 3 kg

## 6.6 – Tubos de suporte dos jumpers

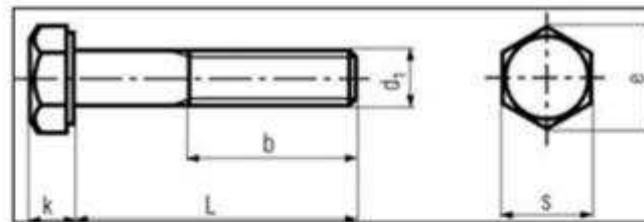
Os tubos de suporte utilizados para a estrutura do Skid foram os de 219 mm de diâmetro externo por 8 mm de espessura de parede da Açotubo como já citado anteriormente no capítulo 3. Seguem, abaixo, as especificações do tubo utilizado. Material ASTM A53.

Norm. prof. (")	Diâmetro		Esp. Parede mm	Peso Kg/m	Denom. Conf. API 5L	Sched Nº
	Ext. mm	Int. mm				
8"	219,1	206,40	6,35	33,31	-	20
		205,02	7,04	36,81	-	30
		203,26	7,92	41,24	-	-
		202,74	8,18	42,55	STD	40
		198,48	10,31	53,08	-	60
		193,70	12,70	64,64	-	80
		188,92	15,09	75,92	XS	100
		182,58	18,26	90,44	-	120
		181,00	19,05	93,98	-	-
		177,86	20,62	100,92	-	140
		174,64	22,23	107,92	XXS	-
		173,08	23,01	111,27	-	160

**Figura 19:** Tubos de suporte dos jumpers (Fonte: acotubo.com.br)  
**Fonte:** Acesso via: <http://www.acosrodman.com.br>, acessado em 22/10/2015

## 6.7 – Parafusos do Parking

Foi utilizado o parafuso sextavado de ½” para a fixação do parking. Trata-se de um parafuso de AISI 316 devido ao ambiente agressivo e a criticidade deste componente. Segue abaixo as características item conforme a Figura 18.



"B" de medição varia de acordo com o comprimento do parafuso  
 \* Todas as medidas em milímetros (mm) \*

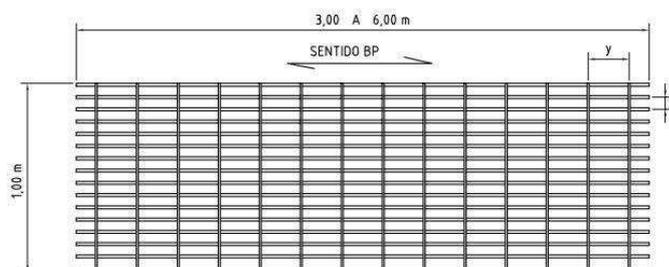
d1	b a 125	b para 200	b mais de 200	k	e	s
M12	30	36	49	7,5	21,1	19

**Figura 20:** Parafusos

Fonte: <https://projetosmecanicos.files.wordpress.com/2011/11/din-931.png>, Acessado em 22/10/2015

## 6.8 Telas de Proteção – Chapa Expandida

As telas de proteção são produzidas através das chapas expandidas, conforme Figura 18 e seus dados técnicos podem ser verificados na Tabela 5 também abaixo. Como já dito anteriormente, essas chapas tem como objetivo garantir a integridade do Skid durante o transporte, operação e armazenamento.



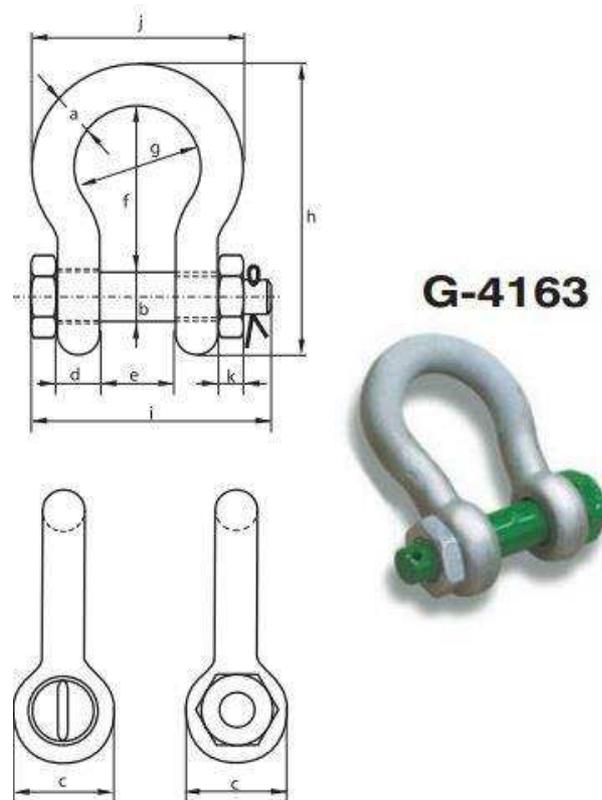
**Figura 21:** Tela de Proteção

**Tabela 24:** Tabela da Tela de Proteção**X = 34**

Tipo	Dimensões			Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Vão livre entre apoios (mm)																	
	Malha	Barra Portante			300	400	500	600	700	800	900	100	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
	Y	H	e																			
QGS234-253	50	25	3	21,72	14.169	7.994	5.131	3.574	2.633	1.960	1.380	1.009	760	587								
QGS334-253	100			20,02																		

## 6.9 Manilhas

As Manilhas são itens extremamente importantes para o projeto. A partir das cargas de projeto calculada nos apêndices A e B, a manilha é selecionada (seleção da manilha no apêndice C). Selecionando-se a manilha, é iniciado o dimensionamento do olhal. As informações a respeito da Manilha escolhida estão na Tabela 25.

**Figura 22:** Manilhas

**Fonte:** <http://www.gunneboindustries.com/pt-BR/Lifting/Produtos/Shackles/>, Acessado em 27/10/2015

**Tabela 25:** Tabela da Manilha

G-4161 e G-4163											
Carga Máxima de Trabalho	diâmetro do corpo	diâmetro do pino	diâmetro do olhal	largura do olhal	largura interna	altura interna	diâmetro da curva	comprimento	largura da curva	espessura da porca	peso unitário
tons	a	b	c	d	e	f	g	h	j	k	kg
3.25	16	19	40	16	27	64	43	114	79	17	0.74

**Fonte:** <http://www.gunneboindustries.com/pt-BR/Lifting/Produtos/Shackles/>, Acessado em 27/10/2015

## 6.10 Eslingas

A eslinga é um dos mais importante componentes quando se refere ao transporte. As eslingas devem ser capazes de suportar toda a carga gerada para o içamento do SKID, por isso, deve ser cuidadosamente estudada e calculada. Segue abaixo a Figura 20 na qual é possível visualizar melhor a eslinga escolhida para este projeto.

**Tabela 3 – Carga máxima de trabalho (CMT) para lingas de cabo de aço com alma de fibra Classes 6 × 19 ou 6 × 36, Categoria 1 770, com olhalis com presilha**

Alma de fibra (AF)	Uma perna		Duas pernas		Três e quatro pernas	
	0°	0° a 45°	Acima de 45° até 60°	0° a 45°	Acima de 45° até 60°	
Ângulo com a vertical						
Diâmetro nominal do cabo (mm)	Carga máxima de trabalho (CMT) t					
6 (6,35)	0,4	0,5	0,4	0,8	0,6	
8 (7,94)	0,7	0,9	0,7	1,4	1,0	
10 (9,5)	0,9	1,3	0,9	2,0	1,4	
11 (11,1)	1,3	1,8	1,3	2,7	1,9	
13 (12,7)	1,7	2,4	1,7	3,6	2,5	
14 (14,3)	2,1	2,9	2,1	4,3	3,1	
16 (15,9)	2,7	3,7	2,7	5,6	4,0	
19 (19,1)	3,8	5,3	3,8	8,0	5,7	

**Figura 23:** Eslingas

**Fonte:** <http://www.atlam.com.br/site/produtos#/96>, acessado em 26/10/2015

## 6.11 Anel de Carga

O Anel de Carga assim como as eslingas, são elementos primordiais para a execução dos cálculos da movimentação pela qual este skid será submetido. O Anel de carga é responsável pela ligação direta entre eslingas e o equipamento utilizado para içar o SKID, por isso, este deve ser bem dimensionado por questões de segurança



Código Code	Carga de trabalho Working load Ton / T	Medidas em mm. Measures in mm						Peso Weight Kg.
		A	B	C	D	E	F	
18QA	3,4	16	61	120	13	50	90	1,42
22QAS	6,8	22	70	140	20	70	140	3,56
23QA	4,5	22	140	270	16	61	120	3,43
28QAS	11,5	28	110	200	22	70	140	5,53
26QA	8,8	28	140	270	20	70	140	5,89

**Figura 24:** Anel de Carga

Fonte: <http://www.atlam.com.br/site/produtos#/34>, Acessado em 26/10/2015

## **Capítulo 7 – Premissas de Projeto**

Neste capítulo desenvolvem-se as premissas do projeto, analisando os dados de entrada, os carregamentos aplicados ao Skid e definindo-se os materiais do mesmo para se fazer as considerações de metodologia de cálculo, realizada no capítulo 8 deste projeto.

### **7.1 Dados de Entrada**

Os dados de entrada relevante para as análises que serão feitas são as seguintes:

- Carga de Içamento:
- Proteção Catódica:
- Profundidade de Trabalho
- Temperatura de Trabalho
- Requisito de Qualidade
- Inclinação máxima de tombamento
- Olhais

#### **7.1.1 – Carga de Içamento**

A carga de içamento é a carga total do Skid (Estrutura e jumpers), a partir das informações de peso dos componentes e do modelo final do Skid, o peso final do Skid é 1355 kgf.

#### **7.1.2 – Proteção Catódica**

Apesar de o Skid fazer o transporte até o solo marinho, este só permanecerá durante o processo de retirada dos jumpers e instalação. Desta forma, não é necessário a utilização de proteção catódica.

#### **7.1.3 – Profundidades de Trabalho**

A profundidade de trabalho desse Manifold é 300 metros, a mesma do Skid.

### **7.1.4 – Temperatura de Trabalho**

As temperaturas limite não foram consideradas nesse cálculo por não afetarem as folgas e interferências da montagem, já que a temperatura a ser considerada é a ambiente de 25°.

### **7.1.5 - Requisito de Qualidade**

O requisito de qualidade para este projeto é conforme a API RP-2A Grupo 1, Classe C

### **7.1.6 – Inclinação máxima: 30°**

Inclinação máxima de 30° como é requisitado pela norma de referência [3.2.2.1], o Skid deve ter estabilidade contra tombamento num ângulo máximo de 30°.

### **7.1.7 – Olhais**

Os olhais são extremamente importantes para o projeto do Skid, e como no içamento os carregamentos são aplicados diretamente a eles pela eslingas de içamento, eles devem ser calculados conforme a API 17D

## **7.2 Carregamentos**

Para as condições de transporte e içamento foram feitas as considerações propostas pela Referência [3.2.2.1], enquadrando-se o Skid para instalação de jumpers elétricos como um container marítimo aberto. A carga considerada foi o peso dos componentes a serem transportados pela estrutura, isto é, os 20 jumpers elétricos de 30 metros para conexão elétrica do Manifold ao UEH.

Para a condição de inclinação a 30° foram consideradas as componentes do peso paralelas e perpendiculares à base do Skid no cálculo estrutural do mesmo.

### 7.3 - Material

Os materiais utilizados para os componentes do Skid estão descritos na Tabela 6 abaixo. Para o olhal de içamento e amarração foi utilizado um aço recomendado pela referência [3.2.2.1]. Já o material de reforço do olhal foi escolhido de forma a ter uma resistência mecânica maior que a do olhal e ser comercialmente acessível. Na estrutura de içamento, foi utilizado um aço com alta resistência mecânica e boa soldabilidade. Para o tubo de suporte dos jumpers, foi escolhido um tipo de tubo de condução de fluidos, pois como sua única função é o suporte dos jumpers enrolados, não há a necessidade de ter alta resistência mecânica. Para os parafusos foi utilizado um aço com boa resistência mecânica e inoxidável. Para as chapas de ¼” foi selecionado o A36.

**Tabela 26:** Propriedades Mecânicas dos Materiais Utilizados para Cálculo

Componente	Especificação	E (GPa)	$\nu$	SMY S (MPa)	UTS (MPa)	Alongamento (%)
Olhal de Içamento	ASTM AH131	205	0,3	355	490	22
Olhal de Amarração	ASTM AH131	205	0,3	355	490	22
Vigas I - Estrutura	ASTM A36	205	0,3	355	490	22
Tubo Mecânico (“Bolsão” para Empilhadeira)	ASTM A36	205	0,3	250	550	23
Chapas ¼” (Reforços e Fundação)	ASTM A36	205	0,3	250	550	23
Tubo Redondo (Suporte Jumpers)	ASTM A-53	205	0,3	240	415	18
Parafusos (Flange do Parking)	AISI 316L	205	0,3	255	515	35

**Fonte:** Elaborada pelo autor

## 7.4 - Critérios de Aceitação

Os carregamentos considerados pela Referência [3.2.2.1] são dimensionados pelos critérios apresentados por ela.

**Tabela 27:** Fator de Utilização Admissível

<b>Critério</b>	<b>Fator de Utilização Máximo (%)</b>
Tensão de Von Mises (DNV)	85%*SMYS
Tensão de Von Mises – two point lift (DNV)	100%*SMYS
Tensão de Von Mises em Impacto (DNV)	100%*SMYS
Tensão no Olhal (API-17D)	100%*SMYS
Tensão de contato no Olhal (DNV)	85%*SMYS

**Fonte:** Elaborada pelo autor

## **8 - Metodologia de Cálculo**

A partir da concepção do Projeto no capítulo 4, modelando o que viria ser o Skid na versão final, a elaboração do modelo ocorreu paralelamente aos processos descritos nos Apêndices A, B, C pois só seria possível chegar a um modelo final, garantindo-se a integridade através desses cálculos apresentados nos apêndices. Apenas o conteúdo do Capítulo 8 – Análise de Elementos Finitos foi produzido após o modelo final do Skid. A avaliação da integridade de acordo com as condições a que o Skid estará submetida, caso fosse necessário, determinaria adequações ao modelo de elementos finitos, representativas das modificações no layout e nos componentes da estrutura

### **8.1 – Carregamentos**

Os carregamentos considerados como críticos para a estrutura são apresentados pelas normas aplicáveis e de referência, sendo, através destas cargas, calculadas as reações nos apoios para a análise. Há a ocorrência de efeitos dinâmicos no transporte do Skid, porém devido à dificuldade em dimensioná-los, as normas impõe fatores a serem multiplicados pelas cargas calculadas, assim como considerações de impacto aplicado à estrutura. Estas cargas estão demonstradas nos itens seguintes deste capítulo e mais detalhadamente nos apêndices deste projeto.

### **8.2 – Principais Carregamentos utilizados na Análise de Elementos Finitos**

Neste tópico, serão apresentados os principais carregamentos segundo as Normas Aplicáveis e de Referência utilizadas para as análises de elementos finitos, serão descritos com o objetivo de um melhor entendimento das análises realizadas posteriormente neste capítulo. Os principais carregamentos dos Apêndices A e B serão aqui descritos, porém se encontram mais detalhados nestes apêndices.

### 8.2.1 – Peso Próprio

Principal dado de entrada para as análises de içamento a serem realizadas. O peso total do Skid em sua versão final é de 1355 Kg (Peso da estrutura somado ao peso dos jumpers).

$$P_{total\_skid} = 13290 N$$

### 8.3 – Carregamentos conforme Norma de Referência “DNV 2.7-1”

Os cálculos a seguir estão de acordo com a norma de referência [3.2.2.1] e calculados no apêndice A da memória de cálculo.

#### 8.3.1 – Carga de içamento (4 pontos)

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2.7-1 requisita que a estrutura de içamento resista a uma carga de 2,5 vezes o peso total da estrutura no içamento pelos 4 olhais. Dessa forma a equação é a que segue:

$$F_{icamento\_4pontos} = 2,5 \times P_{total\_skid}$$

$$F_{icamento\_4pontos} = 33,3 N$$

#### 8.3.2 – Carga de içamento (2 pontos)

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2.7-1 requisita que a estrutura de içamento resista a uma carga de 1,5 vez o peso total da estrutura no içamento por dois olhais. Dessa forma a equação é a que segue:

$$F_{icamento\_2pontos} = 1,5 \times P_{total\_skid}$$

$$F_{icamento\_2pontos} = 20 kN$$

#### 8.3.3 – Carga de Levantamento pela Empilhadeira

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2.7-1 requisita que a estrutura resista a uma carga de 1,6 vez o peso total do Skid, na região onde as lanças de empilhadeira sustentariam o Skid.

$$F_{empilhadeira} = 1,6 \times P_{total\_skid}$$

$$F_{empilhadeira} = 24,48 \text{ kN}$$

### 8.3.4 – Carga de Impacto (Vertical, Horizontal)

A norma de referência [3.2.2.1] DNV 2.7-1 requisita que a estrutura resista a cargas de impacto aplicadas na estrutura externa do Skid. Como não há como prever cargas de impacto durante o transporte, esta norma solicita que 25% do Peso total da estrutura sejam aplicados nos pontos críticos, análise feita na análise de elementos finitos.

$$F_{impacto} = 25\% \times P_{total\_skid}$$

$$F_{impacto} = 3,33 \text{ kN}$$

### 8.4 – Carregamentos conforme Norma de Referência [3.2.2.3] “DNV RP-H103”.

A norma de referência [3.2.2.3] DNV RP-H103, auxilia no modelamento e análise de operações marinhas. Nesta norma, é referenciado um modelo de cálculo da Força devido às correntes marinhas e a equação é a que segue. O cálculo detalhado está no Apêndice A da memória de cálculo deste Projeto Final.

$$F_c = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{agua}} \times C_{Dsi} \times A_{\text{front}} \times v_{\text{fundo}}$$

$$F_c = 3 \text{ kN}$$

## 8.5 – Carregamentos conforme Norma de Referência [3.2.1.2] “API RP 2A - LRFD”.

A norma aplicável [3.2.1.2] foi utilizada para cálculo de fundações. Como já foi descrito anteriormente esta é uma análise importante para garantir que o Skid não afunde nem deslize.

### 8.5.1 – Capacidade de Suporte da Fundação do Skid

A Capacidade de Suporte da Fundação do Skid é calculada para ao comparar com o peso total do Skid, garantir que o Skid não afunde quando estiver sobre o solo marinho. O cálculo da Capacidade de Suporte da Fundação é feito como se segue:

$$Q_{\text{suporte}} = \left[ \left( c_{\text{suporte}} \times N_{c_{\text{suporte}}} \times K_{c_{\text{suporte}}} \right) + \left( q_{\text{suporte}} \times N_{q_{\text{suporte}}} \times K_{q_{\text{suporte}}} \right) + \left( \frac{1}{2} \gamma \times B_{\text{mudmat}} \times N_{\gamma_{\text{suporte}}} \times K_{\gamma_{\text{suporte}}} \right) \right] \times A_{ef}$$

$$Q_{\text{suporte}} = 25,2 \text{ kN}$$

Onde:

$Q_{\text{suporte}}$ : Capacidade de Suporte da Fundação do Skid

$c_{\text{suporte}}$ : Intercepto coesivo do solo para capacidade de suporte e deslizamento

$N_{c_{\text{suporte}}}$ : Constante adimensional

$K_{c_{\text{suporte}}}$ : Constante adimensional

$q_{\text{suporte}}$ : Constante adimensional, função da profundidade de enterramento e do peso específico do solo

$N_{q_{\text{suporte}}}$ : constante adimensional, função do ângulo de atrito do solo

$K_{q_{\text{suporte}}}$ : Constante adimensional

$\gamma$ : Peso específico do solo efetivo (submerso)

$B_{\text{mudmat}}$ : Dimensão da base no eixo 2

$N_{\gamma_{\text{suporte}}}$ : Constante adimensional

$K_{\gamma_{\text{suporte}}}$ : Constante adimensional

$A_{ef}$ : Área efetiva do Mudmat do Skid

As incógnitas da fórmula são provenientes de considerações da norma referida, dados geométricos da chapa de fundação, e dados do solo em questão. O cálculo de cada incógnita se encontra detalhado no apêndice B da memória de cálculo deste Projeto Final.

Para garantir que o Skid não afundará, a carga da capacidade de suporte da fundação deve ser duas vezes maior que o peso do Skid conforme requisita a norma aplicável [3.2.1.2]. Sendo assim:

$$CS_{suporte} = \frac{Q_{suporte}}{P_{total\_skid}}$$

$$CS_{suporte} = 2,05$$

### 8.5.2. Carga de Sucção na Retirada

Foi calculada a carga de sucção na retirada devido ao “agarramento” do Skid ao solo marinho. Como pelo cálculo da carga da capacidade de suporte impede o movimento na direção vertical, tanto num sentido como no outro, sendo assim a carga de sucção na retirada do Skid será igual à carga de suporte calculada no item acima, porém de sentido oposto. É calculada como segue:

$$P_{sucção} = Q_{suporte}$$

$$P_{sucção} = 25,2 \text{ kN}$$

### 8.5.3. Máxima Resistência ao Deslizamento

Analogamente como é a realizada a máxima resistência vertical, chamado de capacidade de suporte de fundação, também existe a consideração feita em relação a máxima resistência ao deslizamento. De acordo com a norma aplicável [3.2.1.2], as seguintes considerações podem ser feitas:

$$c_{deslizamento} = c_{suporte}$$

$$Q_{deslizamento} = Q_{suporte}$$

$$\Phi_{deslizamento} = \Phi_{suporte}$$

A máxima resistência ao deslizamento pode ser calculada como se segue:

$$H_{deslizamento} = c_{deslizamento} \times \kappa \times (L_{Mudmat} \times B_{mudmat}) + Q_{deslizamento} \times \tan(\Phi_{deslizamento})$$

$$H_{deslizamento} = 9,17 \text{ kN}$$

Onde:

$Q_{deslizamento} = Q_{suporte}$  : Capacidade de Suporte / Deslizamento da Fundação do Skid

$c_{deslizamento} = c_{suporte}$ : Intercepto coesivo do solo para capacidade de suporte e deslizamento

$B_{mudmat}$ : Dimensão da base no eixo 2

$\Phi_{deslizamento} = \Phi_{suporte}$ : Ângulo de atrito do solo para capacidade de suporte e deslizamento

As incógnitas da fórmula são provenientes de considerações da norma referida, dados geométricos da chapa de fundação, e dados do solo em questão. O cálculo de cada incógnita se encontra detalhado na memória de cálculo deste Projeto Final.

Sendo assim, analogamente à capacidade de suporte, a razão entre a máxima resistência ao deslizamento e a resultante das forças aplicadas deve ser calculado. Neste caso a razão deve ser 1,5 conforme a norma aplicável [3.2.1.2]

$$CS_{deslizamento} = \frac{H}{F_{hSkid}}$$

$$CS_{deslizamento} = 3,06$$

## 8.6 Resistência dos Componentes e Análise de Elementos Finitos

As cargas consideradas para os cálculos de resistência foram as que causariam as condições críticas de trabalho da estrutura. Em todas as análises o material foi considerado isotrópico.

Para as análises de içamento foram considerados os carregamentos solicitados na Referência [3.2.2.1], condição na qual foram considerados também os critérios de aceitação propostos pela mesma. Além destes carregamentos, foi também considerado o carregamento gerado pelo critério de estabilidade de inclinação a 30° do Skid de Transporte, condição na qual os critérios de aceitação estão também propostos na Referência [3.2.2.1].

Para o cálculo de resistência mecânica da estrutura do Skid, foi usado o software para cálculo em elementos finitos CAE/Abaqus 6.12. Esses cálculos estão apresentados a seguir, e as condições serão as seguintes:

- Içamento - 4 pontos
- Içamento - 2 pontos (Diagonal)
- Retirada do Solo Marinho
- Carga de Inclinação (Eixo X)
- Carga de Inclinação (Eixo Z)
- Transporte por Empilhadeira
- Carga de Impacto Frontal na Base da Estrutura
- Carga de Impacto Lateral na Base da Estrutura
- Carga de Impacto Frontal nos Postes de Içamento
- Carga de Impacto Frontal nas Travessas Superiores

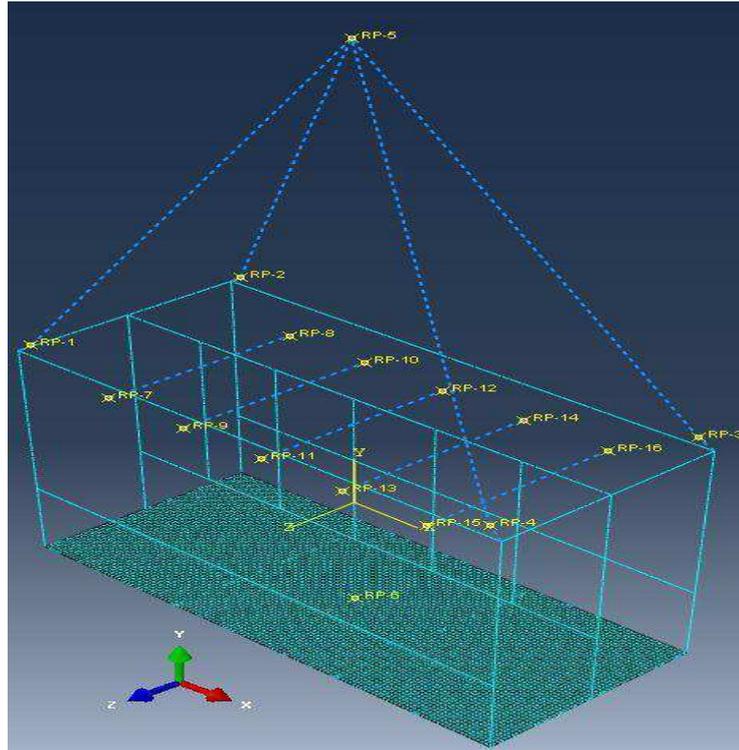
## **8.6.1 Içamento – 4 pontos**

### **8.6.1.1 Modelo**

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

O intuito desta análise é observar a distribuição de tensões ao longo da estrutura do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos na condição de içamento (condição não submerso) por todos os pontos, como proposto pela Referência [3.2.2.1], para transporte dos Jumpers Elétricos.

A Figura 1 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.

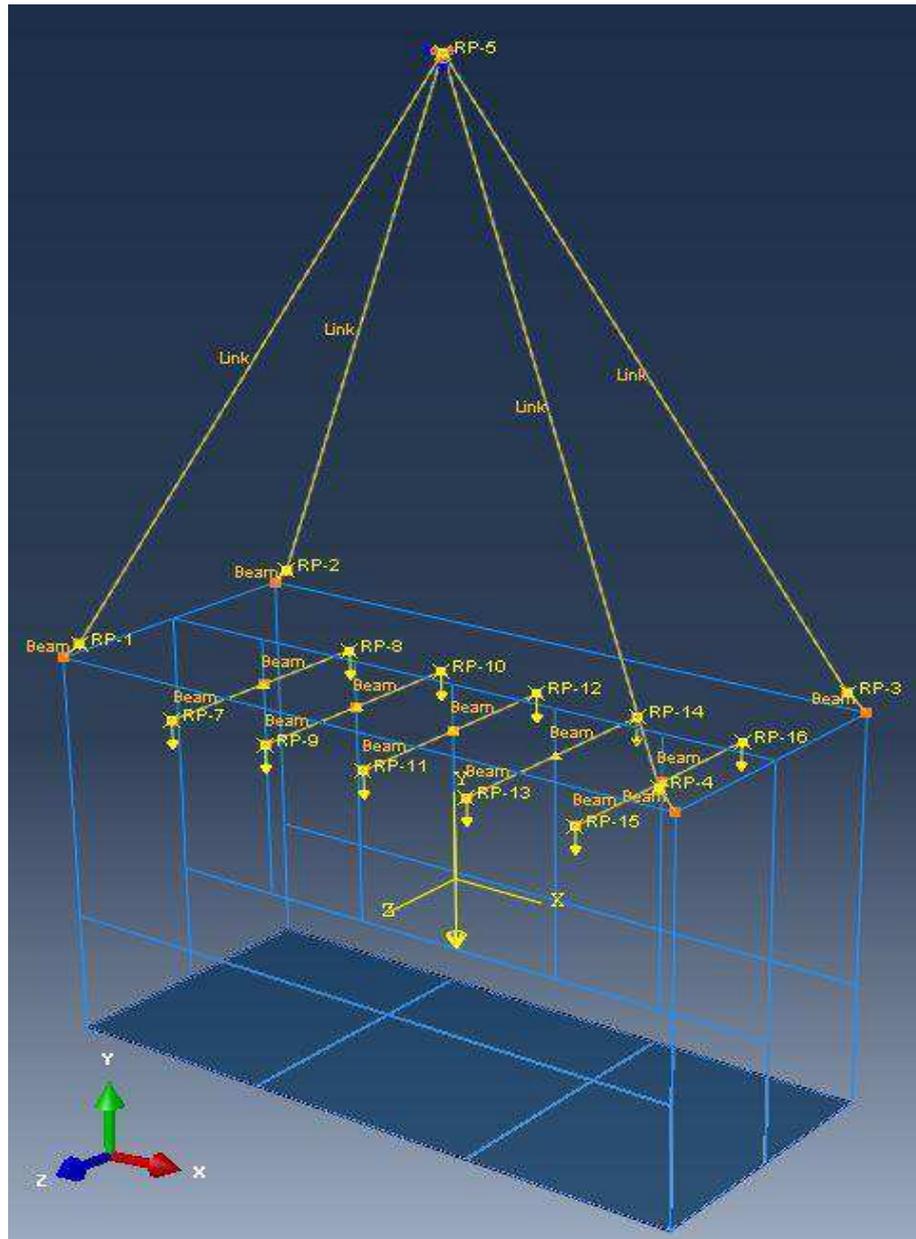


**Figura 25:** Malha gerada para a análise do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.1.2 Carregamento

A carga de 2,5 vezes o peso total de transporte, como proposto pela Referência [3.2.2.1], foi aplicada na forma de forças pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso próprio da estrutura, como demonstrado na Figura 2, pelas setas em amarelo.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja (RP-5).

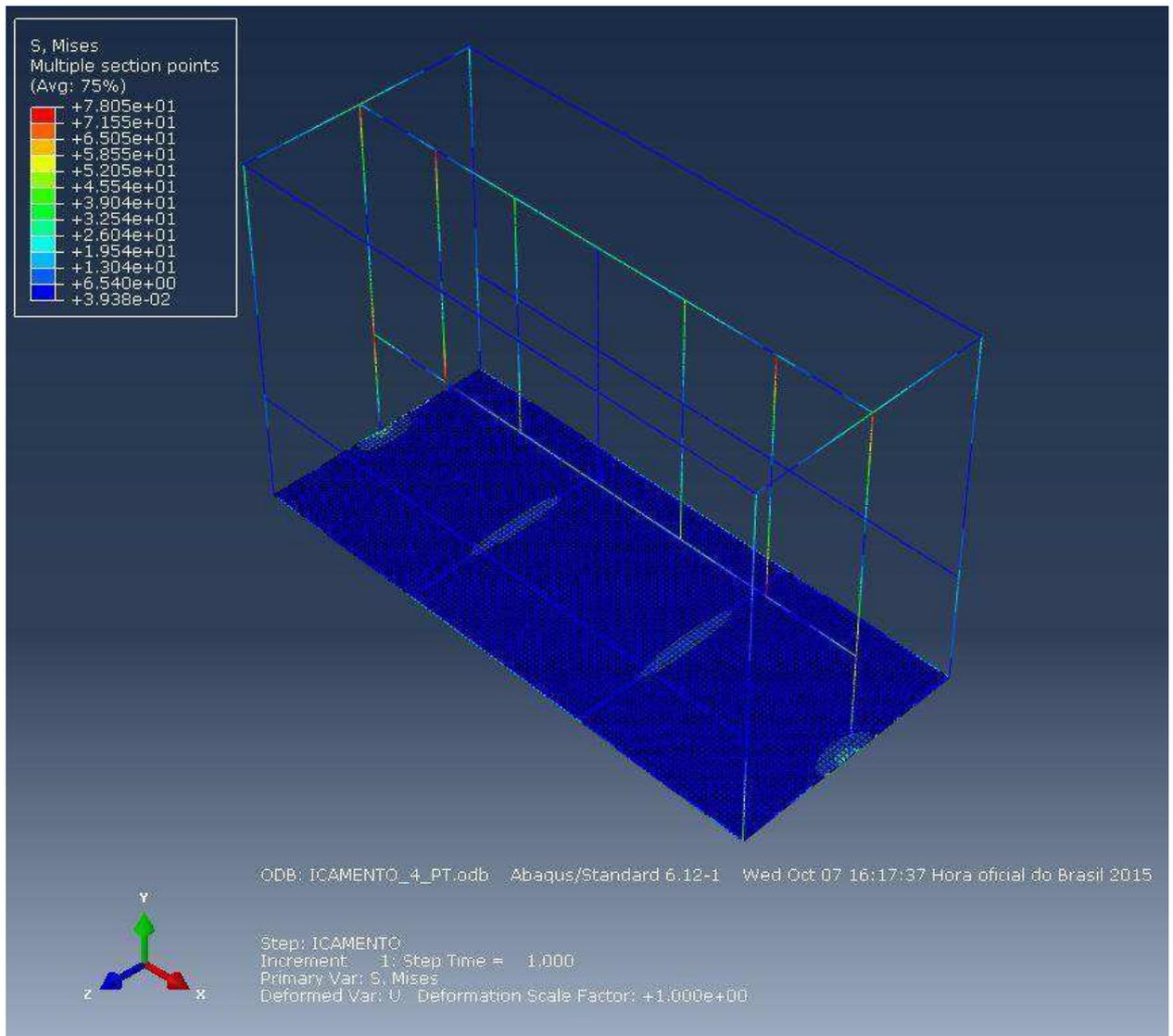


**Figura 26:** Carga de içamento por todos os pontos.

### 8.6.1.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 78,05 MPa estando abaixo do admissível de 85% do escoamento conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 212,5 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 3 representa graficamente a distribuição de tensões pela estrutura do Skid para Instalação.



**Figura 27:** Distribuição de tensões no Skid no içamento por todos os pontos.

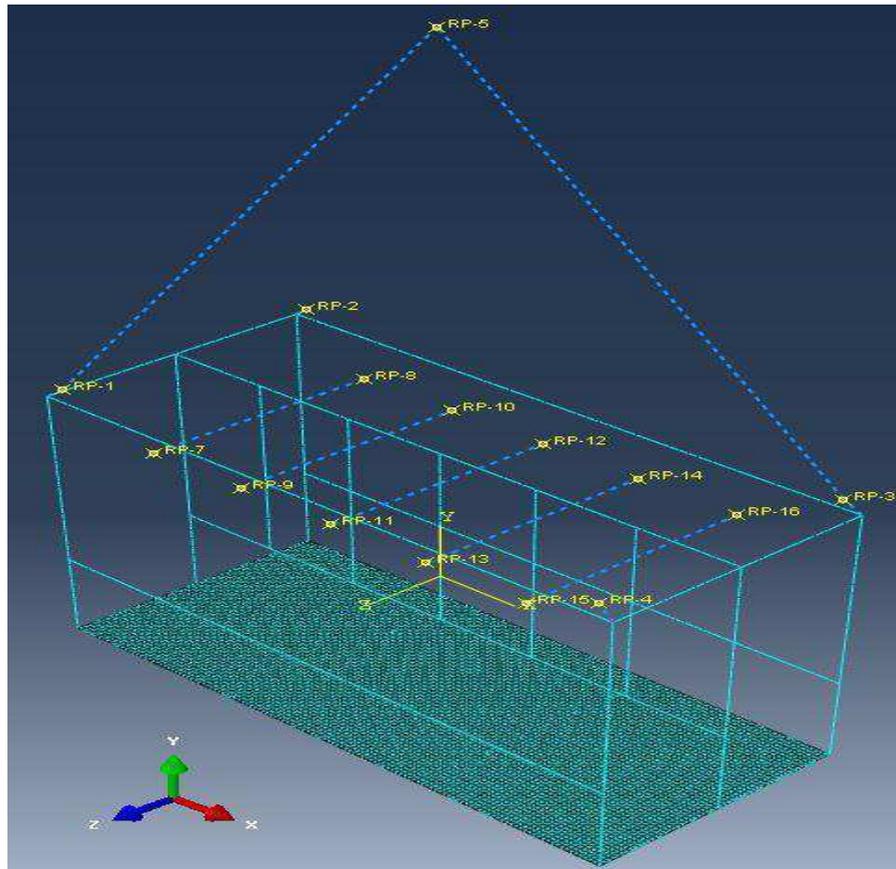
## 8.6.2 İçamento – 2 pontos (Diagonal)

### 8.6.2.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

O intuito desta análise é observar a distribuição de tensões ao longo do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos na condição de Içamento por apenas 2 pontos (condição não submerso), como proposto pela Referência [3.2.2.1], para transporte dos Jumpers Elétricos.

A Figura 4 A ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.

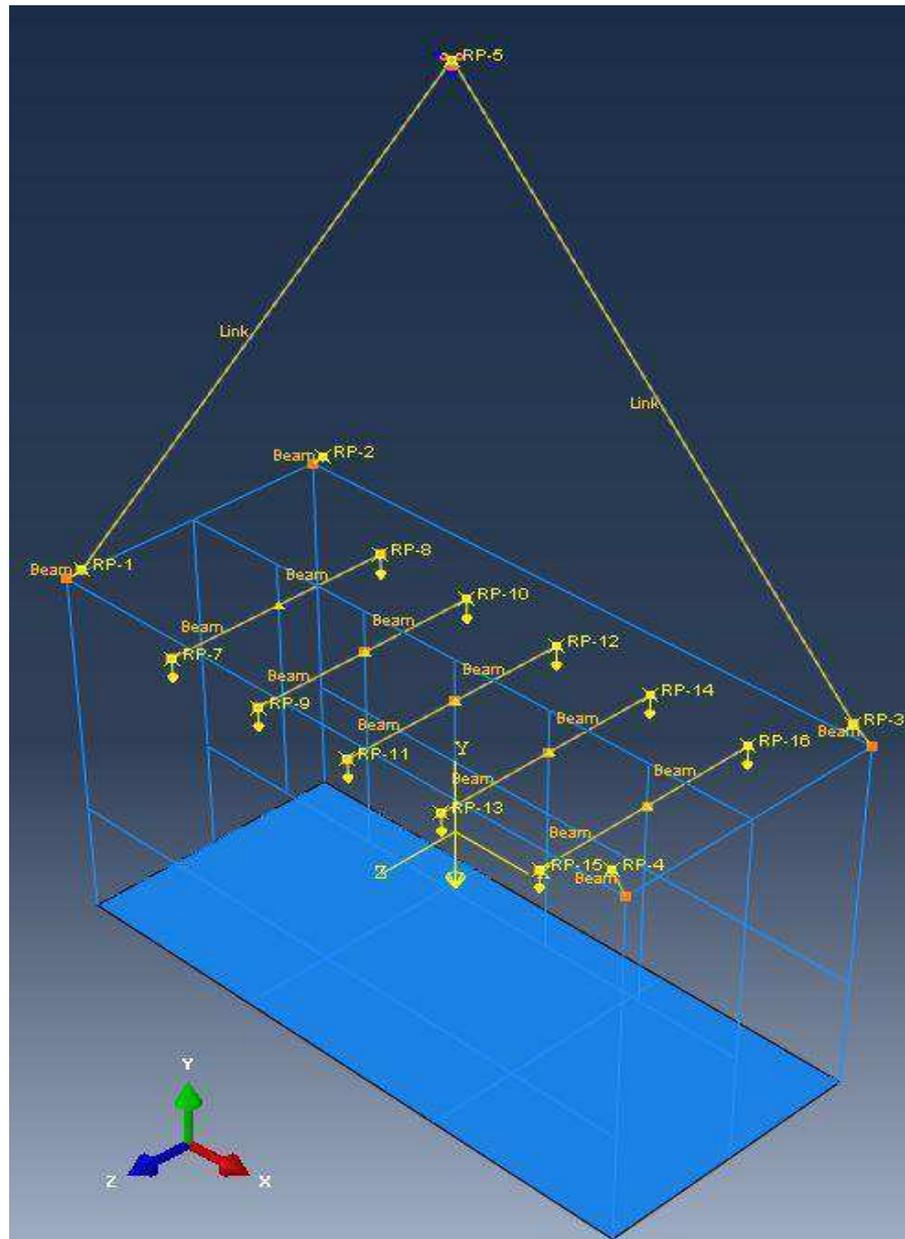


**Figura 28:** Malha gerada para a análise do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.2.2 Carregamento

A carga de 1,5 vezes o peso total de transporte, como proposto pela Referência [3.2.2.1], Esse carregamento foi modelado através de forças discretas pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso próprio da estrutura, como demonstrado na Figura 5 pelas setas em amarelo.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja (RP-5).

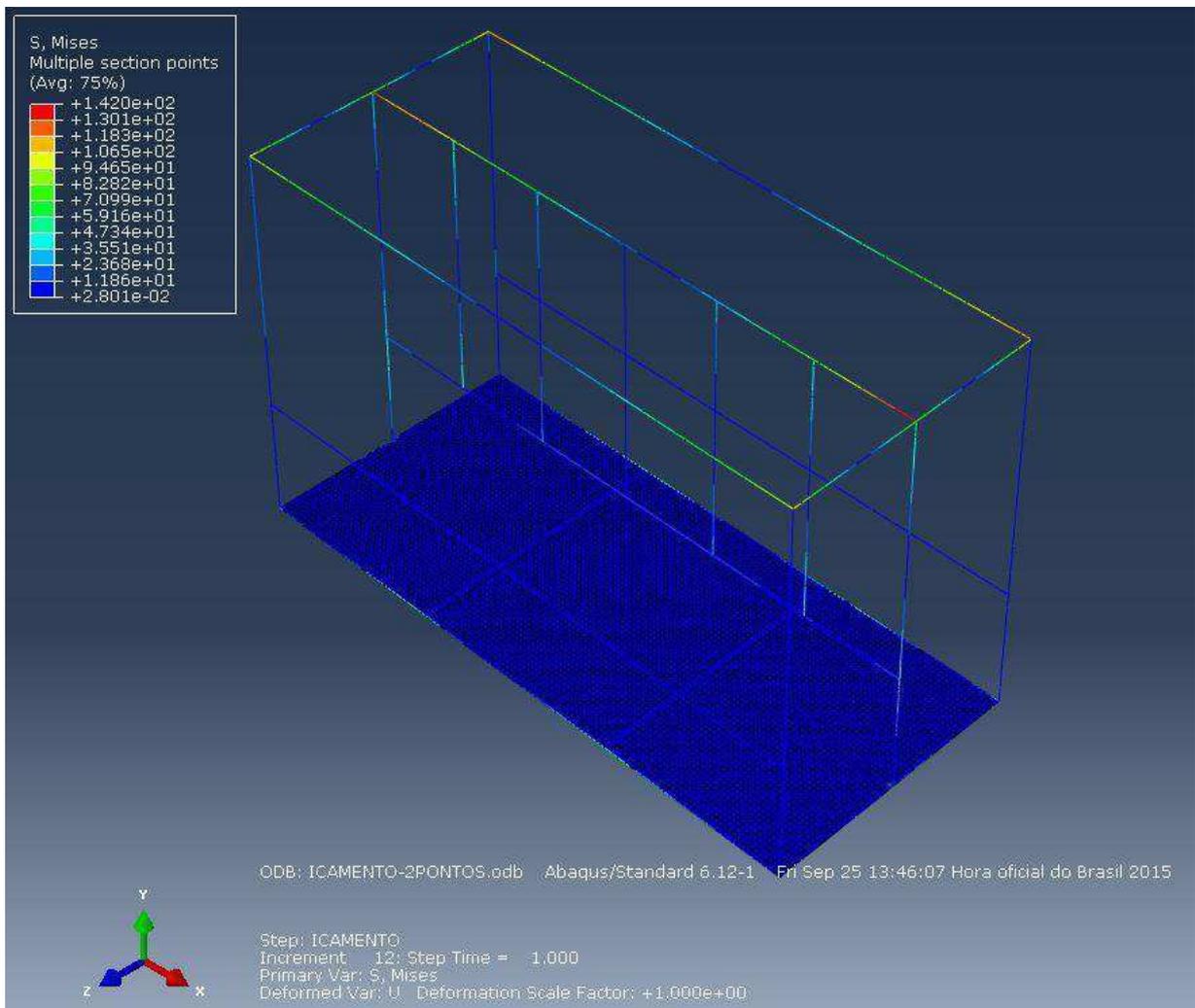


**Figura 29:** Carga de içamento por dois pontos.

### 8.6.2.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 142 MPa estando abaixo do admissível de 100% do escoamento conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 250 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 6 representa graficamente a distribuição de tensões pela estrutura do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.



**Figura 30:** Distribuição de tensões no Skid para Instalação de Jumpers Elétricos no içamento por dois pontos.

## 8.6.3 Retirada do Solo Marinho

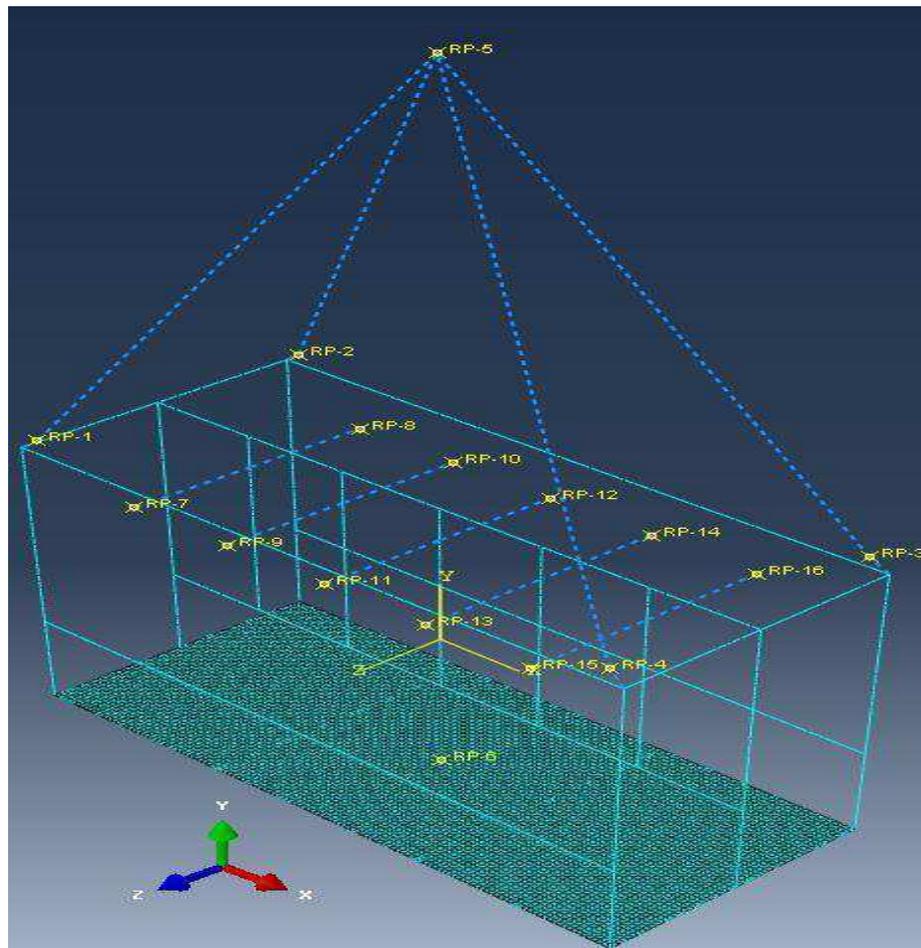
### 8.6.3.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o

material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

O intuito desta análise é observar a distribuição de tensões ao longo da estrutura do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos na condição da retirada do solo marinho, como proposto pela Referência [3.2.1.2], para transporte dos Jumpers Elétricos.

A Figura 7 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.



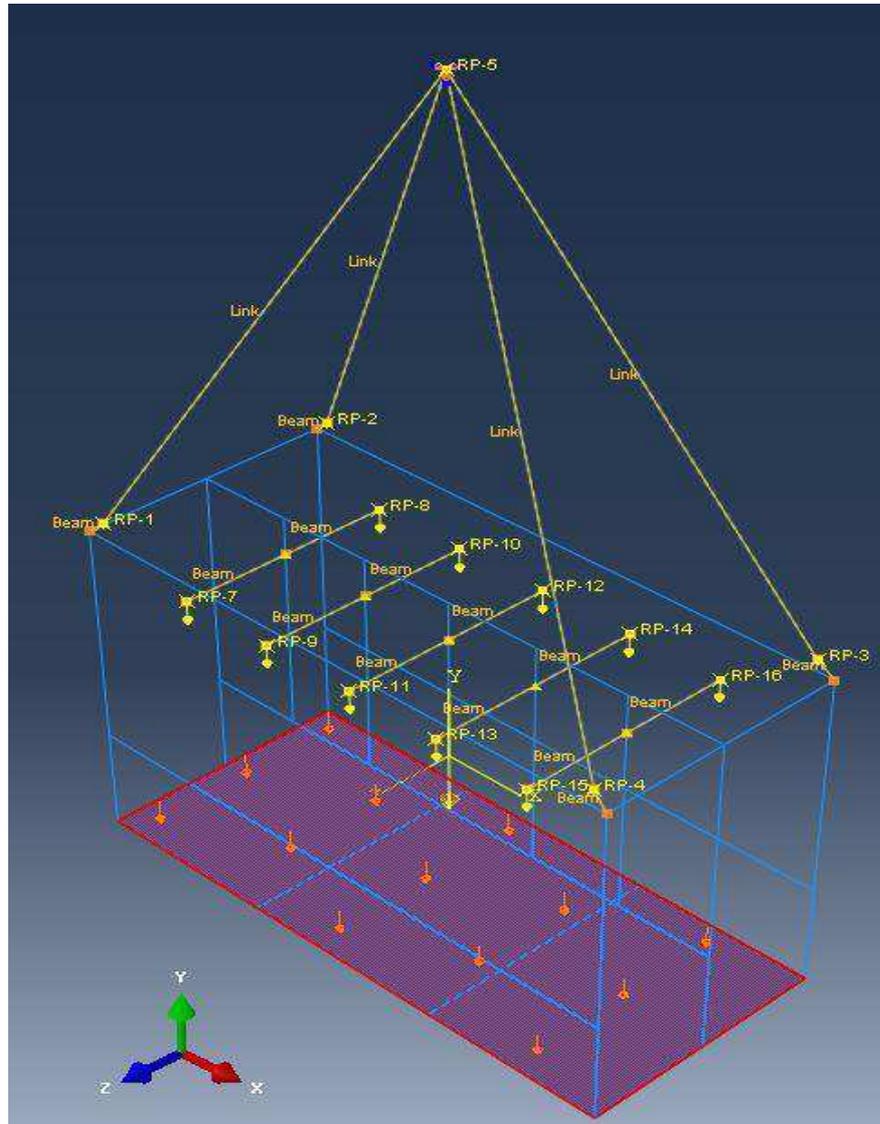
**Figura 31:** Malha gerada para a análise do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.3.2 Carregamento

Os carregamentos considerados foram: Carga de Sucção conforme cálculo no Anexo B aplicado à chapa de fundação na forma de pressão distribuída (Setas Laranja) e forças pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso

próprio da estrutura, considerando empuxo visto que é um içamento na condição submerso. O peso é demonstrado na Figura 8 pelas setas em amarelo.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja (RP-5).

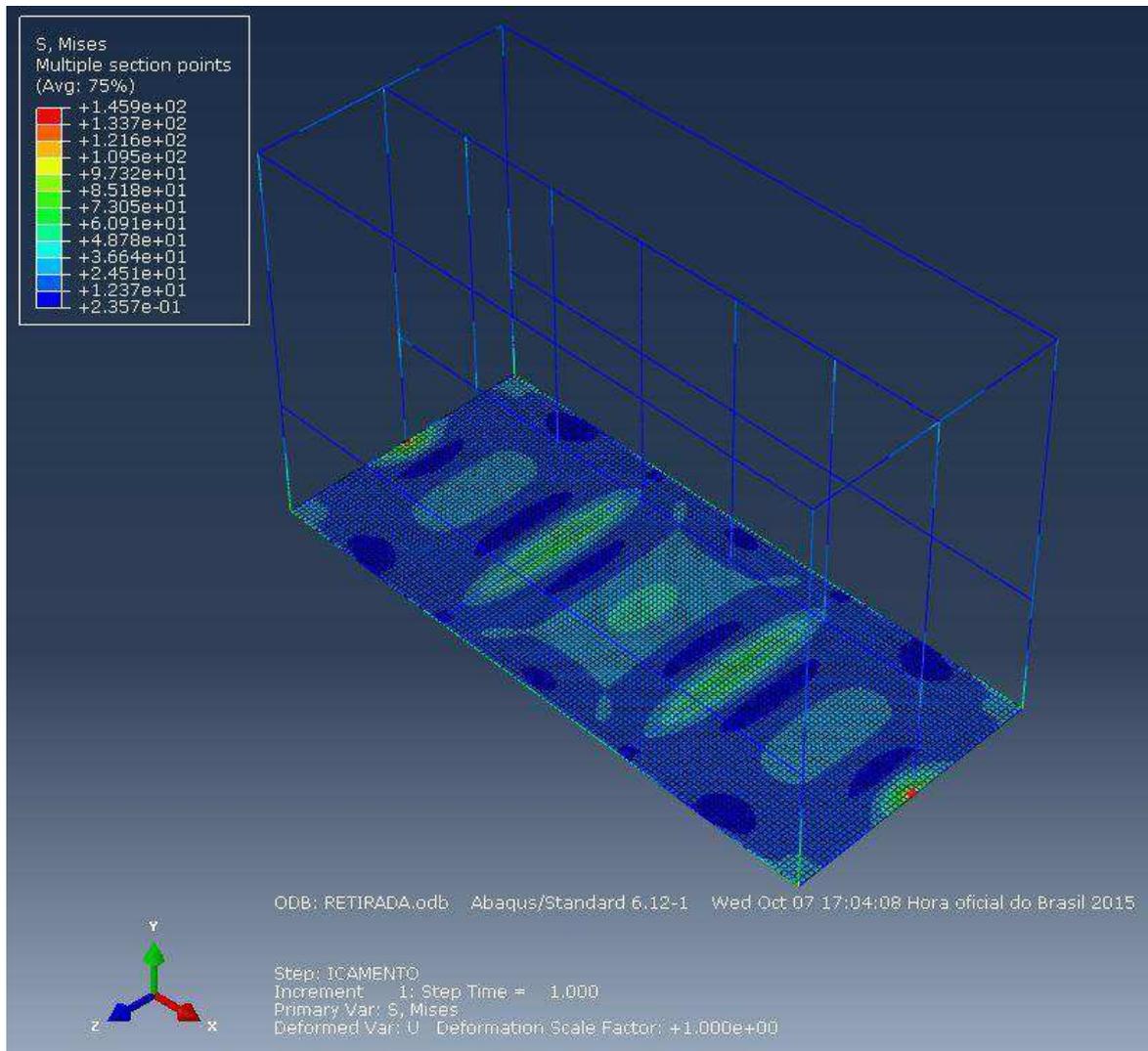


**Figura 32:** Carga de içamento por todos os pontos.

### 8.6.3.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 145,9 MPa estando abaixo do admissível de 85% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 212,5 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 9 representa graficamente a distribuição de tensões pela estrutura do Skid para Instalação.



**Figura 33:** Distribuição de tensões no Skid na Retirada do Solo Marinho.

## 8.6.4 Carga de Inclinação (Eixo X)

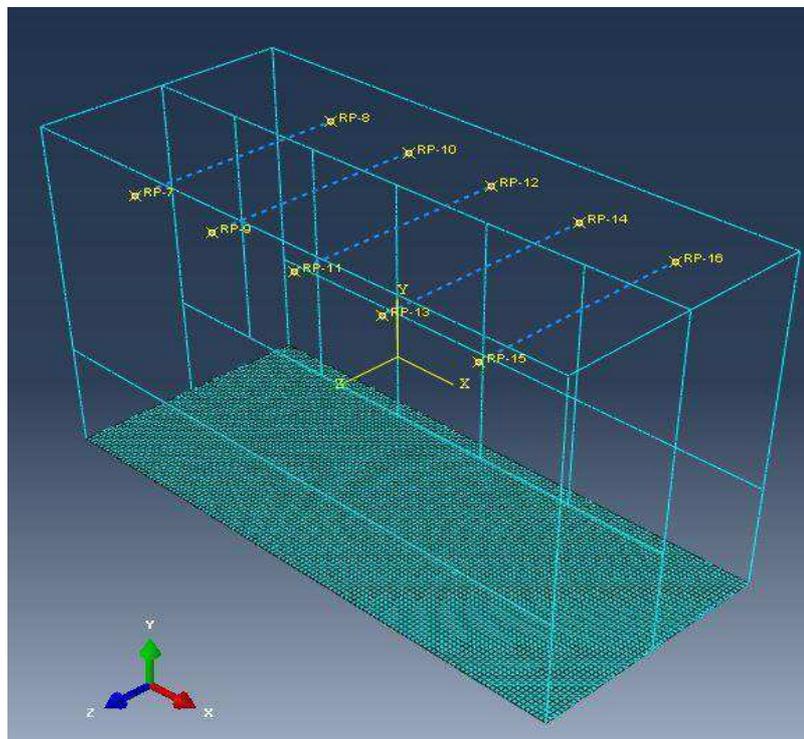
### 8.6.4.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o

material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foram considerados nesta análise os carregamentos gerados pela inclinação do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos a  $30^\circ$  em relação ao eixo X. A Referência [3.2.2.1] propõe tal inclinação apenas como critério de estabilidade, contudo, é necessário atestar a integridade da estrutura nesta condição.

A Figura 10 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.



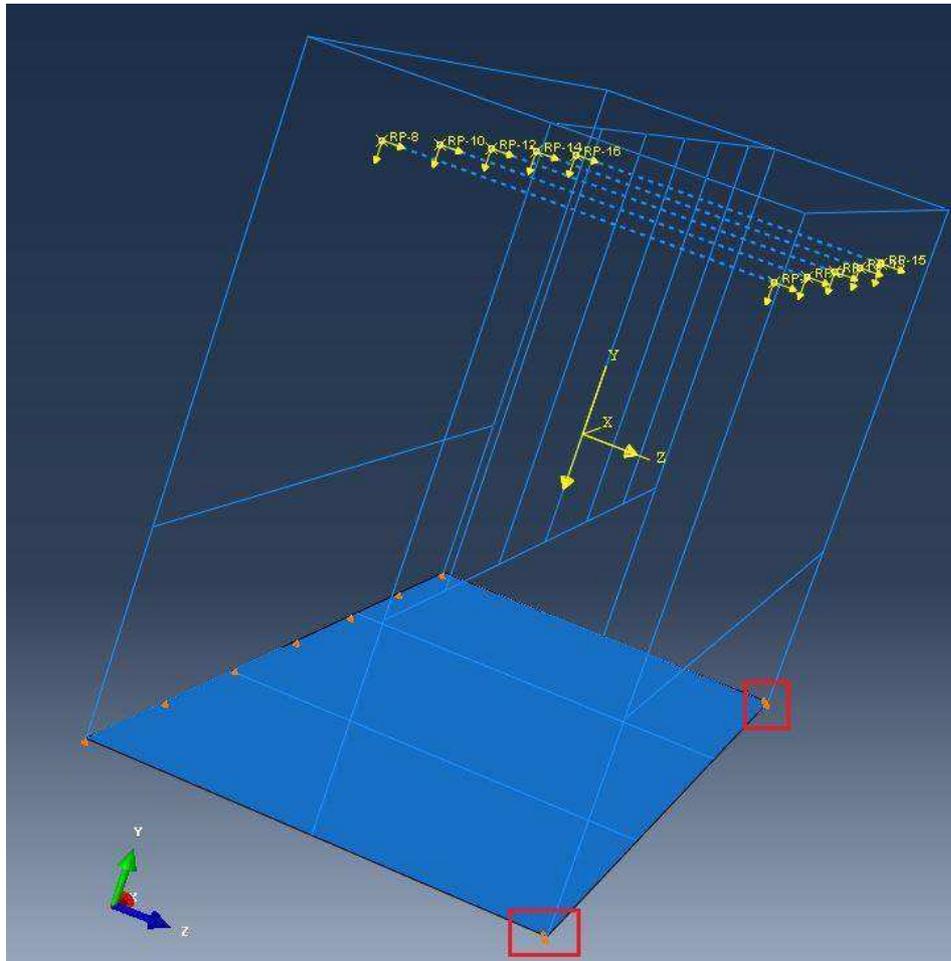
**Figura 34:** Malha gerada para a análise de resistência do Skid para Jumpers Elétricos à inclinação de  $30^\circ$ .

#### 8.6.4.2 Carregamento

As componentes do peso dos jumpers foram considerado como pontuais, representado pelas setas em amarelo na Figura 11. Esse carregamento foi modelado através de forças discretas pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso próprio da estrutura. Devido à inclinação, as componentes do peso foram decompostas nos eixos Y e Z. Foram consideradas as componentes nos três eixos das reações.

As reações foram definidas como a restrição ao movimento em Y e Z de uma linha de contato com o solo e a restrição do deslocamento em Y dos olha

is de amarração, marcados em vermelho, na Figura 11 abaixo. A estrutura na Figura 11 se encontra angulada para ilustrar a inclinação da condição.

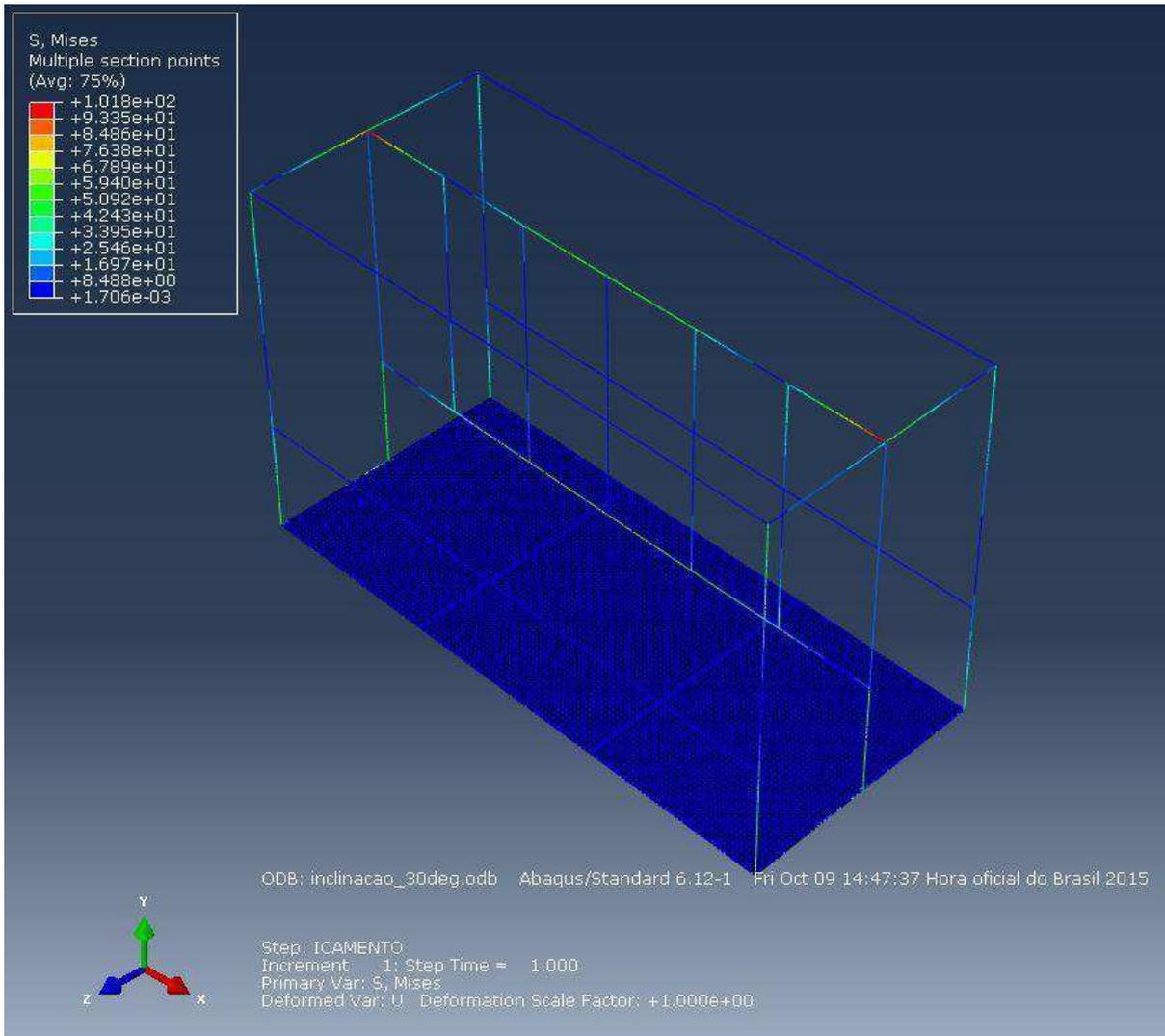


**Figura 35:** Condições de Contorno e aplicação de cargas.

### 8.6.4.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico é de 101,8 MPa, estando abaixo do admissível de 85% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 212,5 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 12 representa graficamente a distribuição de tensões pelo Skid para Instalação de Jumpers.



**Figura 36:** Distribuição de tensões no Skid na inclinação a 30° (Eixo X).

## 8.6.5 Carga de Inclinação (Eixo Z)

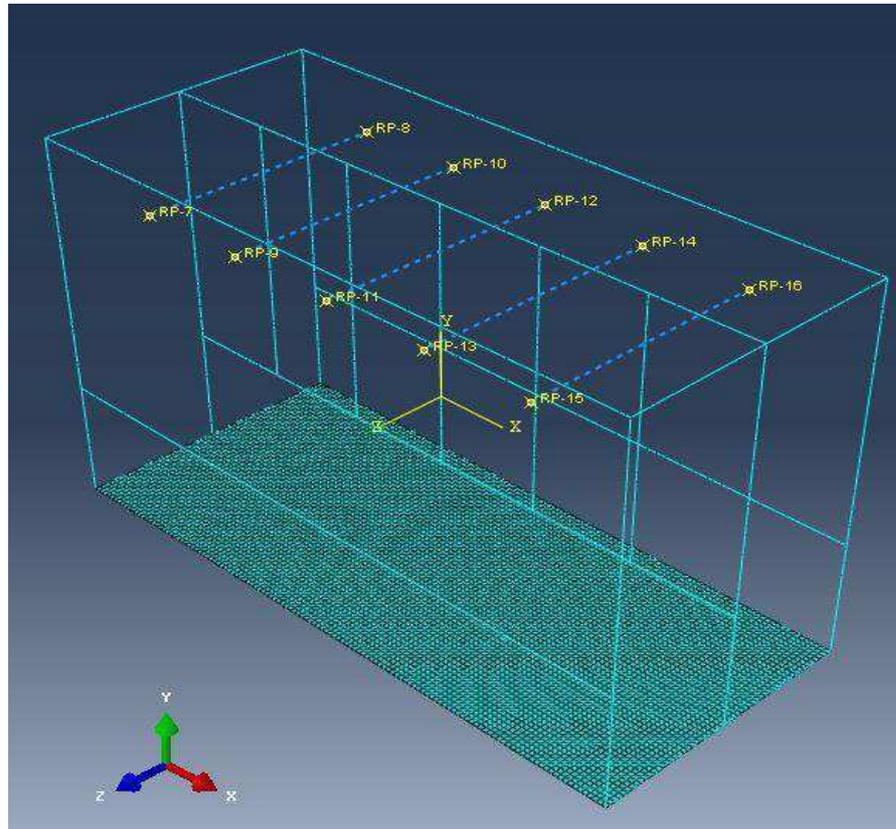
### 8.6.5.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foram considerados nesta análise os carregamentos gerados pela inclinação do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos a 30° em relação ao eixo Z. A Referência [3.2.2.1]

propõe tal inclinação apenas como critério de estabilidade, contudo, é necessário atestar a integridade da estrutura nesta condição.

A Figura ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.



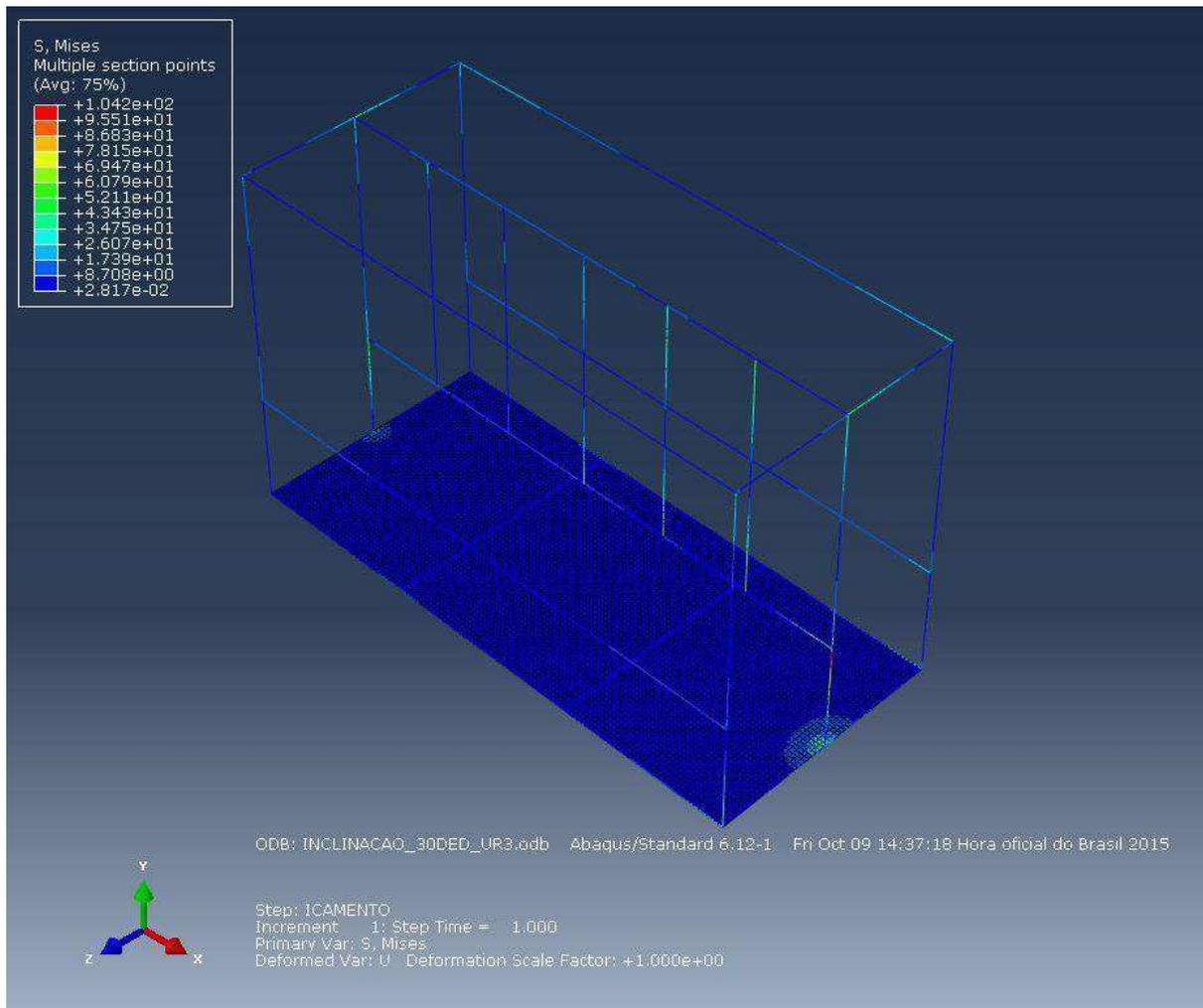
**Figura 37:** Malha gerada para a análise de resistência do Skid para Jumpers Elétricos à inclinação de 30°

### 8.6.5.2 Carregamento

As componentes do peso dos jumpers foram considerado como pontuais, representados pelas setas em amarelo na Figura 14 . Esse carregamento foi modelado através de forças discretas pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso próprio da estrutura. Devido à inclinação, as componentes do peso foram decompostas nos eixos X e Y. Foram consideradas as componentes nos três eixos das reações.

As reações foram definidas como a restrição ao movimento em Y e Z de uma linha de contato com o solo e a restrição do deslocamento em Y dos olhais de amarração, marcados em





**Figura 39:** Distribuição de tensões no Skid na inclinação a 30° (Eixo Z).

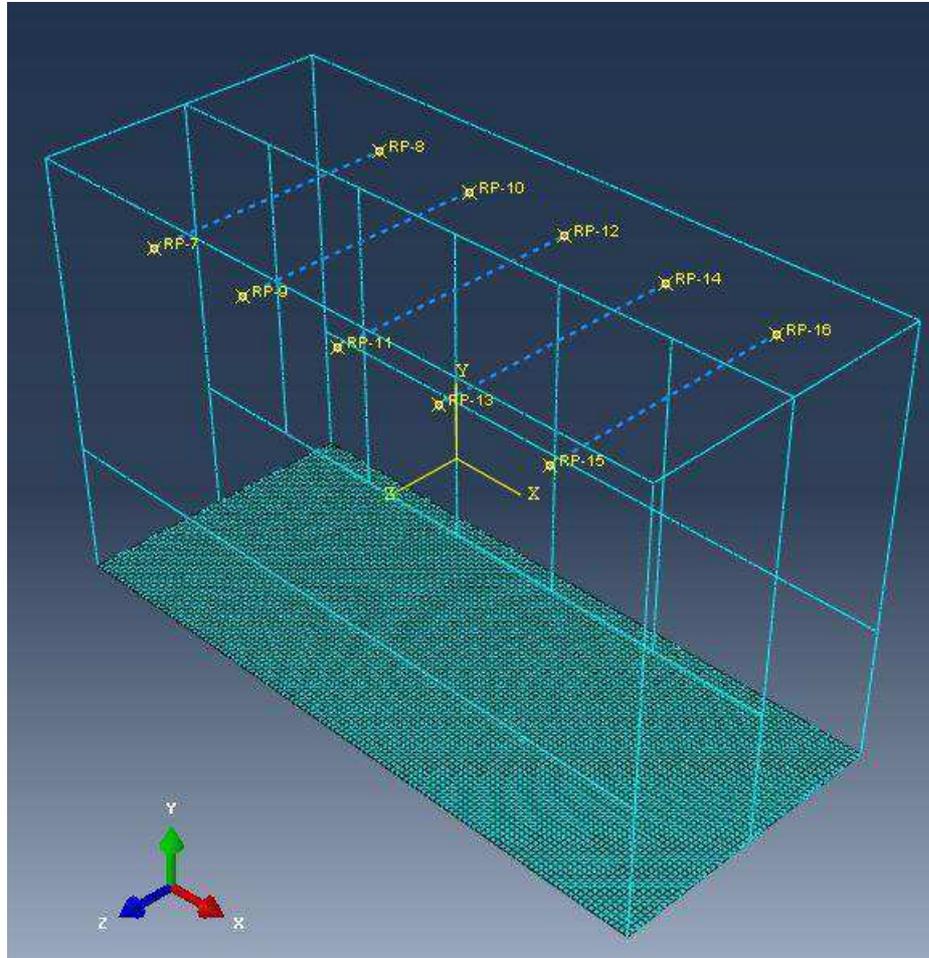
## 8.6.6 Transporte por Empilhadeira

### 8.6.6.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Nesta análise observa-se a distribuição de tensões gerada no Skid para Instalação de Jumpers Elétricos na condição de transporte por empilhadeira.

A Figura 16 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.

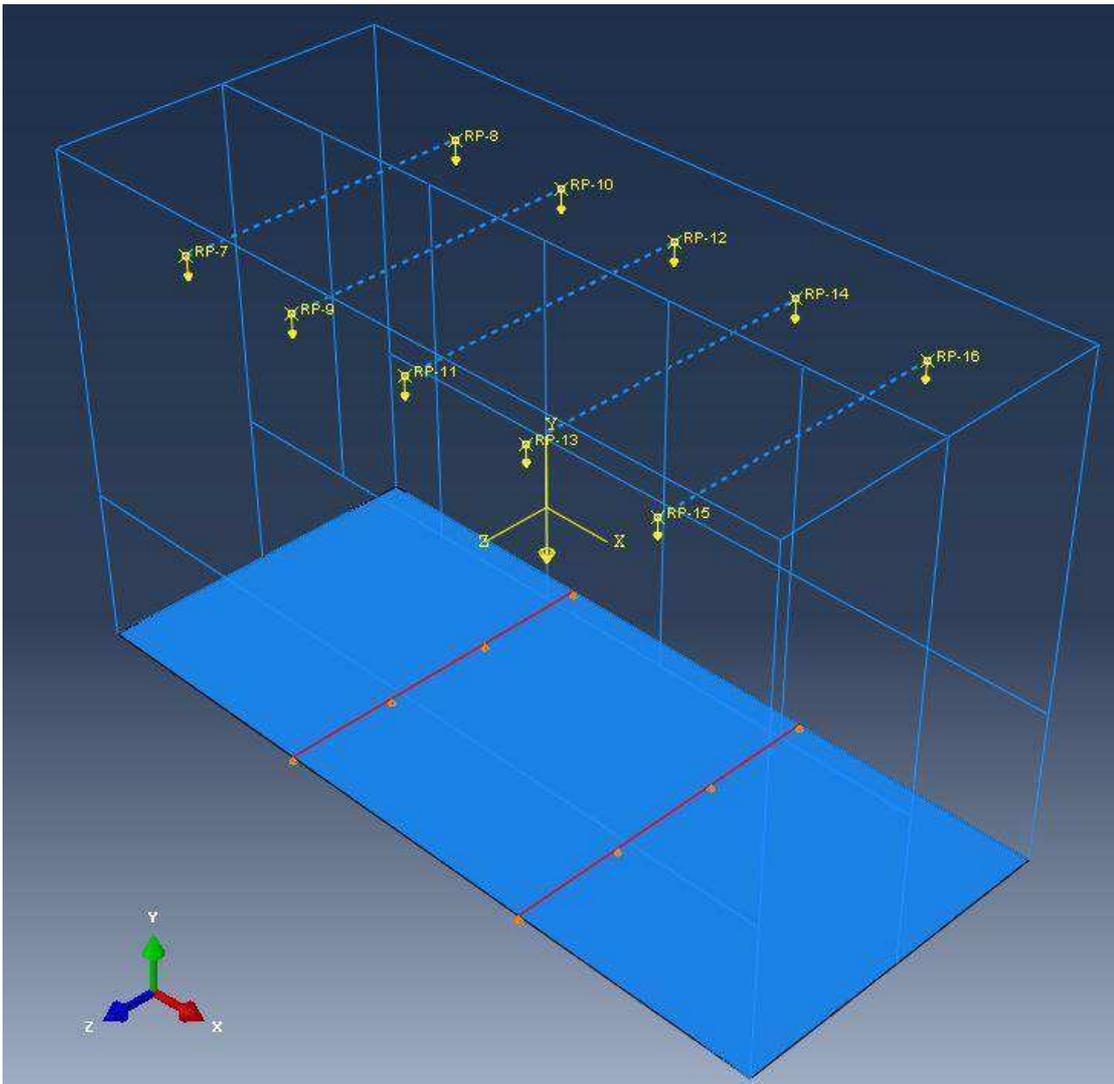


**Figura 40:** Malha gerada para a análise de transporte por empilhadeira.

### 8.6.6.2 Carregamento

Foi considerado nesta análise o carregamento de 1,6 vezes a carga da estrutura carregada somada ao peso do conjunto de içamento, como proposto pela Referência [3.2.2.1]. Esse carregamento foi modelado através de forças discretas pontuais nas extremidades dos tubos onde estão os jumpers enrolados assim como o peso próprio da estrutura, como ilustrado na Figura 17 pelas setas em amarelo.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical da região de contato dos bolsões da estrutura com as lanças da empilhadeira, observado como a região delimitada em vermelho com triângulos laranja.

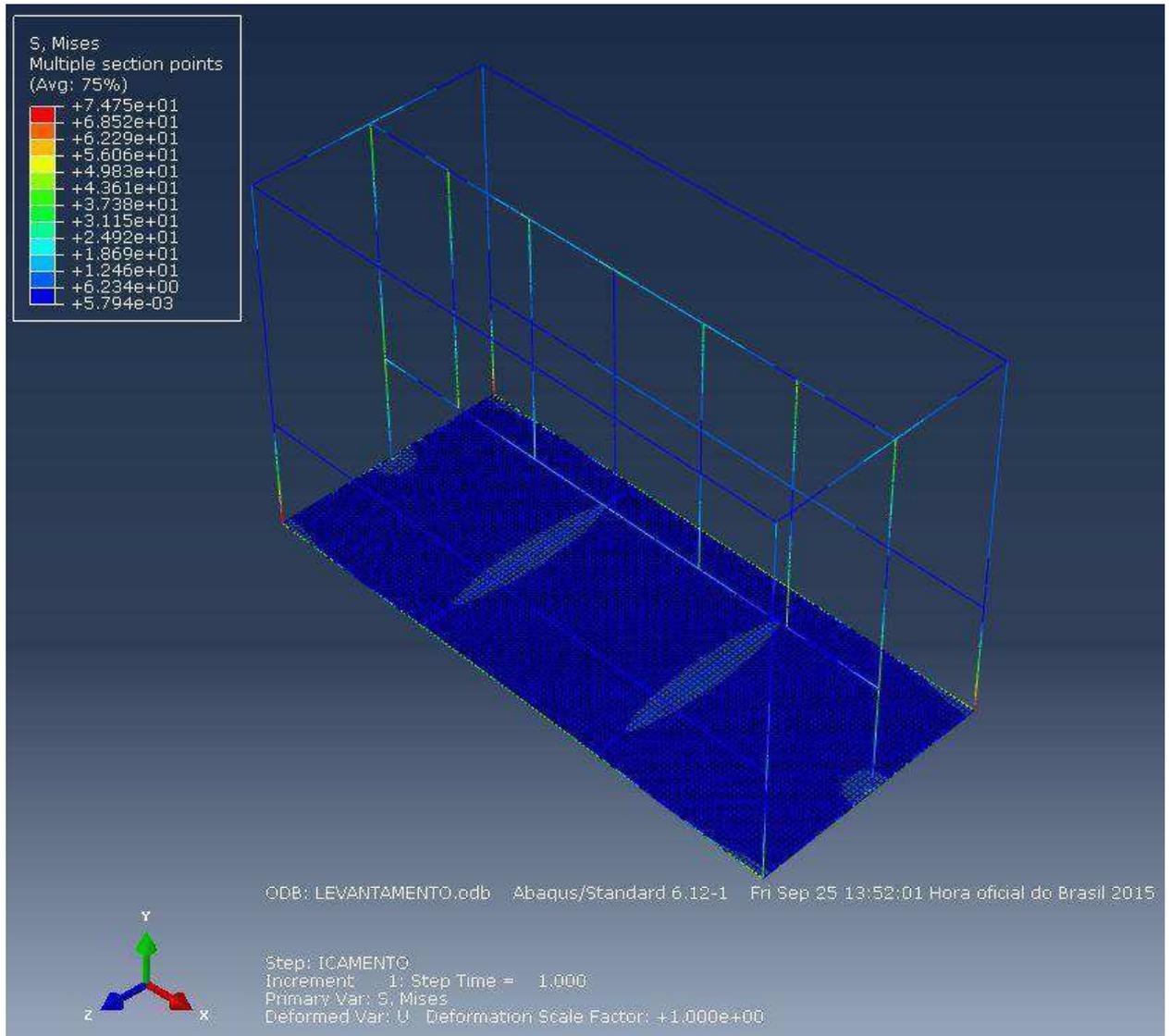


**Figura 41:** Condições de Contorno e cargas de transporte por empilhadeira.

### 8.6.6.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 74,7 MPa estando abaixo do admissível de 85% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 212,5 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 18 representa graficamente a distribuição de tensões pelo Skid para Instalação de Jumpers.



**Figura 42:** Distribuição das tensões no Skid no transporte por empilhadeira.

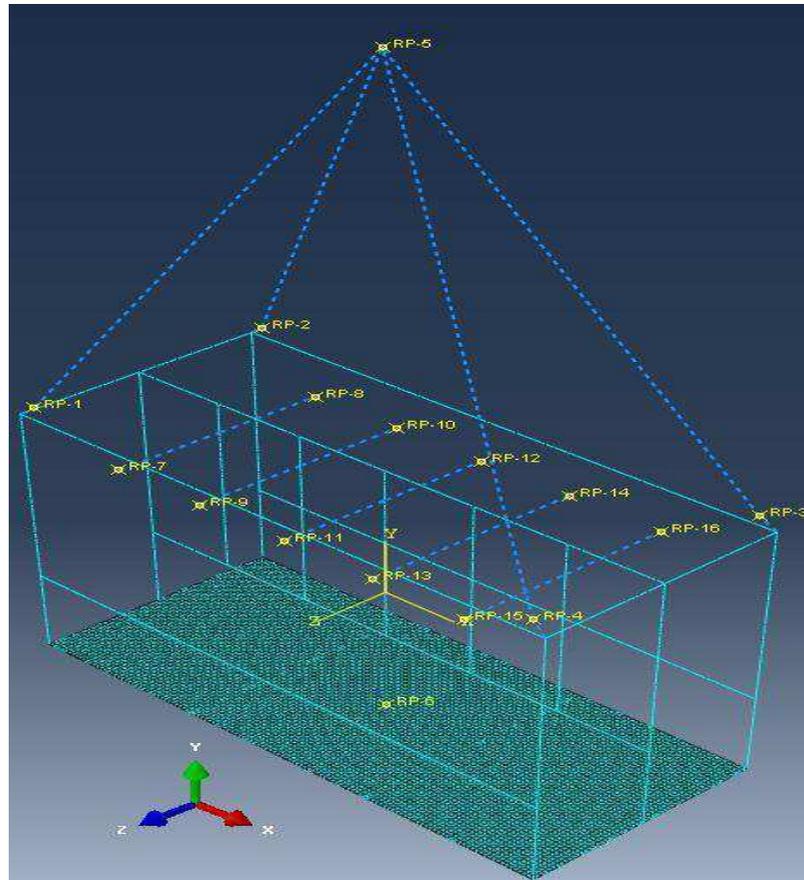
## 8.6.7 Carga de Impacto Frontal na Base da Estrutura

### 8.6.7.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas suas junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foi analisada a condição de impacto frontal na base do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos, como proposto pela Referência [3.2.2.1].

A Figura 19 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.



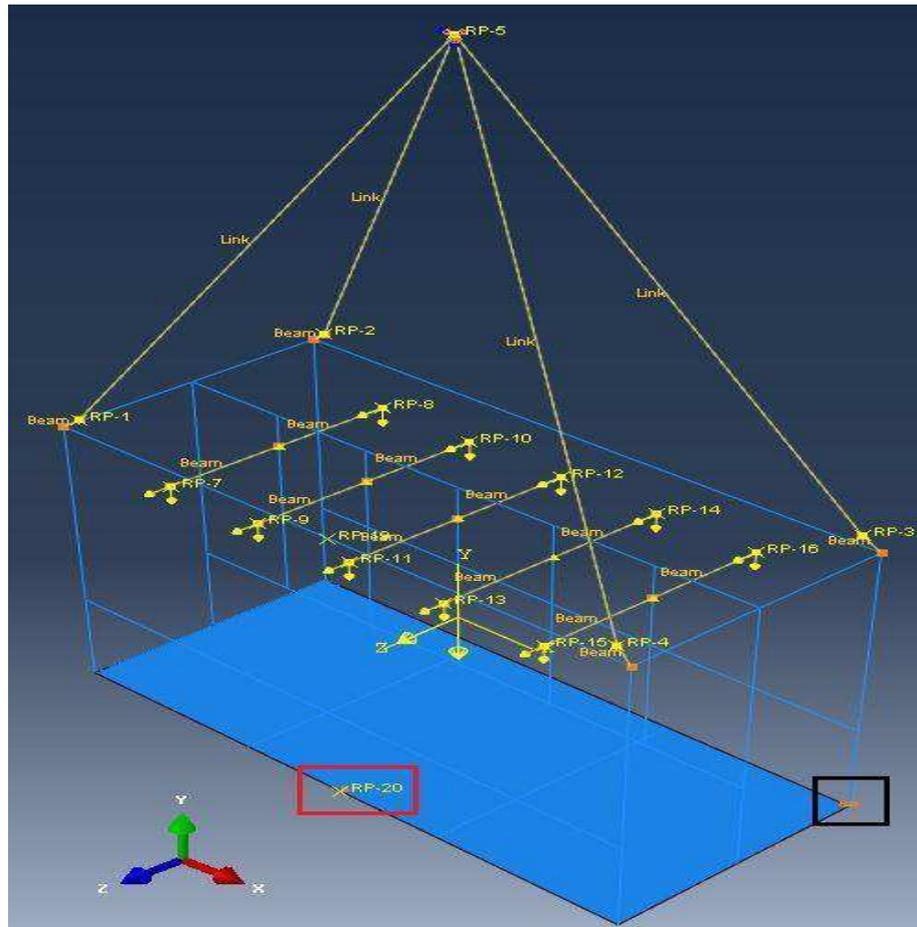
**Figura 43:** Malha gerada para a análise do impacto frontal no Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.7.2 Carregamento

A carga de 25% da carga máxima do conjunto estrutura e equipamento foi considerada como o equivalente estático do impacto. Para o Impacto Frontal na base, a parcela de 25% do impacto foi considerada nos pontos onde já previam aplicação de carga devido ao peso próprio da estrutura e dos Jumpers, porém considerando essa parcela do impacto na direção do impacto (eixo Z). As setas em amarelo da Figura 20 representam os carregamentos explicados.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical (eixo Y) do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja

(RP-5). A reação que considera o impacto foi modelada como restrição do movimento em Z no ponto crítico considerado, este ponto está marcado em vermelho na Figura 20 abaixo. O ponto marcado em preto restringe o movimento nos eixos X e Z. É o ponto considerado de equilíbrio para que a estrutura se mantenha em equilíbrio estático e a análise possa ser feita de maneira apropriada.

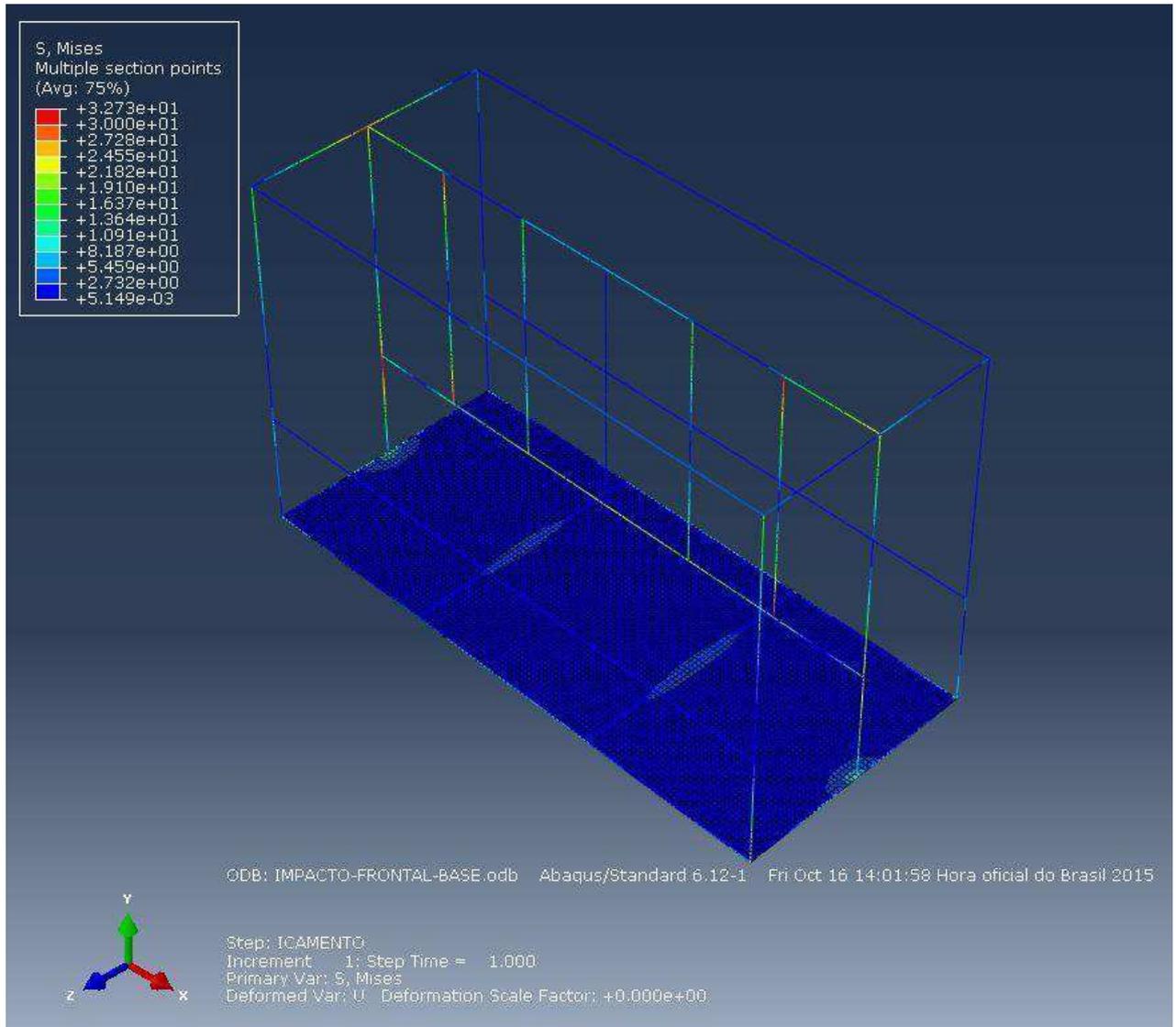


**Figura 44:** Condições de contorno de impacto frontal do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.7.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 32,3 MPa estando abaixo do admissível de 100% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 250 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 21 representa graficamente a distribuição de tensões pelo Skid.



**Figura 45:** Distribuição das tensões na estrutura no impacto frontal.

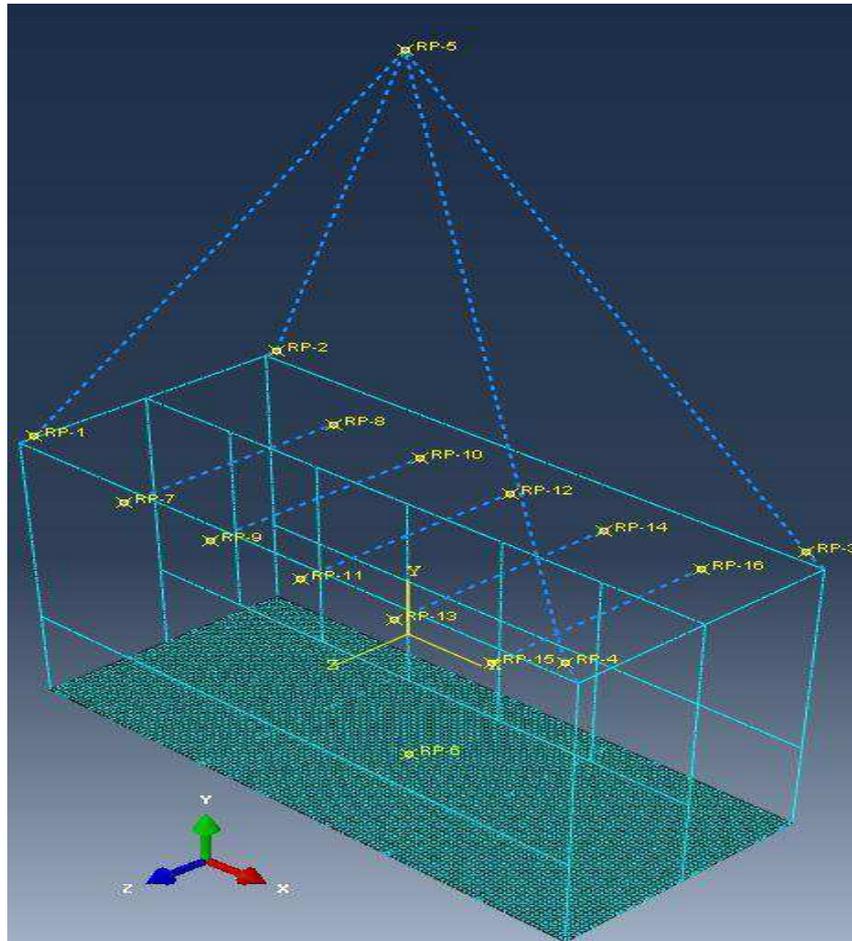
## 8.6.8 Carga de Impacto Lateral na Base da Estrutura

### 8.6.8.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas as junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foi analisada a condição de impacto lateral na estrutura principal inferior do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos, como proposto pela Referência [3.2.2.1].

A Figura 22 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.

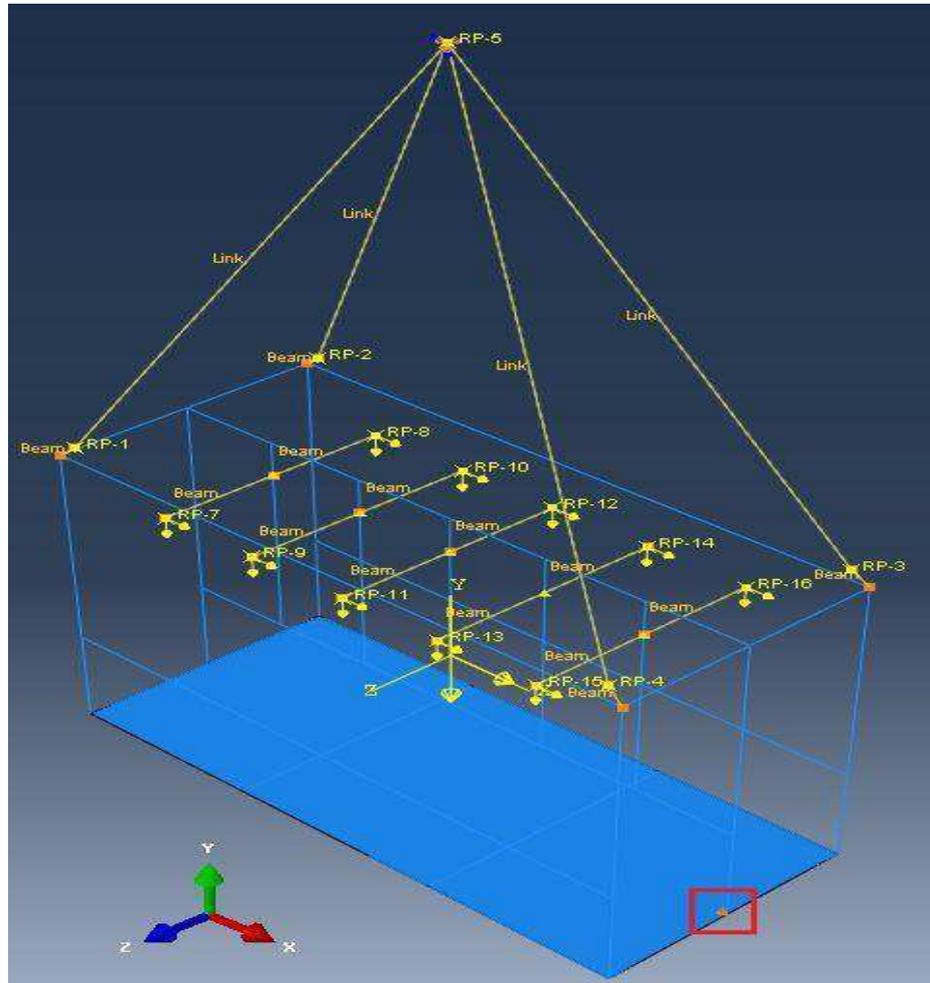


**Figura 46:** Malha gerada para a análise do impacto frontal no Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.8.2 Carregamento

A carga de 25% da carga máxima do conjunto estrutura e equipamento foi considerada como o equivalente estático do impacto. Para o Impacto Frontal na base, a parcela de 25% do impacto foi considerada nos pontos onde já previam aplicação de carga devido ao peso próprio da estrutura e dos Jumpers, porém considerando essa parcela do impacto na direção do impacto (eixo X). As setas em amarelo da Figura 20 representam os carregamentos explicados.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical (eixo Y) do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja (RP-5). A reação que considera o impacto foi modelada como restrição do movimento em X no ponto crítico considerado, este ponto está marcado em vermelho na Figura 23 abaixo.

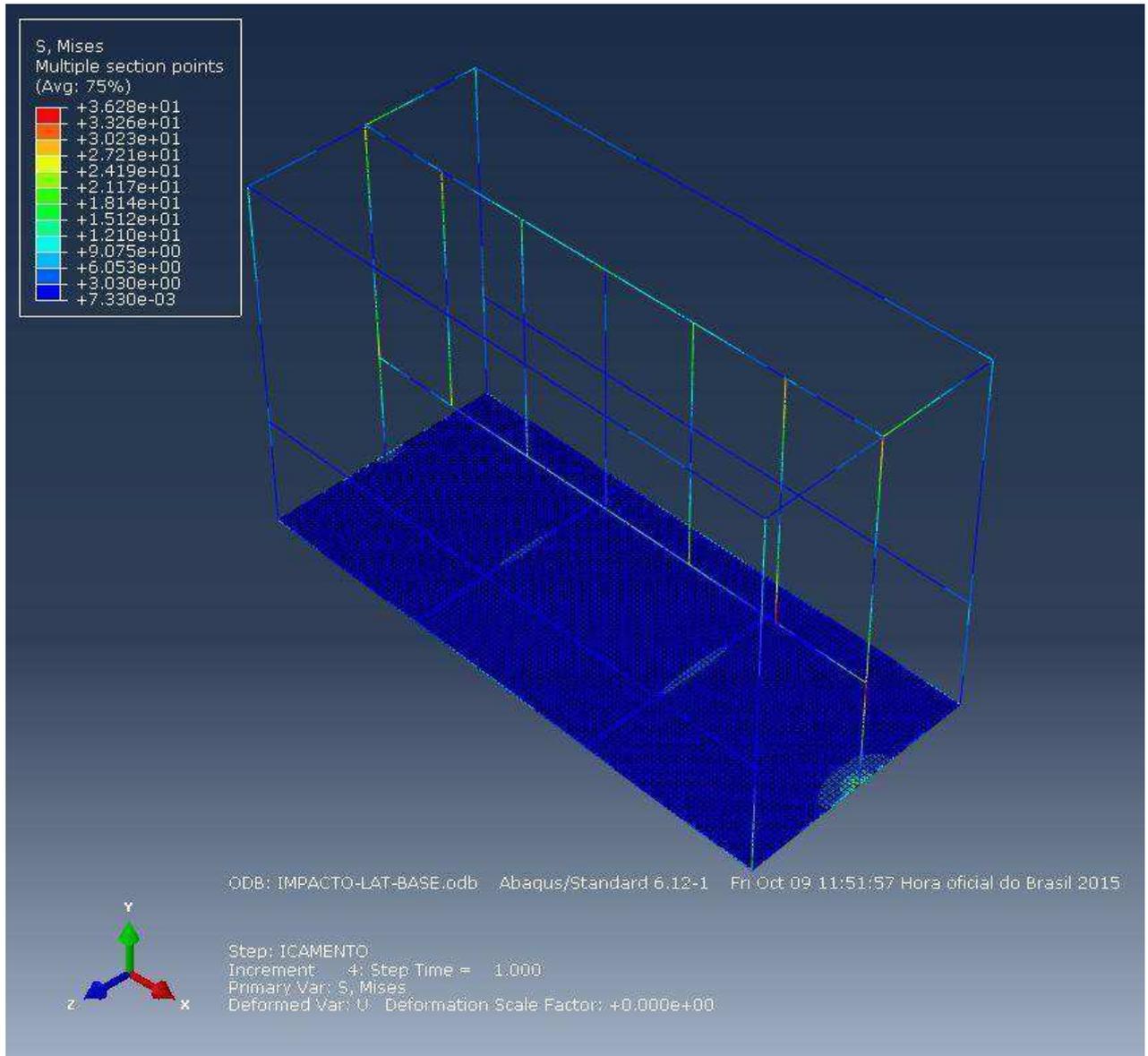


**Figura 47:** Condições de contorno de impacto frontal do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.

### 8.6.8.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 36,3 MPa estando abaixo do admissível de 100% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 250 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 24 representa graficamente a distribuição de tensões pelo Skid.



**Figura 48:** Distribuição das tensões na estrutura no impacto lateral.

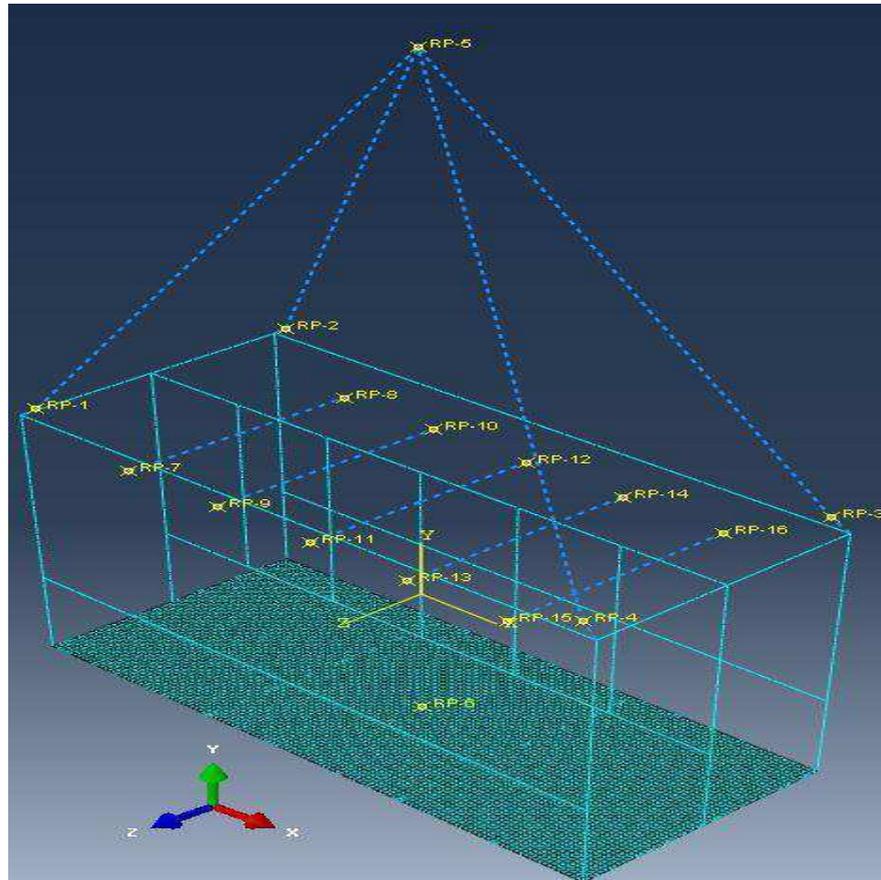
## 8.6.9 Carga de Impacto Frontal nos Postes de Içamento

### 8.6.9.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o material é contínuo em todas as junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foi analisada a condição de impacto frontal no poste de içamento do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos, como proposto pela Referência [3.2.2.1].

A Figura 25 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.

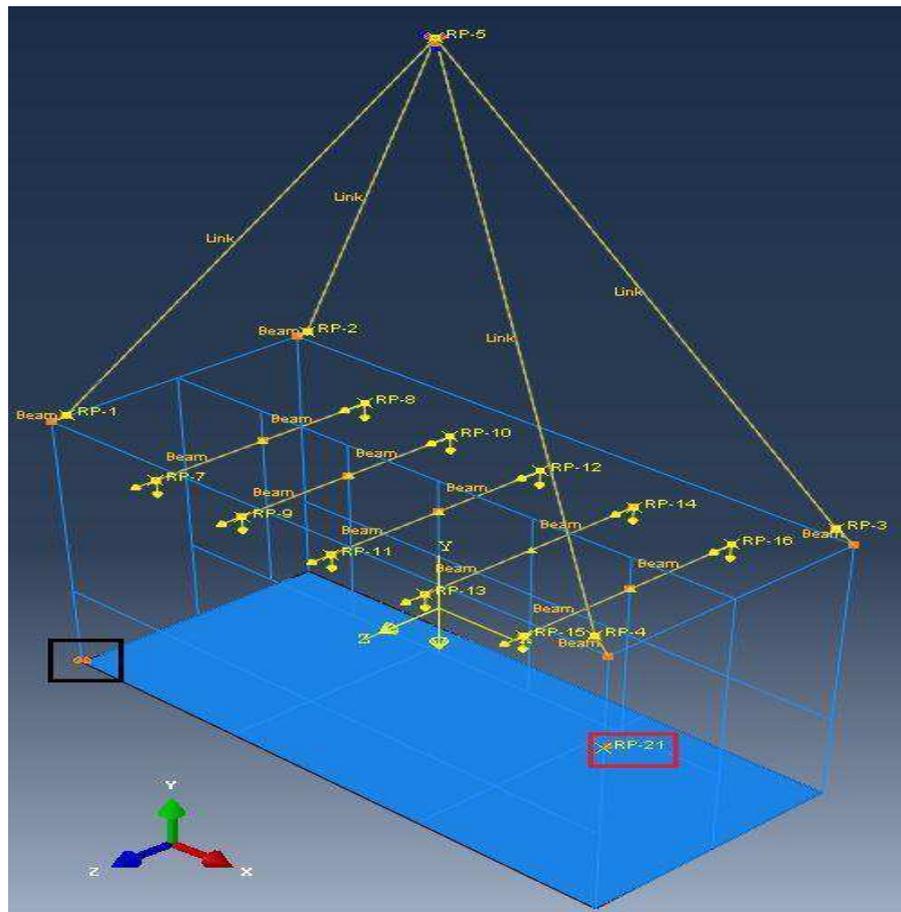


**Figura 49:** Malha gerada para a análise de impacto frontal no poste de içamento.

### 8.6.9.2 Carregamento

A carga de 25% da carga máxima do conjunto estrutura e equipamento foi considerada como o equivalente estático do impacto. Para o impacto frontal no poste de içamento, a parcela de 25% do impacto foi considerada nos pontos onde já previam aplicação de carga devido ao peso próprio da estrutura e dos Jumpers, porém considerando essa parcela do impacto na direção do impacto (eixo Z). As setas em amarelo da Figura 26 representam os carregamentos explicados.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical (eixo Y) do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja (RP-5). A reação que considera o impacto foi modelada como restrição do movimento em Z no ponto crítico considerado, este ponto está marcado em vermelho na Figura 26 abaixo. O ponto marcado em preto restringe o movimento nos eixos X e Z. É o ponto considerado de equilíbrio para que a estrutura se mantenha em equilíbrio estático e a análise possa ser feita de maneira apropriada.

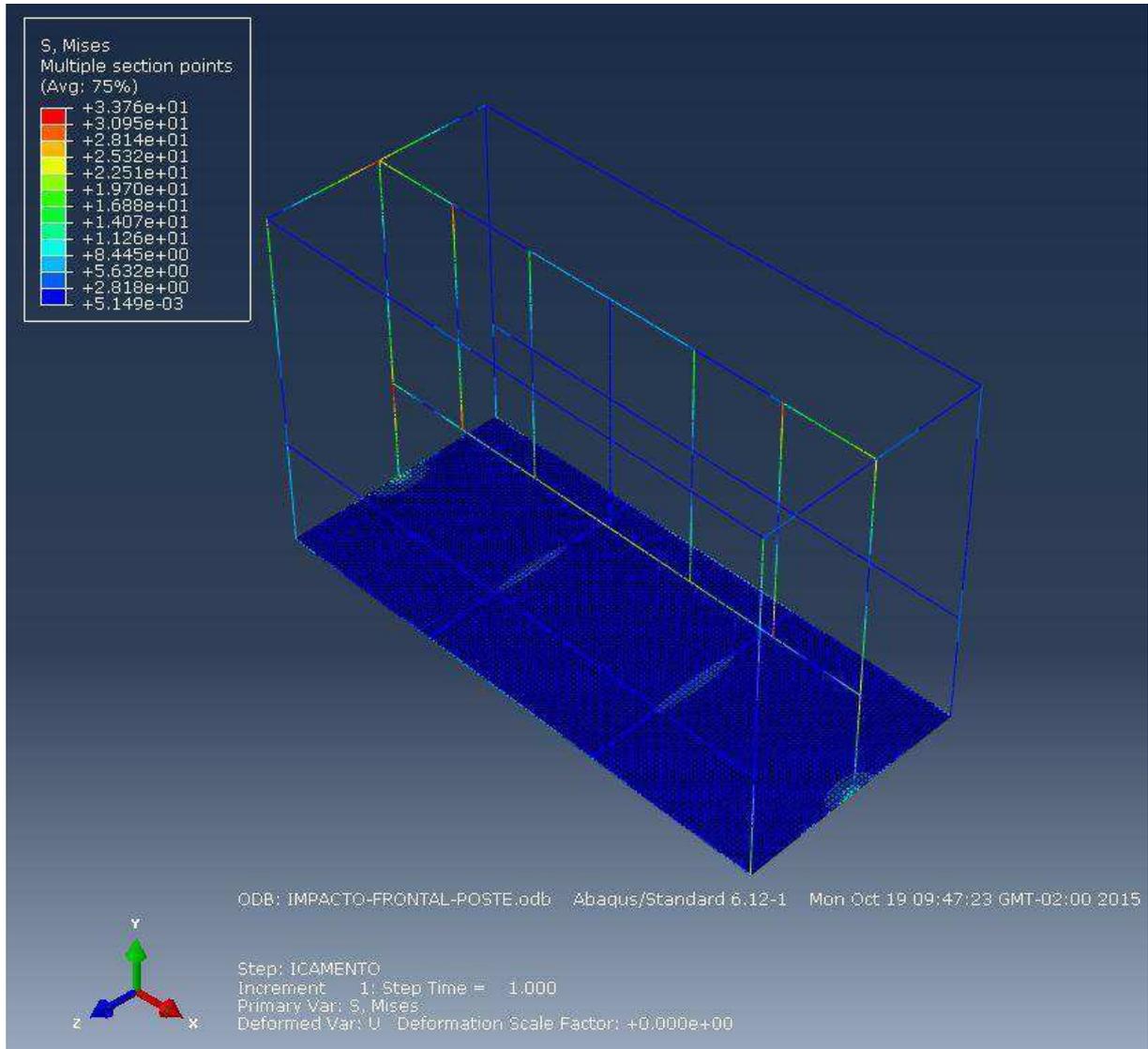


**Figura 50:** Condições de contorno de impacto frontal no poste de içamento do Skid para Jumpers Elétricos.

### 8.6.9.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 33,7 MPa estando abaixo do admissível de 100% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 250 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

A Figura 27 representa graficamente a distribuição de tensões pelo Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.



**Figura 51:** Distribuição das tensões no impacto frontal no poste de içamento do Skid para Jumpers Elétricos.

## 8.6.10 Carga de Impacto Frontal nas Travessas superiores

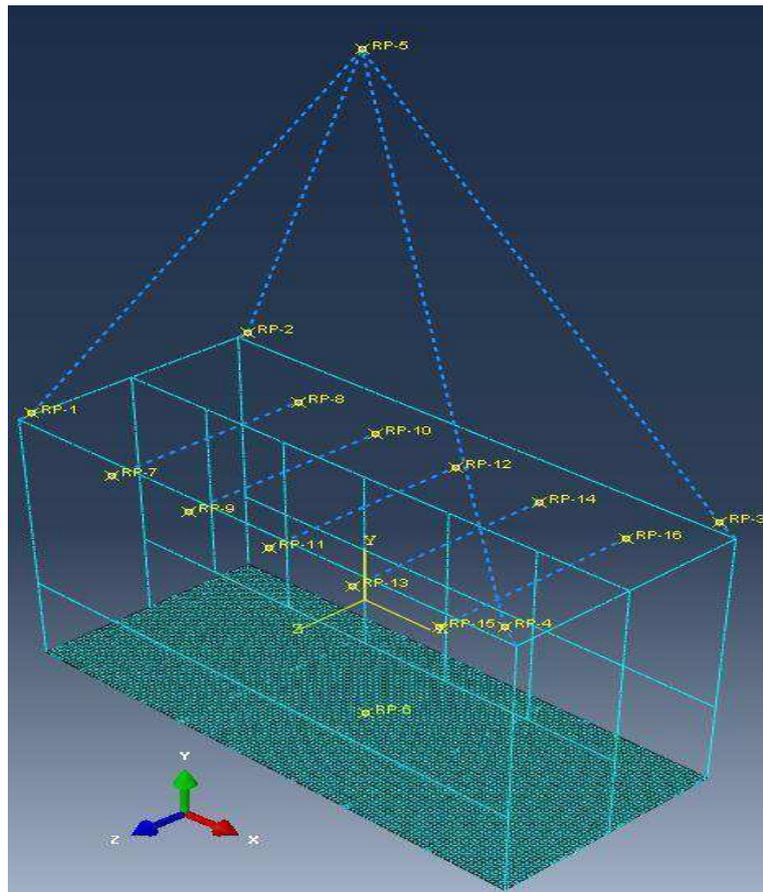
### 8.6.10.1 Modelo

Foi utilizado um modelo unidimensional nesta análise. A estrutura e a chapa de fundação foram representadas como elementos unidimensionais, definindo-se as dimensões da seção transversal das Vigas e da Chapa, respectivamente. Desta forma considerou-se que o

material é contínuo em todas as junções representando as soldas de penetração total e o material de adição deve possuir uma resistência maior que a do material base.

Foi analisada a condição de impacto horizontal nas travessas superiores do Skid para Instalação de Jumpers Elétricos, como proposto pela Referência [3.2.2.1].

A Figura 28 ilustra a malha linear unidimensional com elementos de Viga (Estrutura) e Casca (Chapa) com discretização média de elemento de 20 mm.



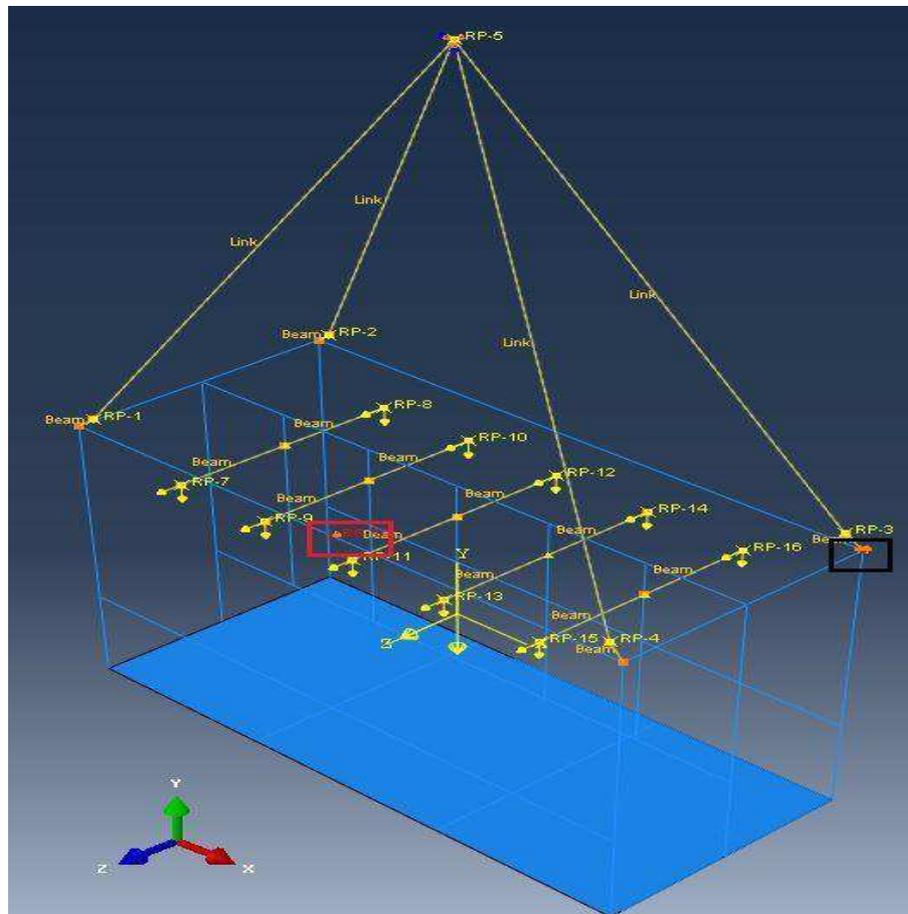
**Figura 52:** Malha gerada para a análise de impacto lateral nas travessas superiores.

### 8.6.10.2 Carregamento

A carga de 25% da carga máxima do conjunto estrutura e equipamento foi considerada como o equivalente estático do impacto. Para o Impacto na travessa superior, a parcela de 25% do impacto foi considerada nos pontos onde já previam aplicação de carga devido ao peso próprio da estrutura e dos Jumpers, porém considerando essa parcela do impacto na

direção do impacto (eixo Z). As setas em amarelo da Figura 20 representam os carregamentos explicados.

A reação foi modelada como uma restrição do deslocamento vertical (eixo Y) do ponto de união das “eslingas”, simulando o anel-pêra, observado como os triângulos laranja. A reação que considera o impacto foi modelada como restrição do movimento em Z no ponto crítico considerado, este ponto está marcado em vermelho na Figura 20 abaixo. O ponto marcado em preto restringe o movimento nos eixos X e Z. É o ponto considerado de equilíbrio para que a estrutura se mantenha em equilíbrio estático e a análise possa ser feita de maneira apropriada.

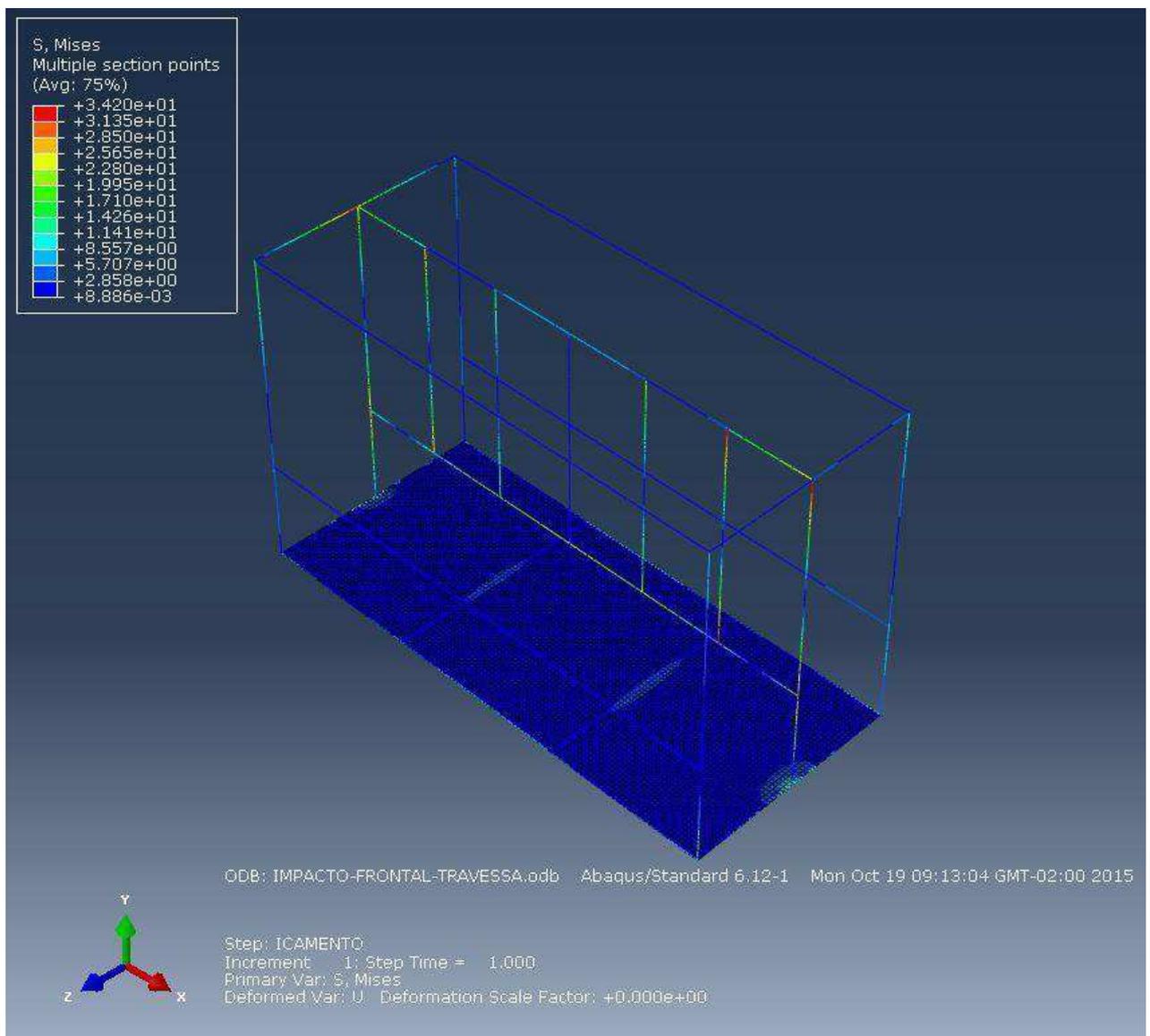


**Figura 53:** Carga de impacto frontal nas travessas superiores e suas reações de fixação.

### 8.6.10.3 Resultados

A tensão de Mises no ponto crítico da estrutura foi de 34,2 MPa estando abaixo do admissível de 100% do escoamento, conforme critério de aceitação na seção [5.4] do Projeto Final, ou seja, 250 MPa, garantindo a segurança de trabalho.

As Figuras 27 e 28 representam graficamente a distribuição de tensões pela estrutura Skid para Instalação de Jumpers Elétricos.



**Figura 54:** Distribuição das tensões de impacto frontal nas travessas superiores do Skid.

## 8.7 Soldagem

Todas as soldas analisadas pelo método dos elementos finitos foram modeladas como tendo penetração total e realizadas de acordo com a norma AWS D1.1 de forma a proporcionar continuidade no material e proporcionando uma região com resistência considerada igual ou superior ao do material base. Esta é uma consideração de projeto, não de fabricação. Para a fabricação, requisitos de qualidade indicam que quando considerado como penetração total, por exemplo, já é requisitado o teste por ultra-som. Esta consideração foi utilizada nos modelos de elementos finitos, incluindo os reforços.

As soldas dos olhais são realizadas de acordo com a norma API 17D.

## 8.8 Resultados

### 8.8.1 Análise por Elementos Finitos da Resistência dos Componentes

A tabela 28 mostra as tensões no Skid de Transporte do Conector nas diferentes condições de carregamento.

**Tabela 28:** Resultado das Análises de Elementos Finitos

Carregamento - Condição	Tensão calculada (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	%Fator de utilização = Tensão Calculada / Tensão Máxima
Tensão de Mises no içamento por 4 pontos	78	250	31,2
Tensão de Mises no içamento por 2 pontos	142	250	56,8
Tensão de Mises na Retirada do solo marinho	145,9	250	58,4
Tensão de Mises na inclinação de 30°(Eixo X)	101,8	250	40,7
Tensão de Mises na inclinação de 30°(Eixo Z)	104,2	250	41,7
Tensão de Mises no transporte por empilhadeira	74,7	250	29,9
Tensão de Mises no Impacto Frontal na Base	32,7	250	13,08
Tensão de Mises no Impacto Lateral na Base	36,3	250	14,5
Tensão de Mises no Impacto Frontal nos Postes	33,7	250	13,5
Tensão de Mises no Impacto na Travessa Superior	34,2	250	13,7

**Fonte:** Elaborada pelo autor

### 8.8.2 Resistência do Olhal

A tabela 29 mostra as tensões nos olhais de içamento. Os resultados são observados nos Apêndice C.

**Tabela 29:** Resistência do Olhal

Carregamento - Condição	Tensão Calculada (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	%Fator de utilização = Tensão Calculada / Tensão Máxima
Tensão de arrancamento	235,5	355	66,3
Tensão cisalhante da solda da base	23,1	246,1	9,4
Tensão na solda da base	40,1	213	18,8
Tensão de flexão da solda da base	37,3	233,6	16
Máxima Tensão de cisalhamento	45,1	246,1	18,3
Tensão de contato com o olhal	343,4	355	66,4

**Fonte:** Elaborada pelo autor

### 8.9 Limites Operacionais

Esses são os limites para a operação segura do equipamento.

SWL do Olhal: 1 tonelada

Carga Máxima Total de Içamento: 4 toneladas (içamento por 4 pontos)

Ângulo Máximo de inclinação do Skid: 30°

Ângulo máximo da Eslinga com a vertical: 30°

## **8.10 Considerações Finais**

Os modelos usados para os cálculos do Skid de Instalação de Jumpers Elétricos foram conservadores primando pela segurança, e, a partir dos resultados obtidos, observa-se que as operações de içamento e transporte serão realizadas sem comprometer a segurança da estrutura.

O projeto compreende todas as solicitações apresentadas na ET-3000.00-1500-610-PEK-002-A- ESLINGAS E SKIDS PARA TRANSPORTE DE EQUIPAMENTOS SUBMARINOS e nas Consultas Técnicas garantindo a funcionalidade de forma esperada pelo cliente.

Os materiais e processos empregados atendem os requisitos demandados pela Referência [2.2.1], garantindo os padrões de qualidade compatíveis com a utilização em ambientes severos.

Dessa forma, pode-se considerar que o produto atenderá as necessidades do cliente de forma segura e satisfatória em campo.

## Capítulo 9 – Trabalhos Futuros

Do ponto de vista de Produto requisitado pelo cliente, o projeto satisfaz seu propósito pois além de atender a todos os pedidos do cliente, o Skid foi projetado de acordo com as normas de Projeto, DNV 2.7-1 e API 17D, atendendo à todos os critérios de aceitação imposto pelas mesmas. Sendo assim do ponto de vista do projeto prático está de acordo e funcional.

Do ponto de vista de Projeto, poderiam ser feitas alterações de modo a otimizar o projeto nas áreas de custo, material, integridade. Pelo fato de estar muito dependente da norma para sua “qualificação” e esta utilizar de considerações práticas como por exemplo fatores de ampliação (correção) multiplicado aos carregamentos, mostram que a norma qualificadora têm suas limitações, sendo assim, para otimizar o projeto, alguns pontos poderiam ser abordados, como por exemplo:

Uma melhor investigação das cargas e carregamentos reais associados ao transporte como carga de Içamento 4 pontos, carga de Içamento 2 pontos, cargas de impacto, de tal forma a utilizar os fatores reais no dimensionamento da estrutura.

Levar em conta análise dinâmicas no modelamento de cálculos e análises de elementos finitos. Apesar da dificuldade em dimensionar este, tendo em vista que inúmeros afetam esse dimensionamento das cargas envolvidas no transporte do Skid, como por exemplo: Guindaste, empilhadeira, operador do guindaste/empilhadeira, condições de vento, condições de corrente, “tranco” dos motores envolvidos no Içamento, etc. Mesmo assim, com uma melhor investigação das condições e um modelo para uma análise dinâmica de elementos finitos provavelmente poderia se chegar a uma estrutura bem menos robusta com sua integridade intacta.

Muito poderia se tirar proveito de uma análise mais aprofundada do tema, porém na indústria, devido ao curto prazo e as normas qualificadoras existentes que os clientes exigem, muitas vezes a empresa não considera essa abordagem viável, apesar de que a longo prazo, uma análise mais aprofundada, descobrindo os carregamentos envolvidos mais próximos da realidade, as empresas se beneficiariam pela redução dos custos envolvidos na construção dos equipamentos.

## **Capítulo 10 - Conclusão**

Este projeto teve como objetivo primeiramente, montar uma base de conceitos que são importantes para o desenvolvimento do Projeto Final por completo. Pode-se perceber a complexidade dos equipamentos envolvidos e a necessidade do uso de normas para uma abordagem inicial da composição do projeto, ao mesmo tempo que se tem uma liberdade criativa para a elaboração do mesmo. O fato de ser um projeto real de engenharia, torna o trabalho interessante, pois o mesmo será utilizado pela empresa para a construção da estrutura que foi proposta nesse presente projeto. Além de elaborar, será possível acompanhar a produção e construção da estrutura. Portanto, este projeto completo servirá como um aprendizado abrangente de várias etapas das atividades de engenharia para os envolvidos no trabalho, tornando-o gratificante e prazeroso.

## Referências bibliográficas

- [1] NETO, JOSÉ BENEDITO ORTIZ; COSTA, ARMANDO JOÃO DALLA; *A Petrobrás e a exploração de Petróleo Offshore no Brasil: um approach evolucionário*. Rio de Janeiro, Jan-Mar 2007.
- [2] SOUSA, RAINER. *História do Petróleo no Brasil*. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/brasil/historia-do-petroleo-no-brasil.htm>>. Acesso em 02 jun. 2015..
- [3] TELEDYNE OIL & GAS. *ODI Ethernet Flying Lead*. <<http://www.teledyneoilandgas.com/product/ethernet-flying-lead.htm>>. Acesso em 20 jun. 2015.
- [4] “Proper and Improper Grouting of Skid Mounted Equipment”, *The Foundation Report*. Issue 5.
- [5] DESIGN AND OPERATION OF SUBSEA PRODUCTION SYSTEMS – SUBSEA WELLHEAD AND TREE EQUIPMENT. *API Specification 17D*. American Petroleum Institute. Nov. 2011
- [6] MANIFOLD SUBMARINO. ET-3000.00-1514-270-PEK-001. *PETROBRAS*. Ago. 2012
- [7] MANIFOLD SUBMARINO DRIVER ASSISTED (DA) - PROEF. RM-3000.00-1514-270-PEK-003. *PETROBRAS*. Nov. 2005
- [8] RECOMMENDED PRACTICE FOR PLANNING, DESIGNING, AND CONSTRUCTING FIXED OFFSHORE PLATAFORMS – LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN. *API Recommended Practice 2A-LRFD*. American Petroleum Institute. Jul. 1992
- [9] OFFSHORE CONTAINERS. DNV Standard for certification No. 2.7-1. Abr. 2006.
- [10] PORTABLE OFFSHORE UNITS. DNV Standard for certification No. 2.7-3. Mai. 2011.
- [11] MODELLING AND ANALYSIS OF MARINE OPERATIONS. RECOMMENDED PRACTICE DNV-RP-H103. Abr. 2011.
- [12] MOTOCEAN DATA. PETROBRAS Technical Specification. No I-ET-3000.00-1000-941-PPC-001. Mai. 1999.
- [13] Standard Specification for Carbon Structural Steel – American Society for Testing and Standard. No ASTM A36. Set 2001.
- [14] Standard Specification for Structural Steel for Ships – American Society for Testing and Standard. No ASTM A131. Mar 2007.
- [15] Structural Welding Code – Steel – American National Standard. No AWS D1.1. Ago 2001.
- [16] Eslingas e Skids para Transporte de Equipamentos Submarinos. Petrobras - Especificação Técnica. No ET-3000.00-1500-PEK-002. Fev 2013.

## **APÊNDICE A – Análise de Cargas**

# APÊNDICE A

## Análise das Cargas

Skid para Instalação dos Jumpers Elétricos do Manifold

### *Legenda*

- Entradas:..... XXX
- Fórmulas:..... XXX
- Resultados:..... XXX

**Dados:****Análise de cargas conforme norma DNV - N°2-7-1**

Massa total do Skid(Rating do Skid):.....  $S_{skid} := 1355\text{kg}$

Massa do conjunto de içamento do Skid:.....  $P_{conj\_icamento} := 200\text{kg}$

Massa do Tare(Container Vazio) do Skid:.....  $P_{skid\_vazio} := 1054.1\text{kg}$

Massa total dos 10 jumpers:.....  $P_{total.Jump} := 305.9\text{kg}$

Carga distribuída do vento:.....  $F_{arrasto} := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Maior área de arrasto do Skid:.....  $A_{front} := 1.2\text{m}^2$

Distância da extremidade da base até o centro de massa:.....  $L_{cm\_base} := 550\text{mm}$

Altura do centro de massa em relação a base:.....  $h_{cm} := 845.97\text{mm}$

Massa Especifica da água:.....  $\rho_{agua} := 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Coefficiente de arrasto:.....  $C_{DSi} := 1.9$

Nota: Constante geométrica retirada da norma DNV-RP-H1 03

Velocidade da Corrente na localização do Equipamento:.....  $v_{fundo} := 1.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Nota: Valor retirado da Consulta Técnica: I-ET-3000.00-1000-941-PPC-001 (Consuta técnica - Petrobras)

**Análise de cargas - Método analítico**

Peso linear dos Jumpers:.....  $P_{jumper.lin} := 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

Comprimentos dos Jumpers:.....  $L_{jumper} := 30\text{m}$

Peso linear do tubo:.....  $P_{tubo.lin} := 417.3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

Comprimento linear do tubo:.....  $L_{tubo} := 0.470\text{m}$

Distância entre a chapa menor e a viga I:.....  $L_{chapa.men} := 100\text{mm}$

Peso dos conectores e parking:.....  $P_{con\_park} := 78.64\text{N}$

Distância da chapa até a extremidade do conector:.....	$L_{\text{ext.con}} := 349\text{mm}$
Comprimento de jumper solto do tubo que se liga ao conector:.....	$L_{\text{jumper\_livre}} := 500\text{mm}$
Distância da conexão até a chapa:.....	$L_{\text{conex\_chapa}} := 310\text{mm}$
Coefficiente de atrito do aço lubrificado.....	$\mu_{\text{aço.lub}} := 0.12$
Número de parafusos por flange do conector:.....	$n_{\text{paraf}} := 4$
Distância do binário atuante nos parafusos:.....	$L_{\text{bin.paraf}} := 75.44\text{mm}$
Espessura da chapa menor:.....	$t_{\text{chapa\_men}} := 7.94\text{mm}$
Diâmetro do parafuso:.....	$D_{\text{paraf}} := 21\text{mm}$

## Análise de cargas conforme norma DNV - N°2-7-1

### Massa (Rating) do Skid de Transporte dos Jumper Elétricos:

$$P_{\text{total\_skid}} := P_{\text{total\_Jump}} + P_{\text{skid\_vazio}}$$

$$P_{\text{total\_skid}} = 1.36 \cdot \text{tonne}$$

Nota: Calculado conforme seção 1.5 da DNV-N°2-7-1.

### Carga de içamento vertical máxima aplicada aos olhais:

$$F_p := 3 \cdot P_{\text{total\_skid}} \cdot g$$

$$F_p = 40 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme seção 4.2.3.1 da DNV-N°2-7-1.

Nota: Dimensionamento do Olhal no Anexo E.

### Carga de içamento por todos os pontos:

$$F_L := 2.5 \cdot P_{\text{total\_skid}} \cdot g$$

$$F_L = 33.3 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme seção 4.6.3.2 da DNV-N°2-7-1.

### Carga de içamento de Teste por dois pontos:

$$F_{\text{two\_point}} := 1.5 \cdot P_{\text{total\_skid}} \cdot g$$

$$F_{\text{two\_point}} = 20 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme seção 4.6.3.3 da DNV-N°2-7-1.

### Carga de levantamento por empilhadeira:

Nota: Como a estrutura será levantada pela empilhadeira quando já carregada, então o cálculo é feito como se segue.

$$F_i := 1.6 \cdot (P_{\text{total\_skid}} + P_{\text{conj\_icamento}}) \cdot g$$

$$F_i = 24.48 \cdot \text{kN}$$

Nota :Calculado conforme seção 4.4.6 da DNV-N°2-7-1

### Carga aplicada às paredes(telas) do Skid:

$$F_w := (P_{\text{total\_skid}} - P_{\text{skid\_vazio}}) \cdot g$$

$$F_w = 3 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme seção 4.4.7 da DNV-Nº2-7-1

### Carga de Impacto(F.HI) - Horizontal

Carga de Impacto:.....  $F_{HI} := 25\% \cdot P_{\text{total\_skid}} \cdot g$

$$F_{HI} = 3.33 \cdot \text{kN}$$

Nota: A carga de impacto horizontal deverá ser levado em conta conforme seção 4.2.4.1 e 4.2.4.2 da norma DNV-Nº2-7-1.

Impacto considerado devido ao transporte do Skid, e deve ser considerando atuante em qualquer ponto, tanto na base como também no "frame" da estrutura principal.

### Carga de Impacto(F.VI) - Vertical

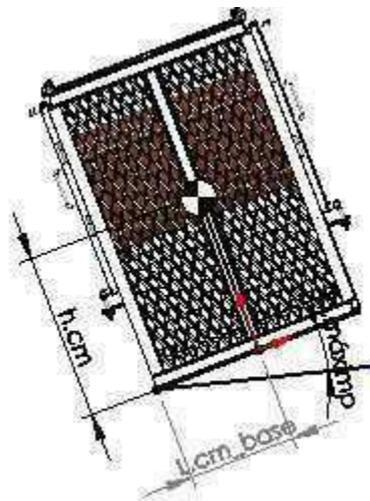
Carga de Impacto vertical:.....  $F_{VI} := 25\% \cdot P_{\text{total\_skid}} \cdot g$

$$F_{VI} = 3.33 \cdot \text{kN}$$

Nota: A carga de impacto vertical deverá ser levado em conta conforme seção 4.2.4.2 da norma DNV-Nº2-7-1. Impacto considerado devido ao transporte do Skid, e deve ser considerado atuante em qualquer ponto tanto na base como também no "frame" da estrutura principal.

### Ângulo máximo de inclinação da base:

Nota: Este é o ângulo máximo na qual a base pode ser inclinada garantindo a estabilidade da estrutura.

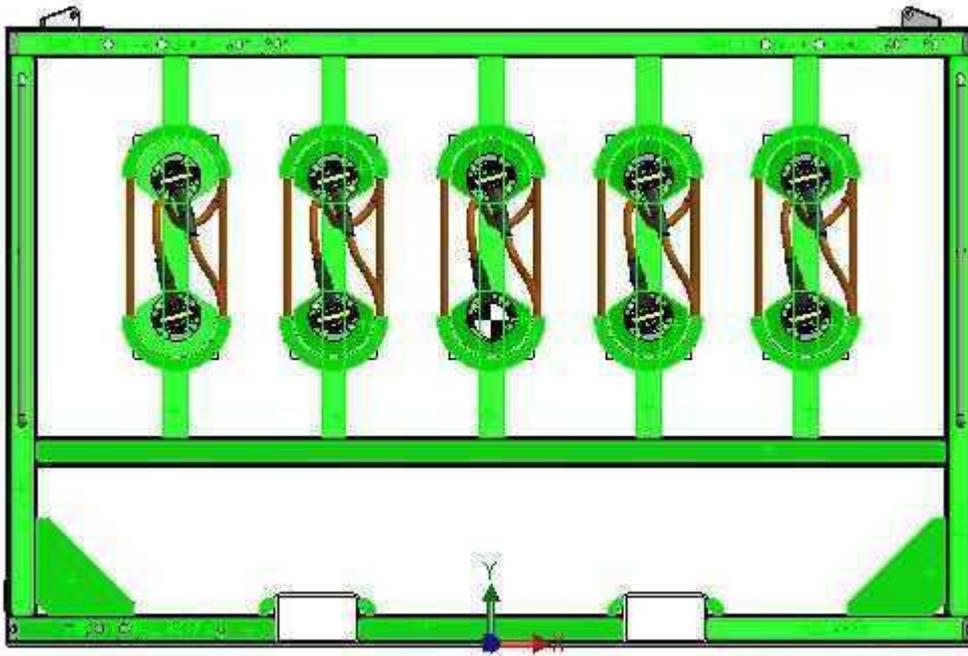


Ângulo Máximo de inclinação da base:.....  $\alpha_{\max} := \operatorname{atan}\left(\frac{L_{\text{cm\_base}}}{h_{\text{cm}}}\right)$

$$\alpha_{\max} = 33.03^\circ$$

Nota: Ângulo máximo que o skid pode ser inclinado. DNV 2-7-1 requisita que este seja maior que 30°.

### Carregamento devido ao vento:



Nota: Maior área de arrasto é a face frontal, em verde na imagem acima.

Força de arrasto do ar:.....  $F_{\text{vento\_SKID}} := F_{\text{arrasto}} \cdot A_{\text{front}}$

$$F_{\text{vento\_SKID}} = 1.2 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme norma de referência DNV - N°2-7-3

### Força constante devido à Corrente Marítma:

Força devido corrente(F.c):.....  $F_c := \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot C_{\text{DSi}} \cdot A_{\text{front}} \cdot v_{\text{fundo}}^2$

$$F_c = 3 \cdot \text{kN}$$

Nota: Calculado conforme norma de referência DNV-RP-H103

## Análise de cargas - Método analítico

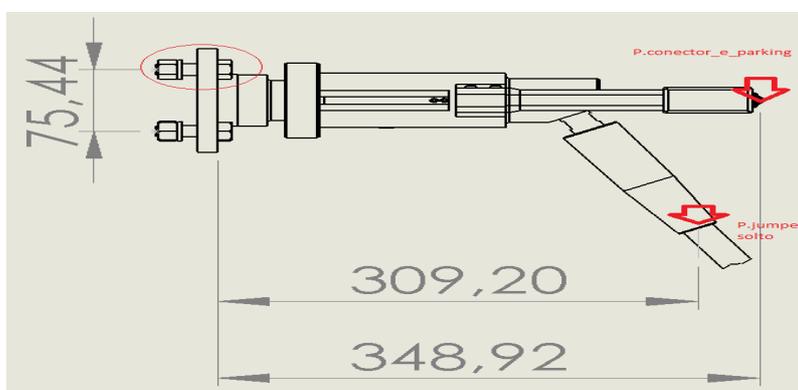
### Análise de cargas no Tubo de suporte dos jumpers

Peso do tubo cortado em dois.....  $P_{\text{tubo.cortado}} := \frac{(P_{\text{tubo.lin}} \cdot L_{\text{tubo}})}{2}$

$$P_{\text{tubo.cortado}} = 98.07 \cdot \text{N}$$

Peso do Jumper 30 metros:.....  $P_{\text{jumper.30m}} := P_{\text{jumper.lin}} \cdot L_{\text{jumper}}$

$$P_{\text{jumper.30m}} = 300 \cdot \text{N}$$



Nota: O conector é preso à uma chapa menor e esta é soldada ao tubo

Peso do jumper solto do tubo:.....  $P_{\text{jumper_livre}} := P_{\text{jumper.lin}} \cdot L_{\text{jumper_livre}}$

$$P_{\text{jumper_livre}} = 5 \cdot \text{N}$$

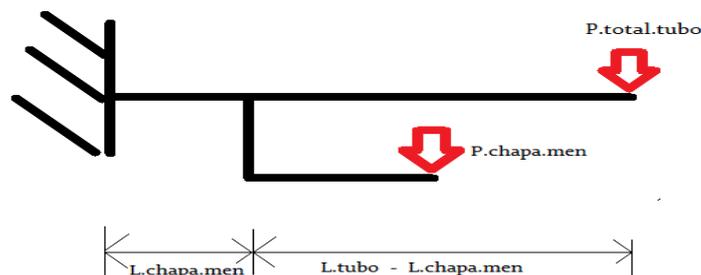
### Carga Total aplicado no tubo:

Peso Total aplicado ao tubo:

$$P_{\text{total.tubo}} := P_{\text{jumper.30m}} + P_{\text{tubo.cortado}} + P_{\text{jumper_livre}} + P_{\text{con_park}}$$

$$P_{\text{total.tubo}} = 481.71 \cdot \text{N}$$

## Cálculo das forças internas do tubo:



### Momento Fletor:

Momento Fletor na extremidade do tubo cortado:

$$M_{\text{ext.tubo}} := (P_{\text{tubo.cortado}} + P_{\text{jumper.30m}}) \cdot L_{\text{tubo}}$$

$$M_{\text{ext.tubo}} = 187.1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Momento causado pelo conector e jumper livre do tubo:

$$M_{\text{jumper.livre}} := P_{\text{jumper.livre}} \cdot L_{\text{conex.chapa}}$$

$$M_{\text{con.park}} := P_{\text{con.park}} \cdot L_{\text{ext.con}}$$

$$M_{\text{jumper.livre}} = 1.55 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{con.park}} = 27.45 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Peso total aplicado à chapa menor:

$$P_{\text{chapa.men}} := P_{\text{jumper.livre}} + P_{\text{con.park}}$$

$$P_{\text{chapa.men}} = 83.64 \cdot \text{N}$$

Momento causado pela distância entre a chapa menor presa no tubo em relação a viga I:

$$M_{\text{chapa.men}} := P_{\text{chapa.men}} \cdot L_{\text{chapa.men}}$$

$$M_{\text{chapa.men}} = 8.36 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Momento fletor total aplicado ao tubo:

$$M_{\text{total.tubo}} := M_{\text{ext.tubo}} + M_{\text{jumper.livre}} + M_{\text{con.park}} + M_{\text{chapa.men}}$$

$$M_{\text{total.tubo}} = 224.45 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

### Força Cisalhante:

Força cisalhante no tubo cortado:

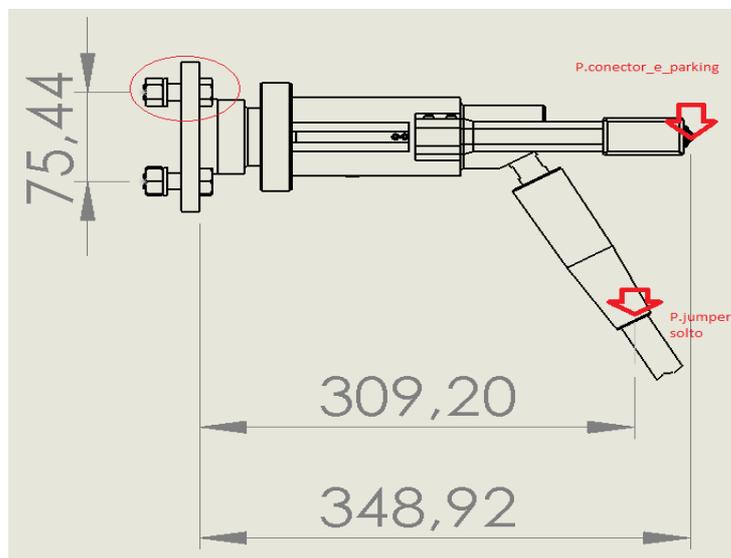
$$V_{\text{cis.tubo}} := P_{\text{total.tubo}}$$

$$V_{\text{cis.tubo}} = 481.71 \cdot \text{N}$$

Nota: A análise da resistência mecânica do componente será feita no Anexo D desta memória de cálculo.

## Análise de Cargas - Parafusos do Parking

### Cargas relevantes:



Nota: Análise conservadora, considerando as forças como pontuais e não como distribuídas.

Peso do Jumper livre do tubo que se liga ao conector:  $P_{\text{Jumper\_livre}} := P_{\text{jumper.lin}} \cdot L_{\text{jumper\_livre}}$

$$P_{\text{Jumper\_livre}} = 5 \cdot \text{N}$$

Momento do Jumper livre do tubo no ponto de conexão:

$$M_{\text{Jumper\_livre}} := P_{\text{jumper\_livre}} \cdot L_{\text{conex\_chapa}}$$

$$M_{\text{Jumper\_livre}} = 1.55 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Momento causado pelo peso próprio do conector:.....  $M_{\text{Con.park}} := P_{\text{con\_park}} \cdot L_{\text{ext.con}}$

$$M_{\text{Con.park}} = 27.45 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Nota: Análise conservadora, considerando o peso próprio como concentrado na extremidade oposta à fixação.

## Cargas Efetivas - Parafusos:

Somatório das forças transversais:.....  $P_{total\_paraf} := P_{con\_park} + P_{jumper\_livre}$

$$P_{total\_paraf} = 83.64 \cdot N$$

Somatório dos Momentos:.....  $M_{total\_paraf} := M_{con.park} + M_{jumper\_livre}$

$$M_{total\_paraf} = 29 \cdot N \cdot m$$

## Cargas Efetivas em cada parafuso:

Força cisalhante em cada parafuso:.....  $F_{cis.1paraf} := \frac{P_{total\_paraf}}{n_{paraf}}$

$$F_{cis.1paraf} = 20.91 \cdot N$$

Força axial em cada parafuso:.....  $F_{axial.1paraf} := \frac{M_{total\_paraf}}{2 \cdot L_{bin.paraf}}$

$$F_{axial.1paraf} = 192.17 \cdot N$$

## Cálculo de pré-carga dos Parafusos

Força de pré-carga necessária em cada parafuso:.....  $F_{pre\_min\_cis} := \frac{F_{cis.1paraf}}{\mu_{aço.lub}}$

$$F_{pre\_min\_cis} = 174.3 \cdot N$$

Momento de pré-carga necessário em cada parafuso:.....  $F_{pre\_min\_M} := F_{axial.1paraf}$

$$F_{pre\_min\_M} = 192.17 \cdot N$$

Conclusão: Cada Parking do conector será fixado por 4 Parafusos com 21 mm de diâmetro.

**APÊNDICE B** – Dimensionamento da Fundação do Skid para  
Jumpers Elétricos

# APÊNDICE B

## Dimensionamento da Fundação Skid para Instalação dos Jumpers Elétricos do Manifold

### *Legenda*

- Entradas:..... XXX
- Fórmulas:..... XXX
- Resultados:..... XXX

## Dados Iniciais

Massa do Skid de transporte dos jumpers elétricos:.....	$P_{Skid\_jump} := 1317\text{kg}$
Força horizontal aplicada ao Skid:.....	$F_{h\_Skid} := 3\text{kN}$
Nota: Cálculo no Anexo A, conforme DNV-RP-H103-201	
Momento no centróide da área da base do Skid eixo 1:.....	$M_{Skid\_1} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$
Momento no centróide da área da base do Skid eixo 2:.....	$M_{Skid\_2} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$
Massa específica da água:.....	$\rho_{agua} := 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Massa do mergulhador equipado:.....	$P_{mergulhador} := 100\text{kg}$
Nota: Consideração conservadora em que a pessoa pesa 80 kg e o equipamento 20kg	
Ângulo de inclinação da base:.....	$\nu := 2.0^\circ$
Nota: Valor de acordo com ET-3000.00-1514-270-PEK-001 REV D	
Ângulo de inclinação do terreno:.....	$\beta := 2.0^\circ$
Nota: Valor de acordo com ET-3000.00-1514-270-PEK-001 REV D	
Ângulo máximo de inclinação da carga:.....	$\theta := 3.0^\circ$
Nota: Valor de acordo com ET-3000.00-1514-270-PEK-001 REV D	

## Dados de Solo

Intercepto coesivo do solo para o cravamento de saia:.....	$c_{saia} := 5\text{kPa}$
Intercepto coesivo do solo para capacidade de suporte e deslizamento:.....	$c_{suporte} := 0\text{kPa}$
Ângulo de atrito do solo para o cravamento de saia:.....	$\phi_{saia} := 45^\circ$
Ângulo de atrito do solo para capacidade de suporte e deslizamento:.....	$\phi_{suporte} := 20^\circ$
Peso específico do solo efetivo (submerso):.....	$\gamma := 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Nota: Dados de solo referentes à RM-3000.00-1514-270-PEK-003 REV A	

## Cálculo da carga submersa resistida

Volume deslocado pela carga total:.....  $V_{Skid} := 0.2564\text{m}^3$

Peso submerso da carga resistida:

$$P_{Skid\_sub} := (P_{Skid\_jump} + 2 \cdot P_{mergulhador}) \cdot g - \rho_{agua} \cdot V_{Skid} \cdot g$$

$$P_{Skid\_sub} = 12.3 \cdot \text{kN}$$

Nota: Foi considerado como peso submerso do Skid, o peso da total da estrutura com os jumpers e dois mergulhadores em cima do Skid (Análise Conservadora).

## Dados Geométricos do Mudmat do Skid

Dimensão da base no eixo 1:.....  $L_{Mudmat} := 2500mm$

Dimensão da base no eixo 2:.....  $B_{Mudmat} := 1100mm$

Diâmetro dos furos da chapa de fundo:.....  $f_{uros} := 140mm$

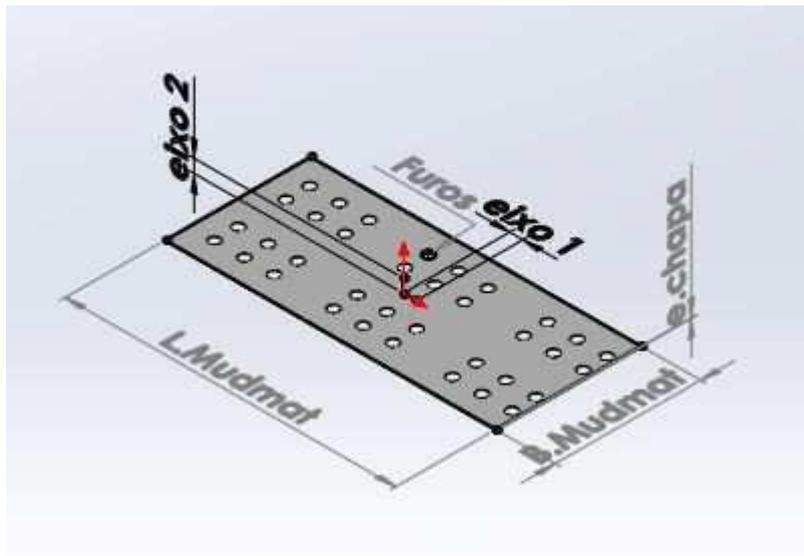
Quantidade de furos na chapa de fundo:.....  $n_{furos} := 45$

Espessura da Chapa do Mudmat:.....  $e_{chapa} := 6.35mm$

Distância entre centros de massa e geométrico da base no eixo 1:.....  $\Delta_{e1\_Manifold} := 0mm$

Distância entre centros de massa e geométrico da base no eixo 2:.....  $\Delta_{e2\_Manifold} := 0mm$

Profundidade de Enterramento da Chapa de Fundo:.....  $D_{suporte} := 0m$



Área total do Mudmat:.....  $A_{total} := L_{Mudmat} \cdot B_{Mudmat}$

$$A_{total} = 2.8m^2$$

Área dos furos da chapa de fundo:.....  $A_{furos} := n_{furos} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot f_{uros}^2$

$$A_{furos} = 0.693m^2$$

Percentual de área efetivo:.....

$$\kappa := \frac{A_{total} - A_{furos}}{A_{total}}$$

$$\kappa = 0.748$$

### Cálculo da Carga de Instalação do Skid

Carga Vertical de Instalação do Manifold:.....

$$P_{instalação} := P_{Skid\_sub}$$

$$P_{instalação} = 12.3 \cdot kN$$

### Cálculo da Carga Vertical Máxima de Trabalho do Skid

Carga total de trabalho suportada pelo Mudmat:.....

$$P := P_{Skid\_sub}$$

$$P = 12.3 \cdot kN$$

### Cálculo das dimensões efetivas

Excentricidade efetiva no Eixo 1:.....

$$e_1 := \frac{M_{Skid\_1}}{P_{Skid\_sub}} + \Delta_{e1\_Manifold}$$

$$e_1 = 0 \cdot m$$

Excentricidade efetiva no Eixo 2:.....

$$e_2 := \frac{M_{Skid\_2}}{P_{Skid\_sub}} + \Delta_{e2\_Manifold}$$

$$e_2 = 0$$

Comprimento efetivo do Mudmat do Manifold:.....

$$L_{ef} := L_{Mudmat} - 2 \cdot |e_1|$$

$$L_{ef} = 2.5 \cdot m$$

Largura efetiva do Mudmat do Skid:.....

$$B_{ef} := B_{Mudmat} - 2 \cdot |e_2|$$

$$B_{ef} = 1.1 \cdot m$$

Área efetiva do Mudmat do Skid:.....

$$A_{ef} := \kappa \cdot B_{ef} \cdot L_{ef}$$

$$A_{ef} = 2.1 \cdot m^2$$

### Cálculo de $N_q$ para a Capacidade de Suporte e Deslizamento

Cálculo de " $N_{q\_suporte}$ "..... 
$$N_{q\_suporte} := e^{(\pi \tan(\phi_{suporte}))} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi_{suporte}}{2}\right)^2$$

$$N_{q\_suporte} = 6.399$$

### Cálculo de $N_q$ para a Cravamento de Saia

Cálculo de " $N_{q\_saia}$ "..... 
$$N_{q\_saia} := e^{(\pi \tan(\phi_{saia}))} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi_{saia}}{2}\right)^2$$

$$N_{q\_saia} = 134.874$$

### Cálculo de $N_c$ para a Capacidade de Suporte e Deslizamento

Cálculo de " $N_{c\_suporte}$ "..... 
$$N_{c\_suporte} := \frac{(N_{q\_suporte} - 1)}{\tan(\phi_{suporte})}$$

$$N_{c\_suporte} = 14.835$$

### Cálculo de $N_c$ para a Cravamento de Saia

Cálculo de " $N_{c\_saia}$ "..... 
$$N_{c\_saia} := \frac{(N_{q\_saia} - 1)}{\tan(\phi_{saia})}$$

$$N_{c\_saia} = 133.874$$

### Cálculo de $N_\gamma$ para a Capacidade de Suporte e Deslizamento

Cálculo de " $N_{\gamma\_suporte}$ "..... 
$$N_{\gamma\_suporte} := 2 \cdot (N_{q\_suporte} + 1) \tan(\phi_{suporte})$$

$$N_{\gamma\_suporte} = 5.386$$

### Cálculo de $N_\gamma$ para o Cravamento de Saia

Cálculo de " $N_{\gamma\_saia}$ "..... 
$$N_{\gamma\_saia} := 2 \cdot (N_{q\_saia} + 1) \tan(\phi_{saia})$$

$$N_{\gamma\_saia} = 271.748$$

### Cálculo de "q" para a Capacidade de Suporte e Deslizamento

Cálculo de " $q_{suporte}$ ".....  $q_{suporte} := \gamma \cdot D_{suporte}$

$$q_{suporte} = 0 \cdot kPa$$

### Cálculo do fator "m" para a Capacidade Suporte e Deslizamento

Cálculo de " $m_{L\_suporte}$ ".....  $m_{L\_suporte} := \frac{2 + \frac{L_{ef}}{B_{ef}}}{1 + \frac{L_{ef}}{B_{ef}}}$

$$m_{L\_suporte} = 1.306$$

Cálculo de " $m_{B\_suporte}$ ".....  $m_{B\_suporte} := \frac{2 + \frac{B_{ef}}{L_{ef}}}{1 + \frac{B_{ef}}{L_{ef}}}$

$$m_{B\_suporte} = 1.694$$

Cálculo de " $m_{suporte}$ ".....  $m_{suporte} := m_{L\_suporte} \cdot \cos(\theta)^2 + m_{B\_suporte} \cdot \sin(\theta)^2$

$$m_{suporte} = 1.307$$

### Cálculo do fator "m" para a Cravamento de Saia

Cálculo de " $m_{L\_saia}$ ".....  $m_{L\_saia} := \frac{2 + \frac{L_{ef}}{B_{ef}}}{1 + \frac{L_{ef}}{B_{ef}}}$

$$m_{L\_saia} = 1.306$$

Cálculo de " $m_{B\_saia}$ ".....  $m_{B\_saia} := \frac{2 + \frac{B_{ef}}{L_{ef}}}{1 + \frac{B_{ef}}{L_{ef}}}$

$$m_{B\_saia} = 1.694$$

Cálculo de " $m_{saia}$ ":.....  $m_{saia} := m_{L\_saia} \cdot \cos(\theta)^2 + m_{B\_saia} \cdot \sin(\theta)^2$

$$m_{saia} = 1.307$$

## Cálculo de $K_q$ para Capacidade de Suporte e Deslizamento

Fator de inclinação " $i_q$ ":

$$i_{q\_suporte} := \left( 1 - \frac{P_{Skid\_sub} \cdot \sin(\theta)}{P_{Skid\_sub} + B_{ef} \cdot L_{ef} \cdot c_{suporte} \cdot N_{c\_suporte}} \right)^{m_{suporte}}$$

$$i_{q\_suporte} = 0.932$$

Fator de forma " $s_q$ ":.....  $s_{q\_suporte} := 1 + \left( \frac{B_{ef}}{L_{ef}} \right) \cdot \tan(\phi_{suporte})$

$$s_{q\_suporte} = 1.16$$

Fator de profundidade " $d_q$ ":.....  $d_{q\_suporte} := 1 + 2 \tan(\phi_{suporte}) \cdot (1 - \sin(\phi_{suporte}))^2 \cdot \frac{D_{suporte}}{B_{ef}}$

$$d_{q\_suporte} = 1.000$$

Fator de inclinação da base " $b_q$ ":.....  $b_{q\_suporte} := \left( 1 - \frac{\nu}{rad} \cdot \tan(\phi_{suporte}) \right)^2$

$$b_{q\_suporte} = 0.975$$

Fator de declividade do solo " $g_q$ ":.....  $g_{q\_suporte} := (1 - \tan(\beta))^2$

$$g_{q\_suporte} = 0.931$$

Fator " $K_q$ ":.....  $K_{q\_suporte} := i_{q\_suporte} \cdot s_{q\_suporte} \cdot d_{q\_suporte} \cdot b_{q\_suporte} \cdot g_{q\_suporte}$

$$K_{q\_suporte} = 0.982$$

### Cálculo de Kq para Cravamento de Saia

Fator de inclinação " $i_q$ ".....  $i_{q\_saia} := \left( 1 - \frac{P_{Skid\_sub} \cdot \sin(\theta)}{P_{Skid\_sub} + B_{ef} \cdot L_{ef} \cdot c_{saia} \cdot N_{c\_saia}} \right)^{m_{saia}}$

$$i_{q\_saia} = 1$$

Fator de forma " $s_q$ ".....  $s_{q\_saia} := 1 + \left( \frac{B_{Mudmat}}{L_{Mudmat}} \right) \cdot \tan(\phi_{saia})$

$$s_{q\_saia} = 1.44$$

Fator de inclinação da base " $b_q$ ".....  $b_{q\_saia} := \left( 1 - \frac{\nu}{rad} \cdot \tan(\phi_{saia}) \right)^2$

$$b_{q\_saia} = 0.931$$

Fator de declividade do solo " $g_q$ ".....  $g_{q\_saia} := (1 - \tan(\beta))^2$

$$g_{q\_saia} = 0.931$$

### Cálculo de Kc para Capacidade de Suporte e Deslizamento

Fator de inclinação " $i_c$ ".....  $i_{c\_suporte} := i_{q\_suporte} - \frac{1 - i_{q\_suporte}}{N_{c\_suporte} \cdot \tan(\phi_{suporte})}$

$$i_{c\_suporte} = 0.92$$

Fator de forma " $s_c$ ".....  $s_{c\_suporte} := 1 + \left( \frac{B_{ef}}{L_{ef}} \right) \cdot \left( \frac{N_{q\_suporte}}{N_{c\_suporte}} \right)$

$$s_{c\_suporte} = 1.19$$

Fator de profundidade " $d_c$ ".....  $d_{c\_suporte} := d_{q\_suporte} - \frac{1 - d_{q\_suporte}}{N_{c\_suporte} \cdot \tan(\phi_{suporte})}$

$$d_{c\_suporte} = 1.000$$

Fator de inclinação da base " $b_c$ ":.....
$$b_{c\_suporte} := b_{q\_suporte} - \frac{1 - b_{q\_suporte}}{N_{c\_suporte} \cdot \tan(\phi_{suporte})}$$

$$b_{c\_suporte} = 0.970$$

Fator de declividade do solo " $g_c$ ":.....
$$g_{c\_suporte} := g_{q\_suporte} - \frac{1 - g_{q\_suporte}}{N_{c\_suporte} \cdot \tan(\phi_{suporte})}$$

$$g_{c\_suporte} = 0.919$$

Fator " $K_c$ ":.....
$$K_{c\_suporte} := i_{c\_suporte} \cdot s_{c\_suporte} \cdot d_{c\_suporte} \cdot b_{c\_suporte} \cdot g_{c\_suporte}$$

$$K_{c\_suporte} = 0.975$$

### Cálculo de $K_c$ para Cravamento de Saia

Fator de inclinação " $i_c$ ":.....
$$i_{c\_saia} := i_{q\_saia} - \frac{1 - i_{q\_saia}}{N_{c\_saia} \cdot \tan(\phi_{saia})}$$

$$i_{c\_saia} = 1$$

Fator de forma " $s_c$ ":.....
$$s_{c\_saia} := 1 + \left( \frac{B_{Mudmat}}{L_{Mudmat}} \right) \cdot \left( \frac{N_{q\_saia}}{N_{c\_saia}} \right)$$

$$s_{c\_saia} = 1.443$$

Fator de inclinação da base " $b_c$ ":.....
$$b_{c\_saia} := b_{q\_saia} - \frac{1 - b_{q\_saia}}{N_{c\_saia} \cdot \tan(\phi_{saia})}$$

$$b_{c\_saia} = 0.931$$

Fator de declividade do solo " $g_c$ ":.....
$$g_{c\_saia} := g_{q\_saia} - \frac{1 - g_{q\_saia}}{N_{c\_saia} \cdot \tan(\phi_{saia})}$$

$$g_{c\_saia} = 0.931$$

## Cálculo de $K_\gamma$ para Capacidade de Suporte e Deslizamento

Fator de inclinação " $i_\gamma$ "

$$i_{\gamma\_suporte} := \left( 1 - \frac{P_{Skid\_sub} \cdot \sin(\beta)}{P_{Skid\_sub} + B_{ef} \cdot L_{ef} \cdot c_{suporte} \cdot N_{c\_suporte}} \right)^{m_{suporte} + 1}$$

$$i_{\gamma\_suporte} = 0.921$$

Fator de forma " $s_\gamma$ "

$$s_{\gamma\_suporte} := 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{B_{ef}}{L_{ef}} \right)$$

$$s_{\gamma\_suporte} = 0.824$$

Fator de profundidade " $d_\gamma$ "

$$d_{\gamma\_suporte} := 1.0$$

$$d_{\gamma\_suporte} = 1.000$$

Fator de inclinação da base " $b_c$ "

$$b_{\gamma\_suporte} := b_{q\_suporte}$$

$$b_{\gamma\_suporte} = 0.975$$

Fator de declividade do solo " $g_c$ "

$$g_{\gamma\_suporte} := g_{q\_suporte}$$

$$g_{\gamma\_suporte} = 0.931$$

Fator " $K_\gamma$ "

$$K_{\gamma\_suporte} := i_{\gamma\_suporte} \cdot s_{\gamma\_suporte} \cdot d_{\gamma\_suporte} \cdot b_{\gamma\_suporte} \cdot g_{\gamma\_suporte}$$

$$K_{\gamma\_suporte} = 0.689$$

## Cálculo de $K_\gamma$ para Cravamento de Saia

Fator de inclinação " $i_\gamma$ "

$$i_{\gamma\_saia} := \left( 1 - \frac{P_{Skid\_sub} \cdot \sin(\beta)}{P_{Skid\_sub} + B_{ef} \cdot L_{ef} \cdot c_{saia} \cdot N_{c\_saia}} \right)^{m_{saia} + 1}$$

$$i_{\gamma\_saia} = 0.999$$

Fator de forma " $s_\gamma$ " : .....  $s_{\gamma\_saia} := 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{B_{Mudmat}}{L_{Mudmat}} \right)$

$$s_{\gamma\_saia} = 0.824$$

Fator de profundidade " $d_\gamma$ " : .....  $d_{\gamma\_saia} := 1.0$

$$d_{\gamma\_saia} = 1.000$$

Fator de inclinação da base " $b_c$ " : .....  $b_{\gamma\_saia} := b_{q\_saia}$

$$b_{\gamma\_saia} = 0.931$$

Fator de declividade do solo " $g_c$ " : .....  $g_{\gamma\_saia} := g_{q\_saia}$

$$g_{\gamma\_saia} = 0.931$$

Fator " $K_\gamma$ " : .....  $K_{\gamma\_saia} := i_{\gamma\_saia} \cdot s_{\gamma\_saia} \cdot d_{\gamma\_saia} \cdot b_{\gamma\_saia} \cdot g_{\gamma\_saia}$

$$K_{\gamma\_saia} = 0.714$$

## Cálculo da Capacidade de Suporte Drenada do Mudmat

$$Q_{sup\_dren} := \left( c_{suporte} \cdot N_{c\_suporte} \cdot K_{c\_suporte} + q_{suporte} \cdot N_{q\_suporte} \cdot K_{q\_suporte} \dots \right) \cdot A_{ef} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B_{Mudmat} \cdot N_{\gamma\_suporte} \cdot K_{\gamma\_suporte}$$

$$Q_{sup\_dren} = 25.2 \cdot kN$$

$$Q_{sup\_dren} = 2.57 \cdot tonnef$$

Coefficiente de segurança da capacidade suporte Mudmat : .....  $CS_{suporte} := \frac{Q_{sup\_dren}}{P}$

$$CS_{suporte} = 2.049$$

Conclusão: Coeficiente de segurança maior que 2, garantindo o suporte da fundação de acordo com a Norma API RP-2A, seção 6.13.4.

## Carga de Sucção do Corpo

Máxima resistência vertical à tração:.....  $R := Q_{sup\_dren}$

$$R = 25.2 \cdot kN$$

$$R = 2.57 \cdot tonnef$$

## Máxima Resistência ao Deslizamento

$$c_{deslizamento} := c_{suporte}$$

$$Q_{deslizamento} := Q_{sup\_dren}$$

$$\phi_{deslizamento} := \phi_{suporte}$$

Máxima resistência ao deslizamento:

$$H := c_{deslizamento} \cdot \kappa \cdot (L_{Mudmat} \cdot B_{Mudmat}) + Q_{deslizamento} \cdot \tan(\phi_{deslizamento})$$

$$H = 9.17 \cdot kN$$

$$H = 0.94 \cdot tonnef$$

Coefficiente de segurança de deslizamento da fundação:.....  $CS_{deslizamento} := \frac{H}{F_{h\_Skid}}$

$$CS_{deslizamento} = 3.06$$

Conclusão: Coeficiente de segurança maior que 1,5, garantindo a resistência ao deslizamento da fundação de acordo com a Norma API RP-2A, seção 6.13.4.

## **APÊNDICE C – Olhal Padrão API 17D**

# APÊNDICE C

## Olhais de acordo com API 17D

Skid para Instalação dos Jumpers Elétricos do Manifold

### *Legenda*

- Entradas:..... XXX
- Fórmulas:..... XXX
- Resultados:..... XXX

## Dados de Entrada:

Carga de içamento:.....  $P := 38.49\text{kN}$

Nota: Carga de içamento considerada a carga de sucção (Anexo B) mais o peso total da estrutura com jumpers

Número de olhais:.....  $n := 4$

Ângulo da eslinga com a vertical:.....  $\alpha := 30^\circ$

Fator de amplificação dinâmica de carga:.....  $k_{LAF} := 2$

Nota: Para içamentos submarinos

Distância diagonal entre olhais - medido pela vista superior :.....  $L_{\text{diag.olhais}} := 2519.79\text{mm}$

## Força Resultante em cada Olhal:

Força Resultante em cada olhal ( $F_p$ ):..... 
$$F_p := \frac{3 \cdot P}{(n - 1) \cdot \cos(\alpha)} \cdot k_{LAF}$$

$$F_p = 88888.8 \text{ N}$$

$$F_p = 9064.1 \cdot \text{kgf}$$

## Propriedades do Material:

Material: Aço ASTM AH131 - grau AH-36

Tensão limite de escoamento do Material do Olhal:.....  $S_y := 355\text{MPa}$

Módulo de Elasticidade do Material do Olhal:.....  $E := 205\text{GPa}$

Material: Aço AISI 8630

Tensão limite de escoamento do Material do Reforço:.....  $S_{y\_reforço} := 517\text{MPa}$

Módulo de Elasticidade do Material do Olhal:.....  $E_{\text{reforço}} := 205\text{GPa}$

## Seleção da Manilha:

Nota: Máximo WLL solicitado de acordo com DNV Standard 2.7-1, seção 8.3, item 1, Tabela 8-1.

Máximo WLL solicitado de acordo (WLL):..... **WLL := 7tonnef**

Nota: Máxima Carga de Trabalho da Manilha de acordo com DNV Standard 2.7-1, seção 8.3, item 1, Tabela 8-2.

Máxima Carga de Trabalho da Manilha (MWL):.....  $MWL := \frac{WLL}{3 \cdot \cos(30^\circ)}$

$$MWL = 26.4 \cdot \text{kN}$$

$$MWL = 2.694 \cdot \text{tonnef}$$

Carga Mínima de Ruptura da Manilha (MBF):.....  $MBF := 5 \cdot MWL$

$$MBF = 132.1 \cdot \text{kN}$$

$$MBF = 13.5 \cdot \text{tonnef}$$

Nota: Foi considerado o valor mínimo para o ângulo da içamento para o cálculo da manilha.

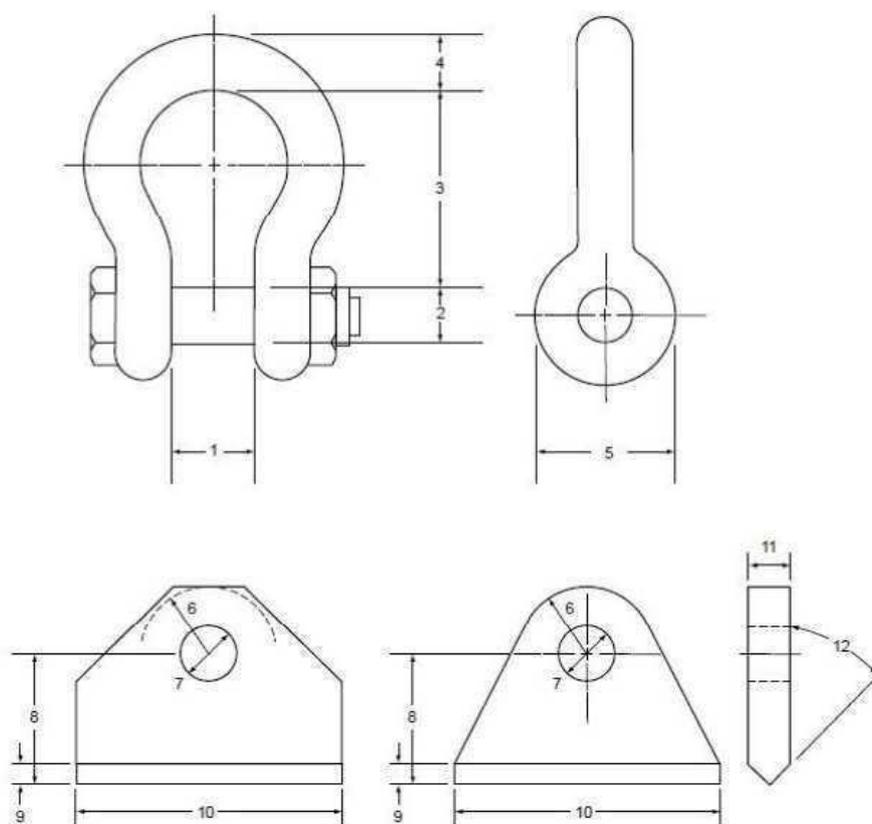
## Dimensões da Manilha:

Referência da Manilha: Manilha Gunnebo Green Pin Standard G-4163

Carga Máxima de Trabalho:..... **CMT := 3.25tonnef**

Diâmetro do Pino da Manilha:..... **B := 19mm**

Largura interna da Manilha:..... **A := 27mm**

**Key**

1	<i>A</i>	shackle jaw width	7	$D_h$	hole diameter
2	<i>B</i>	shackle bolt diameter	8	<i>H</i>	height from base to centre of pad eye hole
3	<i>C</i>	shackle inside length	9	<i>h</i>	pad eye weld thickness, equal to $\#h$ for full penetration welds
4	<i>N</i>	shackle loop thickness	10	<i>L</i>	pad eye length
5	<i>F</i>	shackle flange width	11	<i>t</i>	pad eye thickness
6	<i>R</i>	minimum distance from centre of bolt hole to pad eye edge	12	$\beta$	bevel angle for weld preparation

NOTE For a pad eye thickness larger than 50,8 cm (2,0 in), see ISO 10423 for recommended weld geometries.

**Figure K.1 — Shackle and Pad eye profiles and dimensions (not to scale)**

Nota: Imagem retirada do Anexo K da API - 17D, página 212

- 1 - A - Largura Interna da Manilha
- 2 - B - Diâmetro do Pino da Manilha
- 3 - C - Comprimento Interno da Manilha
- 4 - N - Espessura do "loop" da Manilha
- 5 - F - Largura do Flange da Manilha
- 6 - R - Mínima distância entre o furo do olhal até a extremidade do mesmo.
- 7-  $D_h$  - Diâmetro do furo
- 8 - H - Altura da base até o centro do furo do Olhal
- 9 - h - Espessura da solda do olhal
- 10-L - Comprimento do Olhal
- 11-t - Espessura do Olhal
- 12-  $\beta$  - Ângulo de chanfro para preparação da solda

## Dimensões Limite do Olhal:

Nota: Dimensões de acordo com API 17D, anexo K, seção 2.3

Diâmetro mínimo do furo do Olhal ( $D_{H\_min}$ ):.....  $D_{H\_min} := B$

$$D_{H\_min} = 19 \cdot \text{mm}$$

$$D_{H\_min} = 0.748 \cdot \text{in}$$

Diâmetro máximo do furo do Olhal ( $D_{H\_max}$ ):.....  $D_{H\_max} := 1.06 \cdot B$

$$D_{H\_max} = 20.1 \cdot \text{mm}$$

$$D_{H\_max} = 0.793 \cdot \text{in}$$

Diâmetro nominal do furo do Olhal ( $D_H$ ):.....  $D_H := 0.75 \text{in}$

Espessura mínima do Olhal ( $t_{min}$ ):.....  $t_{min} := 0.75 \cdot A$

$$t_{min} = 20.3 \cdot \text{mm}$$

$$t_{min} = 0.797 \cdot \text{in}$$

Espessura máxima do Olhal ( $t_{max}$ ):.....  $t_{max} := 0.9 \cdot A$

$$t_{max} = 24.3 \cdot \text{mm}$$

$$t_{max} = 0.957 \cdot \text{in}$$

Espessura nominal do Olhal ( $t$ ):.....  $t := 0.875 \text{in}$

Nota: Espessuras menores para a chapa do olhal podem ser usadas, se adicionadas "cheek plates". Estas devem fornecer a espessura demandada para o furo do olhal.

Raio mínimo do Olhal ( $R_{min}$ ):.....  $R_{min} := 1.75 \cdot D_H$

$$R_{min} = 33.3 \cdot \text{mm}$$

$$R_{min} = 1.312 \cdot \text{in}$$

Raio máximo do Olhal ( $R_{max}$ ):.....  $R_{max} := 2 \cdot D_H$

$$R_{max} = 38.1 \cdot \text{mm}$$

$$R_{max} = 1.5 \cdot \text{in}$$

Raio nominal do Olhal ( $R$ ):.....  $R := 35 \text{mm}$

Nota: O diâmetro do furo do olhal foi aproximado, conservadoramente, pelo diâmetro máximo. O Raio do olhal pode ser maior que o máximo se necessário para diminuir as tensões no olhal e se este não interferir no movimento da Manilha.

Altura nominal do filete de solda (h):.....  $h := \frac{t}{2}$

$$h = 11.112 \cdot \text{mm}$$

Nota: A folga é selecionada de acordo com a norma API 17D, anexo K, seção 3.1.

C = 12.7mm para  $F_p < 57827 \text{ N}$

C = 25.4mm para  $F_p > 57827 \text{ N}$

Para solda de penetração total  $h = t/2$ .

Folga para altura do olhal:..... C := 12.7mm

Distância aproximada entre a base do olhal e o centro do furo ( $H_{\text{aprox}}$ ):

$$H_{\text{aprox}} := \left( \frac{F_p \cdot \text{mm}}{2 \cdot \text{tonnef}} + h \right) + C$$

$$H_{\text{aprox}} = 28.3 \cdot \text{mm}$$

$$H_{\text{aprox}} = 1.116 \cdot \text{in}$$

Distância nominal entre a base do olhal e o centro do furo (H):..... H := 30mm

Comprimento aproximado do Olhal ( $L_{\text{aprox}}$ ):.....  $L_{\text{aprox}} := 2 \cdot \left[ \frac{R}{\cos(30^\circ)} + (H - h) \cdot \tan(30^\circ) \right]$

$$L_{\text{aprox}} = 102.6 \cdot \text{mm}$$

$$L_{\text{aprox}} = 4.041 \cdot \text{in}$$

Comprimento nominal do Olhal ( $L_{\text{aprox}}$ ):..... L := 100mm

### Carga Segura de Trabalho do Olhal ( $F_{\text{SWL}}$ ):

Nota: Carga segura de trabalho de acordo com norma API 17D, anexo K, seção 3.3.2.

$$F_{\text{SWL}} := \frac{P}{n}$$

$$F_{\text{SWL}} = 9.6 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{SWL}} = 1 \cdot \text{tonnef}$$

### Tensão de Arrancamento do Olhal do Olhal ( $S_{TO}$ ):

Nota: Tensão de arrancamento do Olhal de acordo com norma API 17D, anexo K, seção 3.3.3.2.

$$S_{TO} := \frac{3 \cdot F_p}{2 \cdot R \cdot t - D_H \cdot t}$$

$$S_{TO} = 235.5 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{TO} = 34.2 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização de Arrancamento do Olhal ( $UF_{TO}$ ).....  $UF_{TO} := \frac{S_{TO}}{S_y}$

$$UF_{TO} = 66.337\%$$

### Tensão Cisalhante na solda da Base ( $S_S$ ):

Nota: Tensão cisalhante devido à componente horizontal da força na base de acordo com norma API 17D, anexo K, seção 3.3.3.3.

Área resistente ao cisalhamento da solda da base:.....  $A_w := 2 \cdot 0.707 \cdot h \cdot (L + t)$

Tensão cisalhante na solda da base:.....  $S_S := \frac{F_p \cdot \sin(\alpha)}{A_w}$

$$S_S = 23.1 \cdot \text{MPa}$$

$$S_S = 3.4 \cdot \text{ksi}$$

Tensão cisalhante admissível na solda ( $S_{S\_adm}$ ):.....  $S_{S\_adm} := \frac{S_y}{1.4425}$

$$S_{S\_adm} = 246.1 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{S\_adm} = 35.7 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização de cisalhamento da solda da base ( $FU_S$ ).....  $FU_S := \frac{S_S}{S_{S\_adm}}$

$$FU_S = 9.403\%$$

## Tensão Trativa na solda da Base ( $S_T$ ):

Nota: Tensão trativa na solda da base de acordo com norma API 17D, anexo K, seção 3.3.3.4.

Tensão trativa na solda da base:.....

$$S_T := \frac{F_p \cdot \cos(\alpha)}{A_w}$$

$$S_T = 40.1 \cdot \text{MPa}$$

$$S_T = 5.8 \cdot \text{ksi}$$

Tensão trativa admissível na solda ( $S_{T\_adm}$ ):.....

$$S_{T\_adm} := 0.6 \cdot S_y$$

$$S_{T\_adm} = 213 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{T\_adm} = 30.9 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização de tração da solda da base( $FU_T$ ):.....

$$FU_T := \frac{S_T}{S_{T\_adm}}$$

$$FU_T = 18.818\%$$

## Tensão de Flexão na Solda da Base ( $S_B$ ):

Nota: Tensão de flexão na solda de acordo com norma API 17D, anexo K, seção 3.3.3.5.

Momento na solda da base( $M$ ):.....

$$M := F_p \cdot \sin(\alpha) \cdot H$$

$$M = 1.3 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M = 983.4 \cdot \text{lbf} \cdot \text{ft}$$

Altura máxima da seção resistente ao momento na solda da base( $y$ ):.....

$$y := \frac{(L + 2 \cdot h)}{2}$$

$$y = 61.1 \cdot \text{mm}$$

$$y = 2.4 \cdot \text{in}$$

Momento de Inércia sa seção resistente ao momento na solda da base( $I_w$ ):

$$I_w := 0.707 \cdot h \cdot \frac{L^2 \cdot (3 \cdot t + L)}{6}$$

$$I_w = 2182480.6 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_w = 5.2 \cdot \text{in}^4$$

Tensão de flexão da solda da base( $S_B$ ):.....

$$S_B := \frac{M \cdot y}{I_w}$$

$$S_B = 37.3 \cdot \text{MPa}$$

$$S_B = 5.4 \cdot \text{ksi}$$

Tensão de flexão admissível na solda da base ( $S_{T\_adm}$ ):.....  $S_{B\_adm} := \frac{S_y}{1.52}$

$$S_{B\_adm} = 233.6 \cdot \text{MPa} \quad S_{B\_adm} = 33.9 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização de flexão da solda da base( $FU_B$ ).....  $FU_B := \frac{S_B}{S_{B\_adm}}$

$$FU_B = 15.986\%$$

### Teoria da Máxima Tensão de Cisalhamento ( $S_D$ ):

Tensão equivalente pela teoria da máxima tensão de cisalhamento( $\tau_{m\acute{a}x}$ ):

$$\tau_{m\acute{a}x} := \left[ \left( \frac{S_B + S_T}{2} \right)^2 + S_S^2 \right]^{0.5}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 45.1 \cdot \text{MPa} \quad \tau_{m\acute{a}x} = 6.5 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização pela teoria da máxima tensão de cisalhamento( $FU_{\tau\_max}$ ):

$$FU_{\tau\_max} := \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{S_{S\_adm}}$$

$$FU_{\tau\_max} = 0.183$$

### Tensão de Contato no Olhal ( $\sigma_{c\_padeye}$ ):

Nota: Tensão de contato de acordo com DNV 2.7-1, Apêndice D. Essa tensão não é considerada na API 17D, contudo seu cálculo é relevante à integridade do Olhal.

Tensão de contato no Olhal( $\sigma_{c\_padeye}$ ):.....  $\sigma_{c\_padeye} := 23.7 \cdot \sqrt{\left( \frac{F_p}{D_H \cdot t} \right) \cdot \text{MPa}}$

$$\sigma_{c\_padeye} = 343.4 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{c\_padeye} = 49.8 \cdot \text{ksi}$$

Fator de Utilização de contto no olhal( $FU_{c\_padeye}$ ):.....  $FU_{c\_padeye} := \frac{\sigma_{c\_padeye}}{S_{y\_reforço}}$

$$FU_{c\_padeye} = 66.422\%$$

## Seleção da Eslinga:

Nota: Máximo WLL solicitado de acordo com DNV Standard 2.7-1, seção 8.3, item 1, Tabela 8-1.

Carga mínima necessária para a eslinga:.....  $CT_{\text{eslinga\_min}} := WLL$

$$CT_{\text{eslinga\_min}} = 7 \cdot \text{tonnef}$$

Comprimento de cabo mínimo da eslinga:.....  $L_{\text{min}} := \frac{\left( \frac{L_{\text{diag.olhais}}}{2} \right)}{\sin(\alpha)}$

$$L_{\text{min}} = 2.5 \text{ m}$$

## Dimensões da Eslinga:

Referência da Eslinga: Cabo de aço com alma de fibra, categoria 1770 - Fornecedor ATLAM OFFSHORE

Carga Máxima de Trabalho:.....  $CMT_{\text{eslinga}} := 10.7 \text{ tonnef}$

Comprimento da eslinga:.....  $L_{\text{eslinga}} := 3.2 \text{ m}$

## Seleção do Anel de Carga(Master Link) :

Carga mínima necessária para o anel de carga:.....  $CT_{\text{anel.carga}} := WLL$

$$CT_{\text{anel.carga}} = 7 \cdot \text{tonnef}$$

Altura do Anel de carga:.....  $h_{\text{anel.carga}} := L_{\text{eslinga}} \cdot \cos(\alpha)$

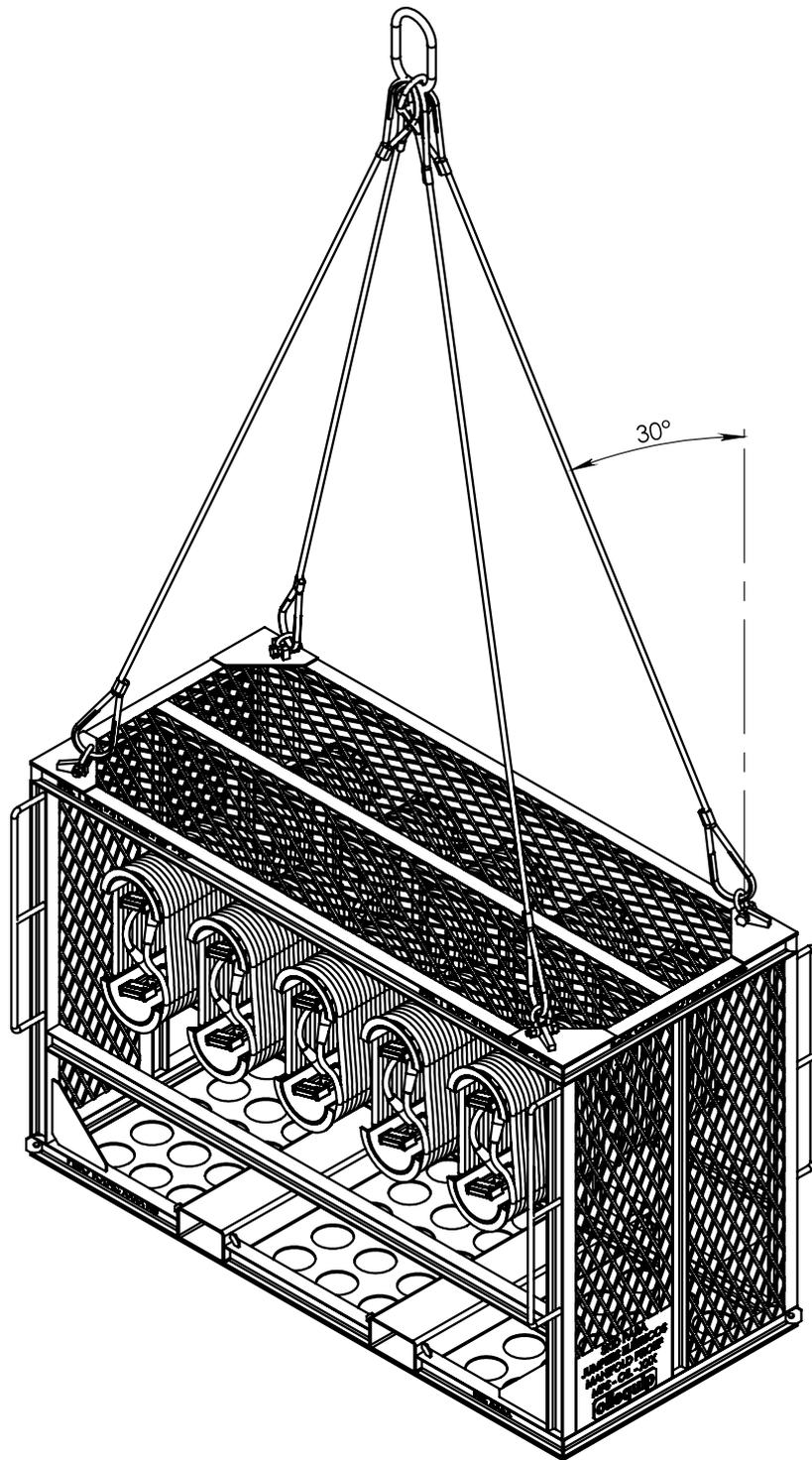
$$h_{\text{anel.carga}} = 2.771 \cdot \text{m}$$

## Dimensões do Anel de Carga:

Referência do Anel de Carga: Anel de Carga código 26QA - Fornecedor ATLAM OFFSHORE

Carga Máxima de Trabalho:.....  $CMT_{\text{anel.carga}} := 8.8 \text{ tonnef}$

**ANEXO A – Desenhos Técnicos**

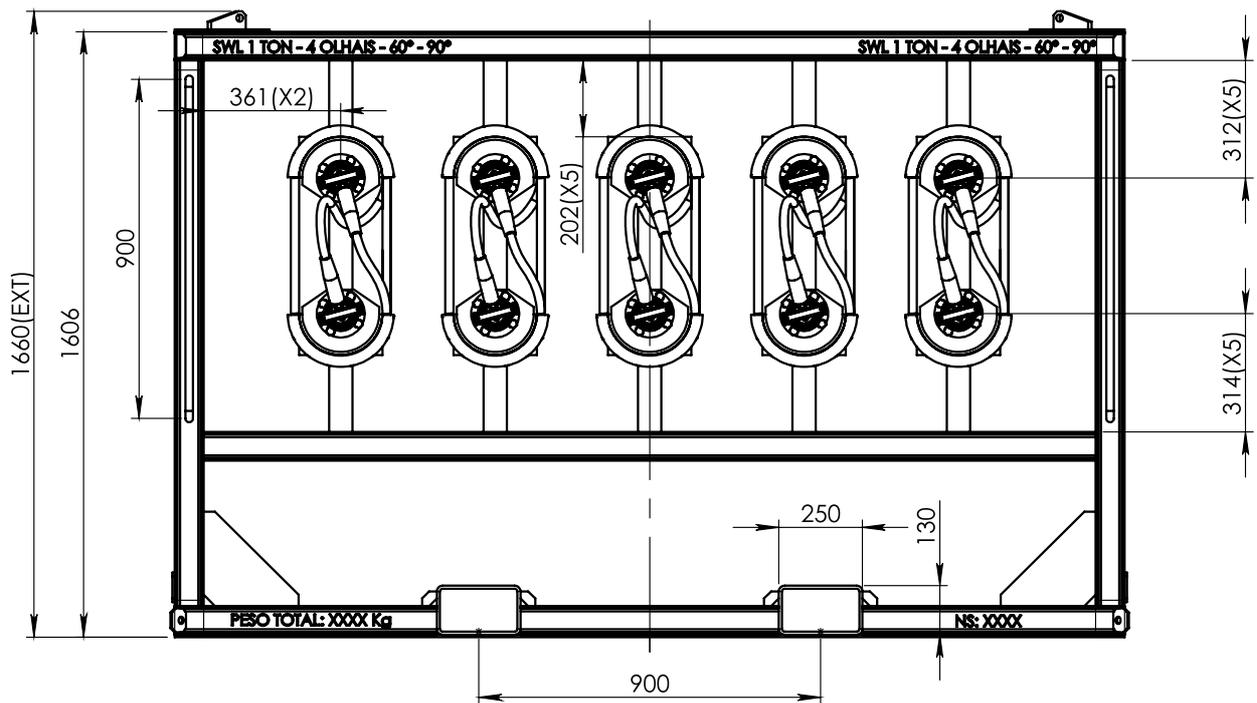
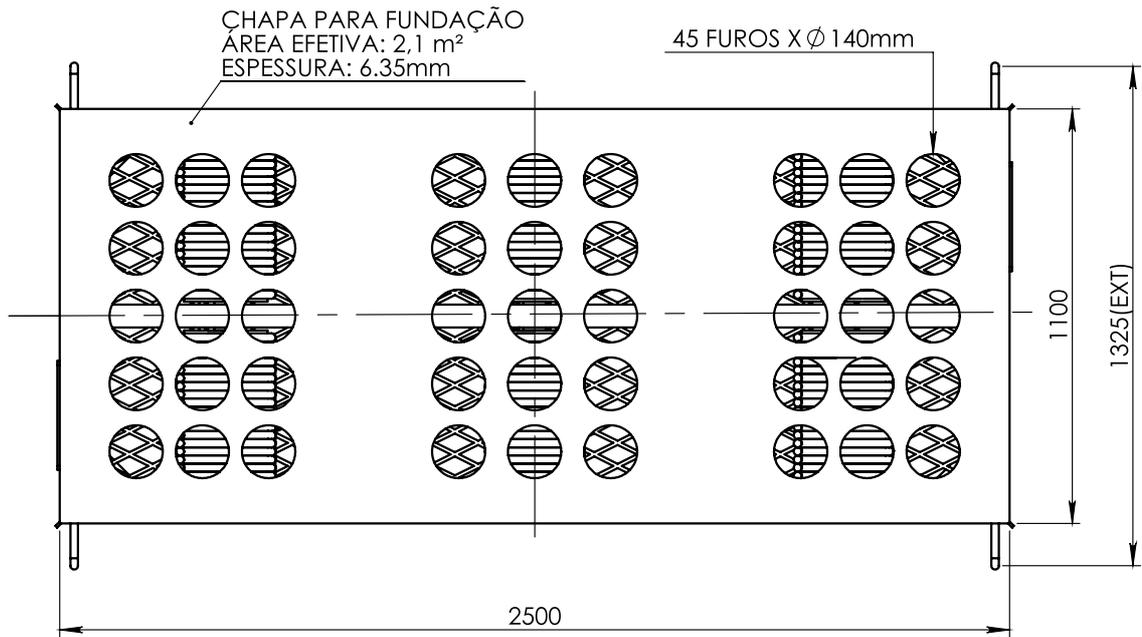


**NOTAS:**

1 - POR CONFIDENCIALIDADE, NESTE APÊNDICE SERÁ APENAS REPRESENTADO OS DESENHOS DE CONJUNTO E COTAS GERAIS, ASSIM COMO É FEITO PARA O CLIENTE (PETROBRAS).

2 - O DETALHAMENTO DOS COMPONENTES ESTÁ NO CORPO DO PROJETO FINAL.

ALUNO				 <b>CEFET/RJ</b>	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº 129
PROF							
DATA	VISTO						
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº			
1:25	DESENHO DE CONJUNTO - VISTA FRONTAL E VISTA INFERIOR	NUMERO DO DESENHO	1				



ALUNO

PROF

DATA

VISTO

ESC.

TÍTULO

1:20

DESENHO DE CONJUNTO - VISTA FRONTAL E VISTA INFERIOR



**CEFET/RJ**

TURMA

NÚMERO

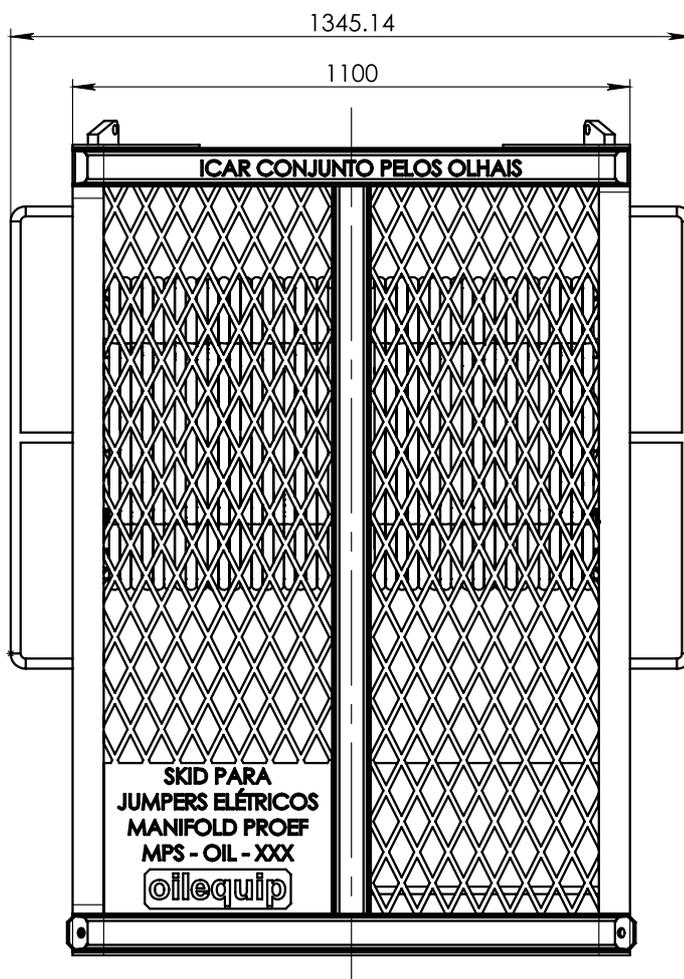
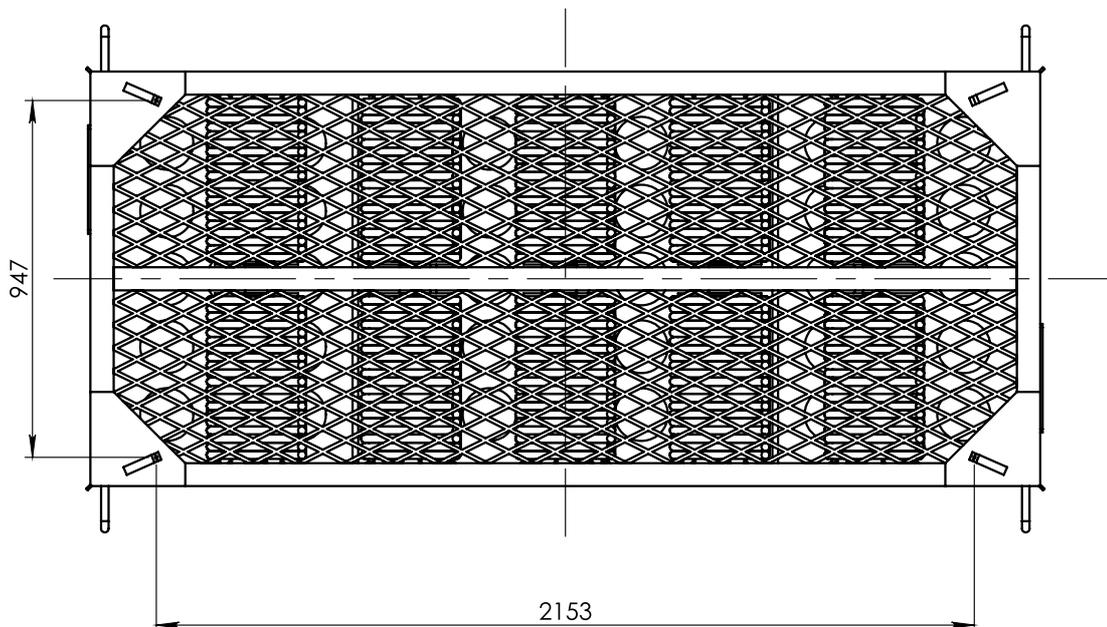
FOLHA Nº

130

NUMERO DO DESENHO

2





1:15

ALUNO			
PROF			
DATA		VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:20	DESENHO DE CONJUNTO - VISTA SUPERIOR E LATERAL		

**CEFET/RJ**

TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
		131
NUMERO DO DESENHO		
3		



ITEM	DESCRIÇÃO	MATERIAL	SEÇÃO NO PROJETO FINAL	UNIDADE
1	Anel de Carga	-	[4.10]	1
2	Eslingas de Içamento	-	[4.9]	4
3	Manilhas	-	[4.8]	4
4	Olhal de Içamento	ASTM AH131	[3.2.2.2]	4
5	Reforço #1	ASTM A36	[4.2]	4
6	Barra de Docagem	ASTM A36	[4.4]	4
7	Chapa de interface tubo/estrutura	ASTM A36	[4.2]	20
8	Chapa para batente do Jumper	ASTM A36	[4.2]	20
9	Jumper Elétrico (30 metros)	-	[4.5]	1
10	Parafusos do Parking do conector	AISI 316L	[4.5]	80
11	Parking do Conector	-	[4.5]	20
12	Reforço #2	ASTM A36	[4.2]	4
13	Olhal de Amarração	ASTM AH131	[3.2.2.3]	4
14	Reforço #3	ASTM A36	[4.2]	8
15	Chapa de Fundação	ASTM A36	[4.2]	1
16	Viga I	ASTM A36	[4.1]	27
17	"Bolsão" para Empilhadeira	ASTM A36	[4.3]	2
18	Tubo de Suporte (Jumpers)	ASTM A-53	[4.6]	20
19	Reforço #4	ASTM A36	[4.2]	8
20	Telas de Proteção	-	[4.7]	6
21	Chapa de Identificação	-	-	2

ALUNO	
PROF	
DATA	VISTO



ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
	DESENHO DE CONJUNTO - LISTA DE COMPONENTES			133
		NUMERO DO DESENHO		
		5		

**ANEXO B – Catálogo**

Teledyne ODI is a world leader in subsea electrical and fiber optic interconnect systems for offshore oil and gas, defense, oceanographic, and telecommunication applications.



## SPECIFICATIONS

HOSE TO BE GENERALLY IN ACCORDANCE WITH SAE J517, TYPE 100R6

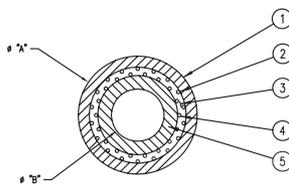
FEATURE	-6 RATING	-8 RATING	-12 RATING
Min Bend Radius:	3" (76.2)	4" (101.6)	5" (127)
Axial Load:			
Max Working:	300 LB (1334 N)	400 LB (1779 N)	600 LB (2669 N)
Min Failure:	450 LB (2002 N)	600 LB (2669 N)	1150 LB (5115 N)
Max Axial Stretch:	2% @ 300 LB (1334 N)	2% @ 400 LB (1779 N)	2% @ 600 LB (2669 N)
Pressure Rating:			
Max Working:	225 PSI (15.51 BAR)	225 PSI (15.51 BAR)	225 PSI (15.51 BAR)
Proof Test:	450 PSI (31.03 BAR)	450 PSI (31.03 BAR)	450 PSI (31.03 BAR)
Min Burst:	900 PSI (62.05 BAR)	900 PSI (62.05 BAR)	900 PSI (62.05 BAR)
Min Radial Expansion:	15% @ 150 PSI (10.34 BAR)	15% @ 150 PSI (10.34 BAR)	15% @ 150 PSI (10.34 BAR)
Length Change Under Pressure:	+0/-1% @ 150 PSI (10.34 BAR)	+0/-1% @ 150 PSI (10.34 BAR)	+0/-1% @ 150 PSI (10.34 BAR)
Fluid Compatibility:	Seawater & Silicone Oil	Seawater & Silicone Oil	Seawater & Silicone Oil
Temperature Rating:			
Lower Limit:	-4°F (-20°C)	-4°F (-20°C)	-4°F (-20°C)
Upper Limit:	122°F (+50°C)	122°F (+50°C)	-122°F (+50°C)
Hose, Oil Filled Weight/Ft*:			
In Air:	0.2-0.3 LB/FT (2.92-4.38 N/M)	0.3-0.4 LB/FT (4.38-5.84 N/M)	0.5-0.7 LB/FT (7.30-10.2 N/M)
In Seawater:	0.05-0.07 LB/FT (0.73-1.02 N/M)	0.05-0.1 LB/FT (0.73-1.46 N/M)	0.1-0.2 LB/FT (1.46-2.92 N/M)

\* Dependent on number of conductors and wire gauge

THE HOSE IS TO BE MARKED AS SHOWN ALONG ITS LENGTH AT APPROX 12" (304.8) INTERVALS.  
DIMENSIONS IN ( ) ARE IN MILLIMETERS AND ARE FOR REFERENCE ONLY, UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

SPECIFICATIONS		
<b>ODHOSE-12</b>	Ø1.150 (29.21)	Ø0.625 (15.88)
<b>ODHOSE-8</b>	Ø0.850 (21.59)	Ø0.410 (10.41)
<b>ODHOSE-6</b>	Ø0.700 (17.78)	Ø0.310 (7.87)
<b>REF. #</b>	ØA	ØB

MATERIAL/LAY-UP	
Item	Description
1	Outer Jacket/Cover
2	Radial Reinforcement
3	Insulation
4	Axial Reinforcement
5	Inner Liner/Tube



### CONTACT:

Teledyne ODI (Daytona Beach)  
odi@teledyne.com  
tel: +1 386 236 0780  
+1 888 506 2326  
fax: +1 386 236 0906

1026 North Williamson Boulevard, Daytona Beach, FL 32114  
tel +1 386 236 0780 • 888 506 2326 • fax +1 386 236 0906

©Teledyne Oil & Gas 2014  
Teledyne proprietary. For reference only. All rights reserved.



**TELEDYNE ODI**

www.teledyneoilandgas.com  
odi@teledyne.com

IFS D/N 80358 REV. G