



**UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E**

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

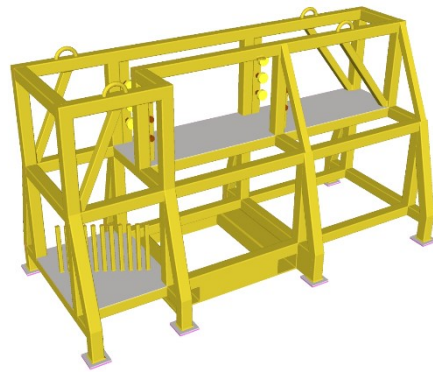
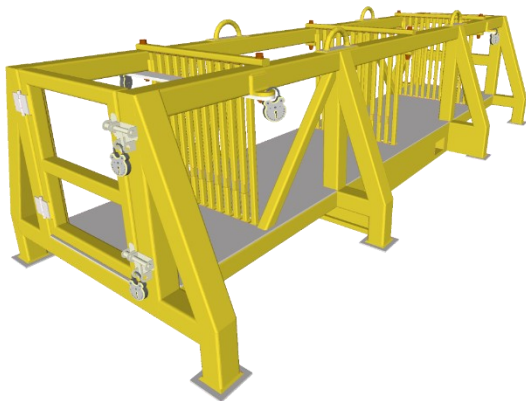
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

5º NIVEL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

TEMA:

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA O
TRANSPORTE DE CHAPAS DA EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE
ALUMÍNIO MOZAL**



Discente:

ZUNGUENE, Sérgio Jaime

Supervisor:

Engº Roberto David

Maputo, 2022



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

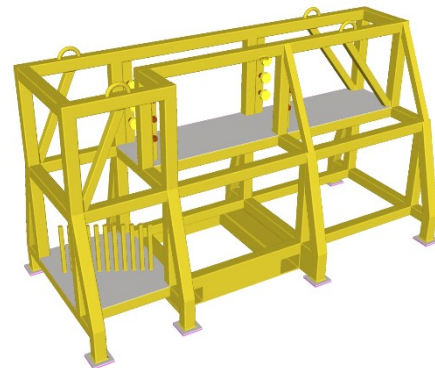
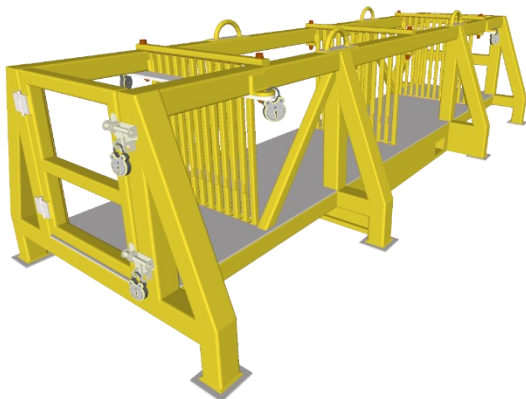
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

5º NIVEL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

TEMA:

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA O
TRANSPORTE DE CHAPAS DA EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE
ALUMÍNIO MOZAL**



Discente:

ZUNGUENE, Sérgio Jaime

Supervisor:

Engº Roberto David

Maputo, 2022

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA O TRANSPORTE DE CHAPAS DA EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO MOZAL

Relatório de estágio aprovado em _____ de _____ de 2022 como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, pelo professor

Eng^o Roberto David
(Supervisor da UEM)

Salatiel J. dos Santos
(Director Geral-Salaty Service)

Maputo, 2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial durante toda carreira académica assim como na vida social.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela educação, princípios, valores e exemplo transmitidos ao longo da minha vida.

A todos meus irmãos, obrigado por estarem presentes em todas as etapas e à minha da minha caminhada, aos meus avós presentes e aos que já partiram, pelo carinho, amor e pela lição de vida.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e pelas experiências compartilhadas que tanto contribuíram para o meu crescimento como pessoa.

Aos professores do DEMA-FE-UEM, e nesta fase do meu percurso acadêmico em particular ao Engenheiro Roberto David, pela partilha de conhecimentos, pelo rigor e pela certeza de que poderia alcançar a meta que sempre sonhei.

RESUMO

O presente trabalho surgiu no âmbito do concurso interno das empresas que prestão serviços a Mozal onde procura-se elaborar e dimensionar estruturas metálicas para o transporte de chapas de alumínio (Rack Metálico Industrial) da empresa de fundição de alumínio Mozal, onde para realização desse objectivo eu através da empresa em que faço parte a Salaty Service realizei um estudo de caso de um projecto inteiramente em estrutura metálica de aço, pois o aço possui excelentes propriedades mecânicas tais como, boa resistência a tracção, compressão, e flexão.

Em relação à regulamentação adotada usar-se-á os Eurocódigos Estruturais, especialmente o Eurocódigo 3 para dimensionamento dos elementos metálicos, quantificação e combinação das ações.

E para determinação dos esforços e deformações da Estrutura foi realizada no *software* de elementos finitos “SAP2000” e *Cypecad (Metal 3D)*.

Palavras-chaves

Dimensionamento, rack metálico industrial, estrutura metálica, Eurocódigos Estruturais.

ABSTRACT

The present work arose within the scope of the internal tender of the companies that provide services to Mozal, which seeks to develop and dimension metallic structures for the transport of aluminum plates (Industrial Metal Rack) of the aluminum foundry company Mozal. where, in order to achieve this objective, I, through the company of which Salaty Service is part, carried out a case study of a project entirely in steel metallic structure, because steel has excellent mechanical properties such as good tensile strength, compression, and bending.

Regarding the regulations adopted, the Structural Eurocodes will be used, especially Eurocode 3 for the sizing of metallic elements, quantification and combination of actions.

And to determine the efforts and deformations of the Structure, it was performed in the finite element software “*SAP2000*” and *Cypecad (Metal 3D)*.

Keywords

Design, industrial metal rack, metal structure, Structural Eurocodes.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XII
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJECTIVOS.....	1
1.1.1 Objectivo geral.....	1
1.1.2 Objectivos específicos	1
1.2 METODOLOGIA USADA.....	2
1.3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	3
1.3.1 Conceitos da empresa	3
1.3.1.1 Missão	3
1.3.1.2 Visão.....	3
1.3.1.3 Valores	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
CAPÍTULO II.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Estruturas para transporte de carga – Racks Metálicos Indústrias	5
2.1.1 As vantagens e aplicações do rack para logística	5
2.1.2 Importância do rack no armazenamento	5
2.1.3 Principais tipos de racks usados pelas empresas.....	5
2.1.4 Materiais normalmente utilizados.....	7
2.1.5 Propriedades Mecânicas do Aço Estrutural	8
2.1.6 Valores de calculo das propriedades dos materiais.....	9
2.1.7 Produtos de aço estrutural	10
2.1.8 Tipos de Ligações entre elementos metálicos.....	10
CAPÍTULO III.....	11
3 BASES PARA DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA.....	11
3.1 Descrição da estrutura a projetar	11

3.2	Requisitos a cumprir.....	12
3.2.1	Regulamentação utilizada	12
3.2.2	Bases de cálculo	12
3.3	Acções de cálculo a considerar	13
3.3.1	Acções permanentes (G).....	13
3.3.2	Acções variáveis (Q).....	13
3.3.2.1	Sobrecarga.....	13
3.3.3	Acções de acidente (A).....	14
3.3.4	Acções Térmicas.....	14
3.4	Combinações de acções de cálculo	15
3.4.1	Estados Limites Últimos	15
3.4.1.1	Combinações	16
3.4.2	Estados Limites de Utilização.....	17
3.5	Critérios de dimensionamento.....	17
3.5.1	Características do aço utilizado	17
3.5.2	Fluxograma de dimensionamento das secções e elementos estruturais.....	18
3.5.3	Resistência dos elementos metálicos	18
3.5.3.1	Resistência à tracção	18
3.5.3.2	Resistência à compressão	19
3.5.3.3	Momento flector.....	20
3.5.3.4	Resistência ao esforço transversal.....	21
3.5.3.5	Resistência à torção	22
3.5.3.6	Resistência ao esforço transversal e momento torsor combinados.	22
3.5.3.7	Resistência à flexão composta.....	23
3.5.3.8	Resistência dos elementos à encurvadura	24
3.5.4	Deslocamentos estruturais (Para os Estados Limites de Utilização)	26
3.5.4.1	Deslocamento vertical	26
3.5.4.2	Deslocamentos Horizontais.....	27
3.5.5	Ligações Metálicas.....	27
3.5.5.1	Ligação Soldadas.....	28
3.5.5.1.1	Método direcional.....	28
3.5.5.1.2	Método simplificado para o cálculo da resistência de um cordão.....	29
3.5.6	Análise de Içamento por 4 Pontos	29
3.5.6.1	Elevação com conjunto.	30

3.5.7	Análise de Içamento por 2 Pontos	30
3.5.8	Análise de Elevação pela Bolsa de Empilhadeira.....	31
CAPÍTULO IV.....		32
4	PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA.....	32
4.1	Pré-Dimensionamento do modelo estrutural.....	32
4.1.1	Peso Próprio.....	32
4.1.2	Sobrecarga.....	33
4.1.3	Reacções de apoio da estrutura metálica.	33
4.1.3.1	Reacções nos nós, por acções.....	34
4.1.3.2	Reacções nos nós, por combinação	34
4.1.4	Cálculo dos esforços nas barras	35
4.1.5	Esforços nos tubos do quadro frontal.....	35
4.1.5.1	Esforço axial actuante e esforço axial de tracção para quadro frontal.	35
4.1.5.2	Esforço transverso actuante de cálculo desfavorável para quadro frontal.	36
4.1.5.3	Momento flector actuante de cálculo desfavorável.....	37
4.1.5.4	Diagrama da flecha $F_{xz}=F_{m\acute{a}x}$ para quadro frontal.....	37
4.1.5.5	Deformação do quadro frontal	38
4.1.5.6	Deformação global da estrutura metálica.....	38
4.1.6	Cálculo dos esforços devido ao içamento por 4 pontos.....	39
4.1.6.1	Reacções no gancho de içamento, por acções.....	39
4.1.6.2	Reacções no gancho de içamento, por combinação	39
4.1.6.3	Esforço transverso do quadro intermédio para içamento de 4 pontos.....	40
4.1.6.4	Momento Flector do quadro intermédio para içamento de 4 pontos.....	41
4.1.6.5	Flechas limites da estrutura para içamento de 4 pontos.....	41
4.1.7	Cálculo dos esforços devido ao içamento por 2 pontos.....	42
4.1.7.1	Esforço axial actuante do quadro intermédio para içamento de 2 pontos.....	43
4.1.7.2	Esforço transverso do quadro intermédio mais carregado para içamento de 2 pontos. 44	
4.1.7.3	Momento Flector do quadro intermédio para içamento de 2 pontos.....	44
4.2	Dimensionamento dos elementos metálicos	45
4.2.1	Verificações E.L.U. (Completa)	45
4.2.2	Dimensionamento de ligações soldadas.....	65
4.2.3	Segurança do projecto dimensionado	78
CAPÍTULO V.....		79
5	CONCLUSÃO.....	79

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICES.....	81
APÊNDICE A- Tabelas de medição.....	82
A1. Resumo de medição de tubos	83
A2. Medição de superfícies para tubos	84
A3. Tabela de medição da chapa.....	84
A4. Medição de superfícies na chapa.....	84
APÊNDICE B- Aproveitamento da resistência quando a estrutura esta apoiada.....	85
APÊNDICE C-Aproveitamento da resistência quando a estrutura e içada por dois pontos....	87
APÊNDICE D-Verificações E.L.U. (Resumido) para o caso de uma estrutura apoiada.....	89
APÊNDICE E-Verificações E.L.U. (Resumido) para o caso de içamento por dois pontos. ...	93
APÊNDICE F- Pormenores de ligações	97
ANEXOS	106
ANEXO A- Catálogo de perfis utilizados no dimensionamento	107
ANEXO B- Características do elo utilizado para o içamento da estrutura.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1- Logotipo da empresa.....	3
Figura 2-1- Rack metálico para armazenamento de haste de perfuração	6
Figura 2-2- Rack metálico para armazenamento e transporte de tubos de perfuração	7
Figura 2-3- Diagrama tensão modulo de tenacidade	8
Figura 2-4- Diagramas de tensão convencional e real para material dúctil aço	9
Figura 2-5- Variedade de formas de perfis metálicos.....	10
Figura 3-1- Chapas de alumínio a transportar.....	11
Figura 3-2- Dimensões de gabarito da estrutura metálica	11
Figura 3-3- Esbelteza normalizada	26
Figura 3-4- Deslocamentos verticais a considerar	26
Figura 3-5- Tensões no plano que define um cordão de angulo	28
Figura 3-6- Modelo de análise de içamento por 4 Pontos	29
Figura 3-7- Modelo de análise de içamento por 2 Pontos	30
Figura 3-8-Elevação com empilhadeira.	31
Figura 4-1-Carga de peso próprio	32
Figura 4-2- Sobrecarga	33
Figura 4-3- Número dos nós apoiados	33
Figura 4-4- Número dos nós das barras	35
Figura 4-5- Quadro frontal.....	35
Figura 4-6 - Diagrama de esforço axial e esforço axial de tracção do quadro frontal.....	36
Figura 4-7- Diagrama de esforço transverso do quadro frontal.....	36
Figura 4-8- Diagrama do momento flector do quadro frontal	37
Figura 4-9- Diagrama de flecha Fxz do quadro frontal	37
Figura 4-10- Deformação do quadro frontal.....	38
Figura 4-11 - Deformação global da estrutura metálica	38
Figura 4-12- Nós para içamento por 4 pontos	39
Figura 4-13-Diagrama de esforço transverso actuante do quadro intermédio.....	40
Figura 4-14- Diagrama de esforço transverso actuante do quadro intermedio.....	40
Figura 4-15-Momento flector actuante para quadro intermédio içamento de 4 pontos.....	41
Figura 4-16- Flecha Fxy para quadro cima.....	41
Figura 4-17- Flecha maxima no quadro intermedio	42
Figura 4-18- Deformação global da estrutura içada por 4 pontos	42
Figura 4-19-Diagrama de esforço axial do quadro frontal para içamento de 2 pontos.....	43

Figura 4-20-Diagrama de esforço axial do quadro lateral direito içamento de 2 pontos.....	43
Figura 4-21-Diagrama de esforço transverso do quadro intermédio içamento de 2 pontos	44
Figura 4-22-Diagrama do momento flector do quadro intermédio içamento de 2 pontos.....	44
Figura 4-23-Deformação global da estrutura içada por 2 pontos	45
Figura 4-24- Numeração dos nos verificados quanto a resistência.....	65
Figura 4-25-Ligação tipo 1 nó 11	65
Figura 4-26-Estresse equivalente tipo 1 nó 11	67
Figura 4-27-Ligação tipo 2 nó 12	67
Figura 4-28-Estresse equivalente tipo 2 nó 12.....	68
Figura 4-29-Ligação tipo 3 nó 29	69
Figura 4-30-Estresse equivalente tipo 3 nó 29.....	70
Figura 4-31-Ligação tipo 4 nó 25	71
Figura 4-32-Estresse equivalente tipo 4 nó 25.....	73
Figura 4-33-Estresse equivalente tipo 4 nó 25.....	74
Figura 4-34-Ligação tipo 5 nó 37	74
Figura 4-35- Tensão equivalente tipo 5 nó 25	75
Figura 4-36- Ligação tipo 6 nó 31	76
Figura 4-37- Tensão equivalente tipo 6 nó 31	76
Figura 4-38- Deformação da ligação tipo 6 nó 31	77
Figura 4-39 Ligação tipo 7 nó 32.....	77
Figura 4-40- Tensão equivalente tipo 7 nó 32	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Matérias estruturais e valores nominais de tensão de cedência e de tensão última a tracção para secções tubulares	7
Tabela 3.1- Valores de calculo das acções.....	16
Tabela 3.2- Combinações.....	16
Tabela 3.3-Coefficientes Parciais de Segurança para o material	16
Tabela 3.4- Características do Aço utilizado	17
Tabela 3.5- Fluxograma do Dimensionamento dos Elementos Metálicos	18
Tabela 3.6- Factores de imperfeição para curva de encurvadura.....	25
Tabela 3.7- Valores recomendados para os Limites dos Deslocamentos Verticais.....	27
Tabela 3.8- Coefficientes Parciais de Segurança para ligações	27
Tabela 3.9- Factor de correlação β_w Para soldaduras de ângulo.....	28
Tabela 3.10-Especificações da Bolsa de Empilhadeira	31
Tabela 4.1- Reacções nos nós, por acções	34
Tabela 4.2- Resumo de reacções nos nós, por combinação	34
Tabela 4.3 -Reacções no nó, por acções	39
Tabela 4.4-Reacções no nó, por combinação.....	39
Tabela 4.5- Características mecânicas do tubo N7/N8	45
Tabela 4.6- Características mecânicas do tubo N17/N39	54
Tabela 4.7- Características mecânicas do tubo N16/N19	63
Tabela 4.8-Secções transversais tipo 1 nó 11	65
Tabela 4.9-Redistribuição de tensão tipo 1 nó 11	66
Tabela 4.10-Secções transversais tipo 2 nó 12	68
Tabela 4.11-Redistribuição de tensão tipo 2 nó 12.....	68
Tabela 4.12-Secções transversais tipo 3 nó 29	69
Tabela 4.13-Redistribuição de tensão tipo 3 nó 29	69
Tabela 4.14-Secções transversais tipo 4 nó 25	71
Tabela 4.15-Redistribuição de tensão tipo 4 nó 25	71
Tabela 4.16-Secções transversais tipo 5 nó 37	74
Tabela 4.17-Redistribuição de tensão tipo 5 nó 37.....	75
Tabela 4.18-Secções transversais tipo 6 nó 31	76
Tabela 4.19-Secções transversais tipo 7 nó 32	78

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

<i>EC</i>	Eurocódigo/Eurocódigos
<i>EC3</i>	Eurocódigo 3
<i>EC3-1-1</i>	Eurocódigo 3 - Parte 1-1
<i>EC3-1-8</i>	Eurocódigo 3 - Parte 1-8
<i>EN</i>	Norma Europeia
<i>NP</i>	Norma Portuguesa

Lista de Símbolos

G_k	Acção permanente
P_k	Acção de pré-esforço
Q_k	Acção variável
$Q_{k,1}$	Valor característico da acção variável de base
$Q_{k,i}$	Valor característico da acção variável acompanhante <i>i</i>
γ_G	Coefficiente parcial de segurança das acções permanentes
γ_P	Coefficiente parcial de segurança da acção de pré-esforço
γ_{Q1}	Coefficiente parcial de segurança da acção variável principal
γ_{Qi}	Coefficiente parcial de segurança das acções variáveis de acompanhamento
E_d	Valor de cálculo do efeito das acções
R_d	Valor de cálculo da resistência corresponde
C_d	valor de cálculo correspondente ao valor limite de utilização
$N_{t,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial resistente de tração
$N_{t,Ed}$	Valor de esforço axial de tracção actuante de cálculo desfavorável.
$M_{y,Ed}$	Momento flector de cálculo desfavorável, segundo os eixos <i>Y</i>
$M_{z,Ed}$	Momento flector de cálculo desfavorável, segundo os eixos <i>Z</i>
$N_{t,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial de tração resistente
N_{Ed}	Valor de cálculo do esforço axial atuante
$N_{pl,Rd}$	Resistência à tracção plástica da secção bruta
N_{Rd}	Valor de cálculo do esforço axial resistente
$V_{c,Rd}$	O esforço transversal resistente de cálculo
V_{Ed}	Esforço transversal actuante de cálculo desfavorável

$M_{ply,Rd}$	Resistência à flexão da secção bruta em condições plásticas em Y
$M_{plz,Rd}$	Resistência à flexão da secção bruta em condições plásticas em Z
$V_{pl,Rd}$	Esforço transversal resistente de cálculo.
$V_{pl,T,Rd}$	Esforço transversal resistente de cálculo reduzido.
$W_{pl,z}$	Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão
Ψ_{p1}	Coefficiente de combinação da acção variável principal
Ψ_{ai}	Coefficiente de combinação das acções variáveis de acompanhamento
γ	Peso específico
$\alpha \cdot t$	Coefficiente de dilatação
A	Área bruta da secção transversal
E	Módulo de elasticidade
ν	Módulo de poisson
G	Módulo de corte
f_y	Limite elástico
f_{yd}	Resistência de cálculo do aço.
f_u	Tensão última do aço
F	Carga de projecto
R	Massa bruta máxima
g	Aceleração de gravidade
m	Massa
T	Tara
δ_{max}	Flecha no estado final relativamente à linha reta que une os apoios
δ_1	Varição de flecha da viga devida às acções permanentes
δ_2	Varição da flecha da viga devida à acção variável
δ_0	Contra-flecha da viga no estado não carregado
σ_{\perp}	Tensão Normal perpendicular à espessura.
τ_{\perp}	Tensão tangencial (no plano da espessura) perpendicular ao eixo da soldadura
τ_{\parallel}	Tensão Tangencial (no plano da espessura) paralela ao eixo da soldadura.
β_w	factor de correlação
d	Largura da alma.
t_w	Espessura da alma
$M_{T,Rd}$	Momento torsor resistente;
$M_{T,Ed}$	Momento torsor actuante de cálculo desfavorável.
$\tau_{T,Ed}$	Tensões tangenciais por torção.
b	Largura total
h	Altura total

$F_{w,Ed}$	Valor de calculo do esforço actuante na soldadura por unidade de comprimento
$F_{w,Rd}$	Valor de calculo do esforço da resistência da soldadura por unidade de comprimento.
$F_{vw,d}$	Valor de calculo de resistência ao corte da soldadura.
K_{zy}	Coeficiente de interacção em zy
K_{zz} :	Coeficientes de interacção em zz
χ_{LT}	Coeficiente de redução por encurvadura lateral.
χ_z	Coeficiente de redução por encurvadura, em redor do eixo Z
α	Factor de imperfeição
$\bar{\lambda}$	Esbelteza
χ	Coeficiente de redução
q_k	A força pela unidade de área

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas para racks indústrias tem sido uma das grandes opções no sistema logístico industrial, pois estas tem como objectivo facilitar o armazenamento e transporte de carga, devido a sua grande versatilidade essas estruturas podem ser utilizadas em diversos ramos da indústria pois permitem a instalação da carga verticalmente em blocos ou horizontalmente é por essas características que fazem com que racks metálicos indústrias sejam altamente confiáveis e seguros para o sistema logístico de uma empresa.

É com base no contexto acima que no presente relatório da disciplina de estágio profissional do curso de engenharia mecânica da universidade Eduardo Mondlane pretende-se dimensionar uma estrutura metálica para o transporte de chapas de alumínio da empresa de fundição de alumínio Mozal.

1.1 OBJECTIVOS

1.1.1 Objectivo geral

- Dimensionar estrutura metálica para o transporte de chapas de alumínio (Rack metálico industrial).

1.1.2 Objectivos específicos

- Definir as características, disposições de fabrico da estrutura.
- Identificar parâmetros dos materiais utilizados nos cálculos estruturais.
- Dimensionar os perfis metálicos de forma que atendam as solicitações de carregamento da estrutura.
- Analisar sobre a segurança do projecto elaborado.

1.2 METODOLOGIA USADA

A elaboração do presente trabalho foi baseada em:

Revisão bibliográfica com base na pesquisa de informações referente ao trabalho em causa com recurso a internet, consulta de documentos técnicos na área de estruturas metálicas.

Coleta de informações e conhecimentos técnico-científicos, adquiridos através do intercambio entre o estudante e técnicos da área ao longo do estágio.

Secções de consulta com supervisor da faculdade.

Para realização destes projectos foi necessário conhecer a utilização dos seguintes programas informáticos:

- Tekla Structures.
- Cypecad (Metal 3D).
- Sap2000.
- Idea StatiCa.

1.3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA



Figura 1-1- Logotipo da empresa

A “Salaty Service” é uma empresa fundada em 2015 na província de Maputo cidade da Matola com atividade dirigida para a prestação de serviços de Projectos, Manutenção Industrial, Serralharia e Carpintaria.

A Salaty Service é composta por uma equipa jovem, contando atualmente com cerca de 10 colaboradores.

As principais atividades da empresa é venda de serviços, procurement, fabricação e manutenção de estruturas metálicas, greens poles transport stand, Anod gauge, cvd probes, bhath sample roods, scraper, vassouras de limpeza industrial, e equipamento de proteção individual usados na empresa de fundição de alumínio Mozal.

1.3.1 Conceitos da empresa

1.3.1.1 Missão

Garantir a satisfação dos nossos clientes assegurando um crescimento sustentado, e prestação de serviços de excelência com base em colaboração e partilha de confiança.

1.3.1.2 Visão

Ser uma empresa de prestígio nacional, reconhecida pela excelência inovação e relação com cliente.

1.3.1.3 Valores

Flexibilidade, competência, transparência, confiança, respeito e honestidade

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído por 5 capítulos sendo:

Primeiro capítulo

Faz referência a introdução, objectivos, organização do trabalho e metodologia usada para a elaboração deste trabalho e a apresentação da empresa.

Segundo capítulo

Traz uma breve descrição de conceitos teóricos relacionados as estruturas metálicas para transporte de carga (racks metálicas indústrias), e dos materiais que os compõe.

Terceiro capítulo

Apresenta-se as bases para dimensionamento da estrutura metálica

- Descrição da estrutura a projetar;
- Requisitos a cumprir;
- Definição das ações de cálculo a considerar;
- Definição das combinações de ações de cálculo;
- Critérios de dimensionamento.

Quarto capítulo

Apresentam-se o dimensionamento da estrutura metálica para o transporte de chapas de alumínio (Rack metálico industrial), faz-se uma breve análise da segurança do projecto elaborado.

Quinto capítulo

Apresenta-se a conclusão e recomendações em relação ao trabalho realizado.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estruturas para transporte de carga – Racks Metálicos Indústrias

Os racks metálicos são estruturas criadas para transportar todo tipo de material e fazer a armazenagem. Eles são muito utilizados pela indústria no transporte de cargas de tamanhos variados.

2.1.1 As vantagens e aplicações do rack para logística

O rack para logística é essencial para o armazenamento de produtos. Ele é ideal para empresas de transportes ou para fabricantes de produtos pesados. Ele é feito de material resistente e oferece ótima solução de compactação do ambiente, dando opção de verticalização do armazenamento e criando espaços para circulação de funcionários e maquinário para transporte de cargas.

Outra grande vantagem do rack para logística é o tamanho e o formato. Eles podem ser produzidos em diversos modelos, onde cada um é específico para um tipo de produto que será armazenado. Além disso, ele pode ser fabricado em tamanhos específicos, atendendo a todas as demandas de cada comprador. Desta forma, o rack para logística pode atender não apenas depósitos ou armazéns, mas também comércios de varejos e grandes lojas.

2.1.2 Importância do rack no armazenamento

A sua importância reside no facto de cumprir na perfeição as seguintes funções:

Armazenamento organizado: permite realizar um armazenamento organizado, ou seja, constitui um dos sistemas de administração e controle de carga.

Armazenamento seguro: sendo feito com uma estrutura metálica sólida e ao mesmo tempo, permite o bloqueio da carga na estrutura, permite que o armazenamento seja realizado de forma totalmente segura.

2.1.3 Principais tipos de racks usados pelas empresas.

Rack Tainer: os racks para armazenagem do tipo tainer são do tipo monobloco e auto empilháveis, ou seja, um se encaixa dentro do outro. Além disso, possui uma grande capacidade de carga e empilhamento, elimina ainda os corredores. É ideal para quem deseja armazenar produtos paletizados. É bastante usado em mercados para o transporte de alimentos empacotados, como feijão, arroz ou açúcar e outros.

Rack aramado: os racks aramados são totalmente desmontáveis e não requerem uso de ferramentas para a montagem e desmontagem. São também auto empilháveis e muito usados para o transporte de produtos a granel. Alguns modelos, são equipados com portas articuladas que possibilitam o acesso aos produtos de racks inferiores sem mover os racks superiores.

Rack Aramado Personalizável: outra característica que torna o rack metálico aramado é o fato dele ser personalizável. Ou seja, racks metálicos podem ser fabricados de acordo com a necessidade específica de cada empresa.

Rack de Coluna Tubular: esse tipo de rack, geralmente, é desmontável e auto empilhável, é de fácil montagem, sem ser necessário usar ferramentas.

As indústrias usam muito esse tipo de rack nas saídas de linhas de produção até a área de armazenamento ou expedição;

Rack desmontável: os racks desmontáveis, auto empilháveis são racks ideais para blocagem pois permitem verticalização de carga, otimizando espaços de forma única.

Racks especiais: os racks especiais são fabricados sob encomenda, com especificações precisas em termos de dimensionamento, capacidade máxima de carga, e funcionalidades.

Exemplos de racks especiais.



Figura 2-1- Rack metálico para armazenamento de haste de perfuração

Fonte: Empresa Goldmont Engineering.

<https://www.goldmont.com.au/product/steel-sections-rack/>



Figura 2-2- Rack metálico para armazenamento e transporte de tubos de perfuração

Fonte: Empresa Tricon Drilling Solutions

<https://www.triconds.com.au/products/accessories/storage-rack/>

2.1.4 Materiais normalmente utilizados

O material mais utilizado neste tipo de construções é o aço, pelas razões já referidas anteriormente.

O aço é uma liga que tem o ferro e o carbono como componentes principais, sendo a percentagem de carbono a responsável por grande parte das características mecânicas (tensão de cedência, tensão última e ductilidade) e propriedades tecnológicas (soldabilidade e resistência à corrosão). No entanto, possui outros componentes, sejam eles impurezas ou componentes para conferir características mecânicas específicas

Tabela 2.1- Matérias estruturais e valores nominais de tensão de cedência e de tensão última a tracção para secções tubulares

Norma e classe do aço	Espessura nominal t do componente da secção [mm]			
	T ≤ 40 mm		40 mm < T ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

Fonte: Norma portuguesa NP- EN 1993-1-1

Relativamente ao processo de fabrico de secções metálicas, os processos mais correntes são:

- Secções de aço laminado a quente e secções de aço enformado a frio.

2.1.5 Propriedades Mecânicas do Aço Estrutural

Elasticidade – é a capacidade do material de voltar à forma original após sucessivos ciclos de carga e descarga. A deformação elástica é reversível, ou seja, desaparece quando a tensão é removida. A relação entre a tensão e a deformação linear específica é o módulo de elasticidade.

Plasticidade – é a deformação permanente provocada por tensão igual ou superior ao limite de escoamento.

A deformação plástica aumenta a dureza do metal. Este aumento da dureza por deformação plástica é denominado endurecimento por deformação a frio ou encruamento e é acompanhado de elevação do valor do limite de escoamento e do limite de resistência.

O encruamento reduz a ductilidade do metal, pois parte da alongação é consumida durante a deformação a frio.

Ductilidade – é a capacidade dos materiais de se deformar plasticamente sem se romper.

Pode ser medida por meio do alongamento (ϵ) ou da estrição, que é a redução na área da seção transversal. ($\epsilon = \Delta l / l$) quanto mais dúctil o aço maior é o alongamento antes da ruptura. A ductilidade tem grande importância nas estruturas metálicas, pois permite a redistribuição de tensões locais.

Tenacidade – é a capacidade que têm os materiais de absorver energia, com deformações elásticas e plásticas. É representada pela área total do diagrama $\sigma - \epsilon$.

Um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil vai requerer maior quantidade de energia para ser rompido, sendo, portanto, mais tenaz.

Módulo de tenacidade

- Módulo de tenacidade, u_t , representa a área inteira sob o diagrama tensão deformação.
- Indica a densidade de energia de deformação do material um pouco antes da ruptura.

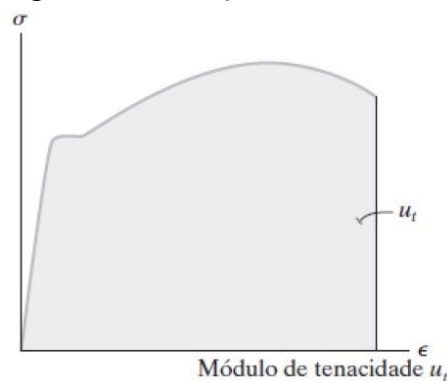


Figura 2-3- Diagrama tensão modulo de tenacidade

Fonte: Manual Resistência dos Materiais - R. C. Hibbeler - 7ª edição

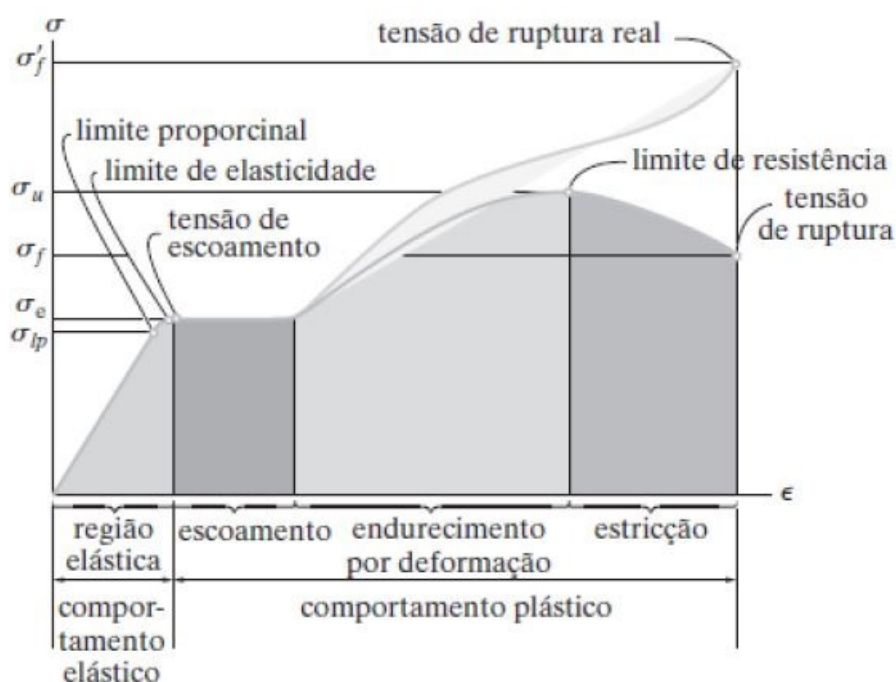
Resiliência – é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico.

Fragilidade – é o oposto da ductilidade, é quando os aços se tornam frágeis pela ação de diversos agentes, como baixas temperaturas, efeitos térmicos locais causados por soldas, etc. É muito perigoso, pois os materiais frágeis rompem sem aviso prévio.

2.1.6 Valores de cálculo das propriedades dos materiais.

No caso dos materiais abrangidos pela presente norma acima citados as propriedades a adoptar nos cálculos deverão ser as seguintes:

- Módulo de elasticidade: é a razão entre tensão exercida e a deformação sofrida pelo material ($E = 210\,000 \frac{N}{mm^2}$)
- Módulo de distorção ($G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000 \frac{N}{mm^2}$)
- Coeficiente de Poisson: relação entre deformação transversal e longitudinal devido à direção de aplicação da carga ($\nu = 0,3$)
- Coeficiente de dilatação térmica: variação de unidade de comprimento por grau de temperatura ($\alpha = 12 \times 10^{-6}$ para $T \leq 100^\circ C$)
- Massa específica: razão entre a massa e o volume de um material $\rho = 7,85 \frac{t}{m^3}$



Diagramas de tensão–deformação convencional e real para um material dúctil (aço)(não está em escala)

Figura 2-4- Diagramas de tensão convencional e real para material dúctil aço

Fonte: Manual Resistência dos Materiais - R. C. Hibbeler - 7ª edição

2.1.7 Produtos de aço estrutural

As peças de aço estrutural podem ser encontradas no mercado sob diversas formas, com a finalidade de cumprir objetivos diferentes. As principais formas são:

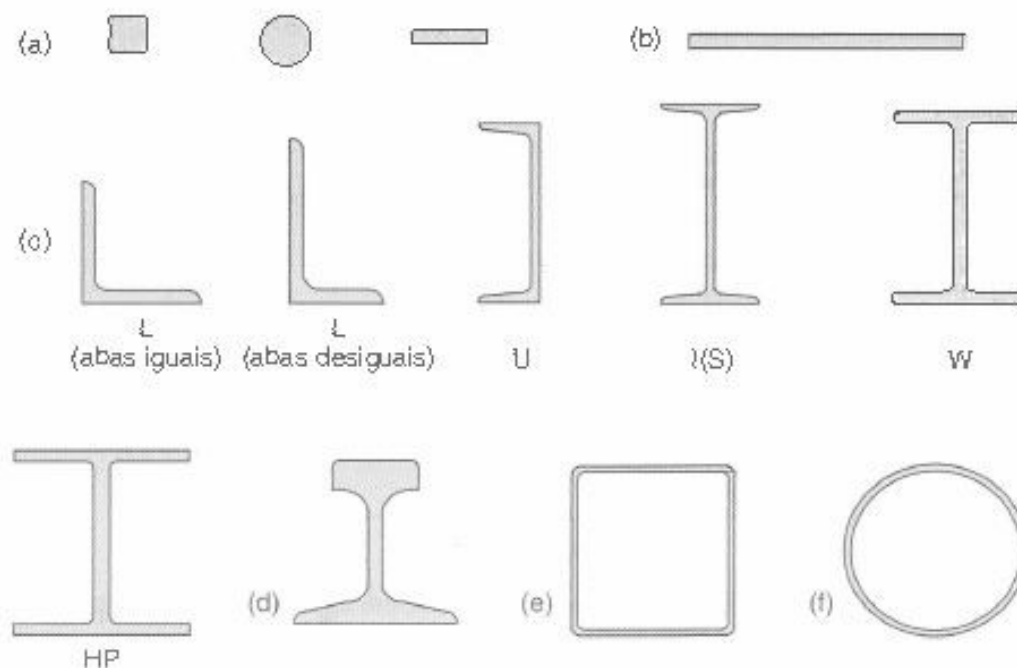


Figura 2-5- Variedade de formas de perfis metálicos

Fonte: Walter Pfeil e Michèle Pfeil, 8ª edição.

2.1.8 Tipos de Ligações entre elementos metálicos

A análise da resistência de uma estrutura metálica deve incluir a influência das ligações entre elementos estruturais, pelo que este tipo de análise se torna indispensável no projeto de qualquer tipo de estrutura metálica.

Para garantir o correcto dimensionamento e funcionamento das ligações, o seu cálculo e verificação deve ser realizado de acordo com o Eurocódigo 3.

Quanto aos tipos de união utilizados podem-se considerar quatro tipos de ligações principais.

- Ligações aparafusadas;
- Ligações rebitadas;
- Ligações com recurso a cavilhas;
- Ligações soldadas;

CAPÍTULO III

3 BASES PARA DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

3.1 Descrição da estrutura a projetar

O principal objectivo deste trabalho é o dimensionamento de estrutura metálica para o armazenamento e transporte de 11 chapas de alumínio cujo o peso total é de 2000 kg e as restantes características das chapas estão descritas abaixo:

- Comprimento: 3800 milímetros
- Largura: 630 milímetros
- Espessura: 26 milímetros



Figura 3-1- Chapas de alumínio a transportar

Fonte: Autor do trabalho

Para o caso em estudo foi adoptada uma solução de estrutura metálica para instalação da carga verticalmente como ilustram as imagens abaixo:

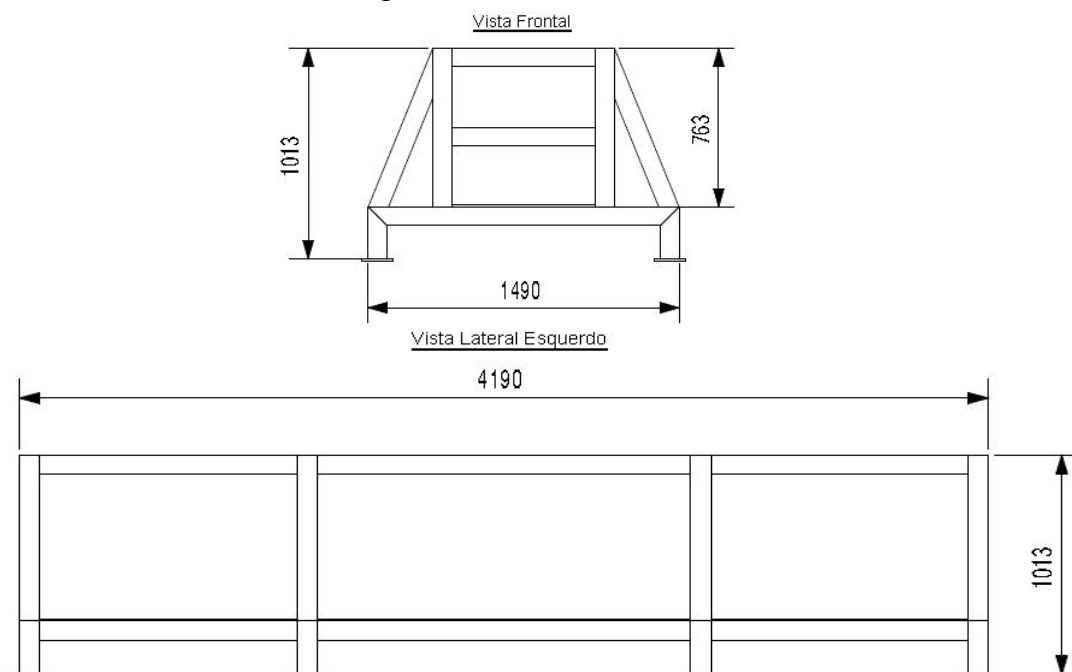


Figura 3-2- Dimensões de gabarito da estrutura metálica

Fonte: Autor do trabalho

3.2 Requisitos a cumprir

3.2.1 Regulamentação utilizada

Na elaboração do projeto de estrutura metálica terá de seguir e cumprir os requisitos impostos pela seguinte regulamentação:

- NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço.
- NP EN 1993-1-8 – Eurocódigo 3 – Projecto de ligações.

Abaixo são indicados os princípios base pelos quais os Eurocódigos referidos se regem:

EC3 (Parte 1-1 e parte 1-8) – neste documento são definidos todos os critérios de dimensionamento necessários ao projeto de estruturas metálicas e das ligações metálicas, especialmente os critérios de verificação em estado limite último e em estado limite de utilização.

3.2.2 Bases de cálculo

Uma estrutura ao abrigo da norma EN 1090 deve ser dimensionada tendo em conta a função/condições de funcionamento e o seu período de vida útil pré-estabelecido. Devem ser corretamente escolhidos os materiais, bem como condições de concepção e montagem para que sejam verificados:

- Estados limites últimos – Estados associados a danos graves que possam comprometer a segurança das pessoas e bens;
- Estados limites de utilização – Estados associados a danos de menor gravidade, que não comprometam a segurança e funcionamento da estrutura
- Condições de durabilidade – proteção contra corrosão por exemplo;

Podem igualmente ser consideradas as seguintes situações de projeto:

- Situações persistentes – condições normais de funcionamento;
- Situações acidentais – condições de acidente, normalmente com baixa probabilidade de acontecerem;

Geralmente na verificação dos estados limites, as ações são majoradas e as resistências dos materiais são minoradas (secção 6 da norma NP EN 1190), dando-se o nome de método dos coeficientes parciais. Este método envolve as seguintes variáveis básicas:

- Ações e influências ambientais;
- Caracterização mecânica dos materiais;
- Caracterização geométrica da estrutura.

3.3 Acções de cálculo a considerar

A determinação e quantificação das acções atuantes é uma fase crucial em qualquer projeto, pois têm obrigatoriamente de corresponder à realidade para que a estrutura não seja dimensionada com base em condições mal definidas. Existem três tipos de solicitações principais, que se devem considerar durante o dimensionamento.

As acções são classificadas de acordo com a sua variação no tempo:

- Acções permanentes (G);
- Acções variáveis (Q);
- Acções de acidente (A);

3.3.1 Acções permanentes (G)

Acções com elevada probabilidade de ocorrência durante um determinado período de referência e cuja variação de intensidade no tempo é desprezável ou é sempre no mesmo sentido. O peso próprio da estrutura é um exemplo de uma acção permanente.

O peso próprio das construções é classificado de acordo com a sua variação no tempo e deve ser classificado como uma acção permanente.

3.3.2 Acções variáveis (Q)

Acções cuja variação de intensidade no tempo não é desprezável nem monotonia. A sobrecarga é um dos exemplos de acções variáveis;

3.3.2.1 Sobrecarga

O valor da sobrecarga considerado no projecto é o peso total das chapas que serão armazenadas e transportadas na estrutura metálica cujo o peso total é igual 2000 kg para 11 chapas de alumínio com 26 milímetros de espessura cada e o peso da chapa de pavimento bem como as barras, grelhas de espaçamento e tubos da bolsa de empilhadeira que perfazem um total de 500 kg de peso.

O total da sobrecarga é de 2500 kg

$$F = m \times g \quad \text{onde } g = 9,81 \frac{m}{s^2} \quad \text{Equação 3.1}$$

$$F = 2500 \times 9,81 = 24,53\text{ KN}$$

As chapas possuem um comprimento de 3800 milímetros e largura de 630 milímetros cada.

A área ocupada pelas chapas será igual:

$$A = C \times 11 \times t_w = 3,8 \times 11 \times 0,026 \quad \text{Equação 3.2}$$

$$A = 1,0868\text{ m}^2$$

A força pela unidade de área será igual:

$$q_k = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 3.3}$$

$$q_k = 22,57 \frac{KN}{m^2}$$

A força por unidade de área da superfície considerando que as chapas são instaladas verticalmente na estrutura metálica e igual a $22,57 \frac{KN}{m^2}$

Nota: para o caso em estudo a sobrecarga refere-se a carga a ser transportada e também os elementos secundários do cálculo estrutural tais como chapa de pavimento, tubos que compõem a balsa para garfos de empilhadeira, barras e grelha superior que vão separar as chapas na estrutura metálica.

3.3.3 Ações de acidente (A)

Normalmente de curta duração, mas com intensidade significativa, apresentam uma reduzida probabilidade de ocorrência durante o tempo e vida útil de projeto

A metodologia utilizada para a quantificação das ações térmicas consta da NP EN 1991-

3.3.4 Ações Térmicas.

Estas ações dependem das dimensões das estruturas, dos materiais que as constituem, bem como das ligações ao exterior.

No caso em estudo não considerou-se as acção da temperatura, visto que as temperaturas no interior dos galpões da Mozal onde serão armazenadas as chapas são baixas e devido as dimensões da estrutura metálica o efeito da temperatura é desprezível pois somente gera pequenas deformações que causam esforços axiais que não tem muito efeito quando faz-se o calculo nos software de elementos finitos, mesmo quando a estrutura e expostas a condições ambientais no fora do local de armazenamento os efeitos da temperatura ambiente sobre a estrutura não gera grande efeitos, por isso esta acção é desprezível para o caso em estudo, os efeitos considerados acima só são aceitáveis dentro das temperaturas definidas abaixo.

As temperaturas mínimas (condições de inverno) e máximas (condições de verão) definidas na NP EN 1991-1-5 são válidas apenas no território nacional tendo sido necessário por isso definir as temperaturas mínimas e máximas anuais no território, em Moçambique.

Através de documentação fidedigna (14) obtiveram-se as seguintes temperaturas:

- Temperatura mínima no Inverno: min T° 13°C
- Temperatura máxima no Verão: máx T° 32°C

3.4 Combinações de ações de cálculo

De forma a verificar se a estrutura garante os requisitos de segurança, de utilização e de durabilidade, a quantificação e combinação de ações foi efetuada de acordo com a NP EN 1990. As combinações são feitas considerando sempre uma ação variável base e combinando-a com todas as outras acompanhantes, sem esquecer as ações permanentes sempre presentes.

3.4.1 Estados Limites Últimos

Os estados limites últimos estão associados à segurança das pessoas e da própria estrutura e avaliam-se eventuais colapsos ou outras formas de ruína estrutural.

Os estados limites últimos estão associados à ocorrência de cargas excessivas e consequente colapso da estrutura devido, por exemplo.

- Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Plastificação total de um elemento estrutural ou de uma secção;
- Ruptura de uma ligação ou secção;
- Flambagem em regime elástico ou não;
- Ruptura por fadiga.

Para a verificação do equilíbrio e da resistência deve verificar-se que.

$$E_d \leq R_d \quad \text{Equação 3.4}$$

Em que:

E_d – Valor de cálculo do efeito das ações;

R_d – Valor de cálculo da resistência corresponde.

Combinação de ações para situações de projeto persistentes (Combinação Fundamental)

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki} \quad \text{Equação 3.5}$$

Em que:

G_k – Ação permanente

P_k – Ação de pré-esforço

Q_k – Ação variável

γ_G – Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

γ_P – Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço

γ_{Q1} – Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

γ_{Qi} – Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

Ψ_{p1} – Coeficiente de combinação da acção variável principal

Ψ_{ai} – Coeficiente de combinação das acções variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projecto e estado limite os coeficientes a utilizar serão:

Para E.L.U. Aço laminado e enformado: Eurocódigos 3

Tabela 3.1- Valores de calculo das acções

	Combinação Final	
	Coeficientes parciais (g)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente	1.000	1.350
Sobrecarga	1.000	2.000

Fonte: Autor do Trabalho

3.4.1.1 Combinações

Nomes das acções

- PP – Peso próprio
- SOBRE. 1 – Sobrecarga

E.L.U. Aço laminado e enformado

Tabela 3.2- Combinações

Comb.	PP	SOBRE.
1	1.000	1.000
2	1.350	1.000
3	1.000	2.000
4	1.350	2.000

Fonte: Autor do trabalho

Para o dimensionamento metálicos baseados nos estados limite últimos utilizam-se os coeficientes parciais de segurança que estão presentes na norma portuguesa EN-EC3-1993

Tabela 3.3-Coeficientes Parciais de Segurança para o material

Coeficientes Parciais de Segurança	Resistência	Valor
γ_{M0}	Em Secções transversais de qualquer classe	1,00
γ_{M1}	Em Elementos devido a fenómenos de encurvadura	1,00
γ_{M2}	Em Secções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação	1,25

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

3.4.2 Estados Limites de Utilização

Os estados limites de utilização são aqueles que dizem respeito ao funcionamento normal da estrutura, ao aspeto na construção e correspondem às condições para além das quais os requisitos de utilização especificados para uma estrutura.

A Verificação para o estado limite de utilização pode ser realizada de 3 formas: com a combinação característica utilizada para os estados limites irreversíveis, a combinação frequente, normalmente utilizada para estados reversíveis e a combinação quase-permanente, que é utilizada para efeitos a longo prazo e para o “aspeto” da estrutura.

A verificação para este estado limite de utilização deve verificar-se que:

$$E_d \leq C_d \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

C_d – valor de cálculo correspondente ao valor limite de utilização;

E_d – Valor de cálculo do efeito das ações especificados no critério de utilização;

Os efeitos das ações são obtidos com base na Combinação Característica:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{j > 1} \Psi_{ai} Q_{ki} \quad \text{Equação 3.7}$$

3.5 Critérios de dimensionamento

Neste capítulo serão apresentadas as expressões de dimensionamento de secções transversais e de elementos estruturais baseadas na norma portuguesa NP EN 1993-1-1 Eurocódigos Estruturais, que permitiram comparar e validar os resultados de dimensionamento obtidos no programa de cálculo automático "*Metal 3D e SAP2000*"

3.5.1 Características do aço utilizado

Tabela 3.4- Características do Aço utilizado

Material		E	ν	G	f_y	$\alpha \cdot t$	γ
Tipo	Designação	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m ³)
Aço laminado	S235	210000.00	0.300	81000.00	235.00	0.000012	77.01
Aço laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

E - Módulo de elasticidade

ν - Módulo de poisson

G - Módulo de corte

f_y - Limite elástico

$\alpha \cdot t$ - Coeficiente de dilatação

γ - Peso específico

3.5.2 Fluxograma de dimensionamento das secções e elementos estruturais

As etapas de dimensionamentos das secções e elementos metálicos estas descritas na tabela abaixo:

Tabela 3.5- Fluxograma do Dimensionamento dos Elementos Metálicos

Etapas de cálculo	Classificação da Secção Transversal	
	Verificação das secções	Esforços de Cálculo Isolados
		Esforços de Cálculo Combinados
	Verificação dos Elementos	Esforços de Cálculo Isolados
Esforços de Cálculo Combinados		

Fonte: Autor do trabalho

3.5.3 Resistência dos elementos metálicos

3.5.3.1 Resistência à tracção

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.3

Segundo a norma NP-EC3 os elementos à tracção deve satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.8}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$N_{t,Rd}$ - Valor de cálculo do esforço axial resistente de tracção;

$N_{t,Ed}$ - Valor de esforço axial de tracção actuante de cálculo desfavorável.

A resistência de cálculo à tracção $N_{t,Rd}$ vem dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad \text{Equação 3.9}$$

Em que:

A - Área bruta da secção transversal da barra.

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado por.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.10}$$

Sendo:

f_y - Limite elástico.

γ_{M0} - Coeficiente parcial de segurança do material.

O valor de calculo de esforço normal resistente em casos de secções com furos devera ser considerado igual ao menor dos valores abaixo:

- a) O valor de calculo do esforço normal resistente plástico na secção bruta.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.11}$$

- b) O valor de calculo do esforço normal resistente último na secção útil na zona com furos de ligação

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{Equação 3.12}$$

Onde:

$N_{pl,Rd}$ - Resistência plástica da secção bruta;

$N_{u,Rd}$ - Resistência última da secção útil na zona de ligação;

A - área total da secção transversal;

A_{net} - área útil da secção transversal na zona dos furos;

f_u - Tensão última do aço.

Nas ligações de Categoria C na norma NP EC3-1993 valor de calculo do esforço normal resistente de tracção da secção útil na zona com furos deverá ser considerado igual:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.13}$$

3.5.3.2 Resistência à compressão

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.4 Segundo a norma NP-EC3 os elementos à compressão actuante deve satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.14}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$N_{c,Rd}$ - Força normal de compressão resistente de cálculo;

N_{Ed} - Esforço axial de compressão actuante de cálculo desfavorável.

Força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad \text{Equação 3.15}$$

Em que

A - Área bruta das secções tubulares da classe 1, 2 e 3 dos limites máximos de largura-espessura para componentes comprimidos. (Tabela 5.2 Norma NP EN 1993-1-1)

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado pela equação 3.10

O valor de calculo de esforço normal resistente em casos de secções com furos devera ser considerado igual ao menor dos valores abaixo:

- a) O valor de calculo do esforço normal resistente à compressão na secção bruta para secções tubulares classe 1, 2 e 3 para equação (3.9).

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.16}$$

3.5.3.3 Momento flector

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.5

Segundo a norma NP-EC3 os elementos momento flector devem satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.17}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$M_{c,Rd}$ - Valor de cálculo do esforço axial resistente de tração;

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} \quad \text{Equação 3.18}$$

Em que:

$W_{pl,z}$ - Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, para as secções de classe 1 e 2.

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado pela equação 3.10

O valor de calculo do momento flector resistente de uma secção transversal em relação a um dos seus eixos principais e determinado por:

- a) Para as secções transversais da classe 1 e 2.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.19}$$

3.5.3.4 Resistência ao esforço transversor

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.6

Segundo a norma NP-EC3 os elementos à esforço transversor actuante deve satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.20}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$V_{c,Rd}$ - O esforço transversor resistente de cálculo;

V_{Ed} - Esforço transversor actuante de cálculo desfavorável.

O esforço transversor resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ é dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 3.21}$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w \quad \text{Equação 3.22}$$

Em que:

A - Área transversal ao esforço transversor.

d - Largura da alma.

t_w - Espessura da alma.

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado pela equação 3.10

Na ausência de torção o valor de calculo do esforço transversor plástico resistente é obtido por:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad \text{Equação 3.23}$$

Onde:

A_v – área resistente ao esforço transversor.

A área resistente ao esforço transversor poderá ser calculada para secções laminadas retangulares tubulares de espessura uniforme:

Para carga paralela à altura

$$A_v = \frac{Ah}{b + h} \quad \text{Equação 3.24}$$

Para carga paralela à largura

$$A_v = \frac{Ab}{b + h} \quad \text{Equação 3.25}$$

Onde:

A – área de secção transversal

b – Largura total

h – Altura total

3.5.3.5 Resistência à torção

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.7

Segundo a norma NP-EC3 os elementos à torção actuante deve satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.26}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$M_{T,Rd}$ - Momento torsor resistente;

$M_{T,Ed}$ - Momento torsor actuante de cálculo desfavorável.

O momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ é dado por:

$$V_{c,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad \text{Equação 3.27}$$

Em que:

W_T - Módulo de resistência à torção.

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado pela equação 3.10

3.5.3.6 Resistência ao esforço transversal e momento torsor combinados.

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.7

Segundo a norma NP-EC3 os elementos à esforço transversal momento torsor actuante deve satisfazer a equação abaixo:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.28}$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

Onde:

$V_{pl,T,Rd}$ - Esforço transversal resistente de cálculo reduzido;

V_{Ed} - Esforço transversal actuante de cálculo desfavorável.

Para secção estrutural tubular temos o esforço transversal resistente de cálculo $V_{pl,T,Rd}$ é dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd} \quad \text{Equação 3.29}$$

Tensões tangenciais por torção

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T} \quad \text{Equação 3.30}$$

Em que

$V_{pl,Rd}$ - Esforço transversal resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ - Tensões tangenciais por torção.

W_T - Módulo de resistência à torção.

f_{yd} - Resistência de cálculo do aço.

Resistência de cálculo do aço é dado pela equação 3.10

3.5.3.7 Resistência à flexão composta

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.2.9

Segundo a norma NP-EC3 os elementos à flexão composta actuante deve satisfazer a equação abaixo:

No caso de secções transversais das classes 1 e 2 deve ser satisfeita o seguinte critério:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad \text{Equação 3.31}$$

$M_{N,Rd}$ – Valor de cálculo do momento flector resistente plástico reduzido pelo esforço normal N_{Ed} equação 3.16.

Os esforços actuantes de cálculo desfavoráveis produzem-se, para a combinação de acções

No caso de secções retangulares de espessura uniforme, utiliza-se as expressões aproximadas quando não for necessário tomar em consideração os furos das ligações.

Quando $M_{Ny,Rd} \leq M_{ply,Rd}$

$$M_{Ny,Rd} = M_{ply,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_w) \quad \text{Equação 3.32}$$

Quando $M_{Nz,Rd} \leq M_{plz,Rd}$

$$M_{Nz,Rd} = M_{plz,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_f) \quad \text{Equação 3.33}$$

Quando temos secções em caixão soldadas onde o valor de $a_w \leq 0,5$

$$a_f = (A - 2ht_f)/A \quad \text{Equação 3.34}$$

Quando temos secções em caixão soldadas onde o valor de $a_f \leq 0,5$

$$a_w = (A - 2bt_f)/A \quad \text{Equação 3.35}$$

Onde:

A : Área da secção bruta.

b : Largura do banzo.

h : Altura da secção.

t_f : Espessura do banzo.

t_w : Espessura da alma.

No caso de flexão desviada poderá adoptar-se o seguinte critério:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad \text{Equação 3.36}$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.37}$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.38}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6 \quad \text{Equação 3.39}$$

Onde: $n = N_{t,Ed} / N_{pl,Rd}$

Onde α e β constantes que poderão, de forma conservativa ser consideradas iguais a unidade, ou então ser calculadas utilizando equação 3.42

Onde:

$N_{t,Ed}$ – Força normal de tracção de cálculo.

$M_{y,Ed}$, e $M_{z,Ed}$ – Momentos flectores de cálculo desfavoráveis, segundo os eixos Y e Z, respetivamente.

$M_{N,y,Rd}$, e, $M_{Nz,Rd}$ – Momentos flectores resistentes plásticos reduzidos de cálculo, em torno dos eixos Y e Z, respetivamente.

$N_{pl,Rd}$ – Resistência à tracção.

$M_{ply,Rd}$, e, $M_{plz,Rd}$ – Resistência à flexão da secção bruta em condições plásticas, relativamente aos eixos Y e Z, respetivamente.

3.5.3.8 Resistência dos elementos à encurvadura

Eurocódigo 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010, Artigo 6.3.1

A resistência de calculo à encurvadura numa barra comprimida deve satisfazer a equação abaixo:

Um elemento comprimido devera ser verificado em relação a encurvadura através de:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad \text{Equação 3.40}$$

A : Área da secção bruta para as secções da classe 1, 2 e 3.

f_{yd} : Resistência de cálculo do aço.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{Equação 3.41}$$

f_y : Limite elástico., Tabela 2.1

γ_{M1} : Coeficiente parcial de segurança do material.

Cálculo da curva de encurvadura

No caso de elementos solicitados a compressão axial, o valor de χ corresponde à adequada esbelteza normalizada $\bar{\lambda}$ e deve ser determinado a partir de encurvadura relevante, através de:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1 \quad \text{Equação 3.42}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + (\bar{\lambda})^2] \quad \text{Equação 3.43}$$

α – Factor de imperfeição

$\bar{\lambda}$ – Esbelteza

χ – Coeficiente de redução

Para as secções transversais das classes 1, 2 e 3 temos a esbelteza igual

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{Equação 3.44}$$

N_{cr} – valor crítico do esforço normal associado ao modo de encurvadura elástica relevante baseado nas propriedades da secção transversal bruta.

O valor de imperfeição corresponde a curva da encurvadura apropriada, indicada na tabela abaixo.

Tabela 3.6- Factores de imperfeição para curva de encurvadura

Curva da encurvadura	a ₀	a	b	c	d
Factor de Imperfeição	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

Para seleccionar a curva da encurvadura ver anaxeo tabela A-3

Os valores de coeficiente de redução χ correspondente a esbelteza normalizada $\bar{\lambda}$ podem ser obtidas da figura abaixo.

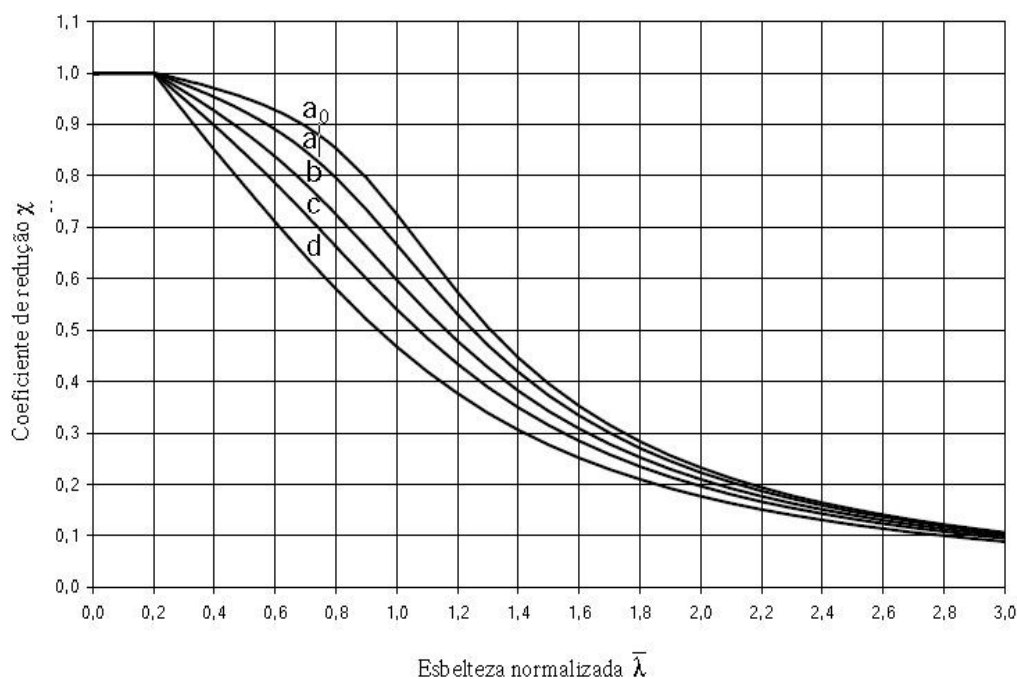


Figura 3-3- Esbelteza normalizada

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

3.5.4 Deslocamentos estruturais (Para os Estados Limites de Utilização)

3.5.4.1 Deslocamento vertical

Os valores máximos a considerar para os deslocamentos verticais são determinados a partir de:

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad \text{Equação 3.45}$$

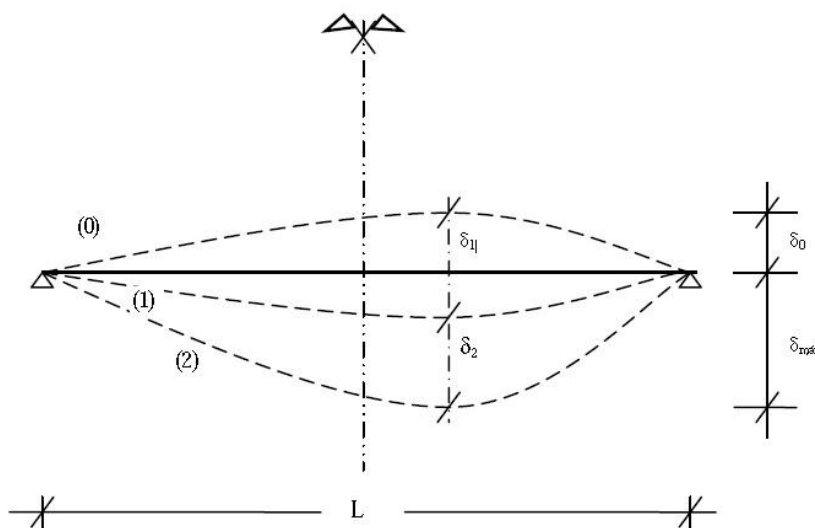


Figura 3-4- Deslocamentos verticais a considerar

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

Em que:

δ_{max} – Flecha no estado final relativamente à linha reta que une os apoios.

δ_1 – Variação de flecha da viga devida às ações permanentes imediatamente após a sua aplicação.

δ_2 – Variação da flecha da viga devida à ação variável de base associada aos valores de combinação das restantes ações variáveis.

δ_0 – Contra-flecha da viga no estado não carregado.

Os valores limites para os deslocamentos verticais são:

NB: Foi feito um arranjo na condição e limites listados na tabela, pois, nenhuma se adequava as condições referentes ao dimensionamento na estrutura metálica em causa.

Tabela 3.7- Valores recomendados para os Limites dos Deslocamentos Verticais

Condições	Limites	
	Estrutura no geral	δ_{max}
L/300		L/400

Fonte: Adaptado da Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-1

3.5.4.2 Deslocamentos Horizontais

Os deslocamentos máximos admissíveis na horizontal são:

$$\text{Deslocamento das Colunas: } \frac{h}{150}$$

$$\text{Deslocamentos da estrutura globalmente: } \frac{h_0}{300}$$

Em que:

h altura da coluna, h_0 altura da estrutura.

3.5.5 Ligações Metálicas

O dimensionamento das legações metálicas foi feita com base na norma NP EN 1993-1-8.

Os coeficientes parciais de segurança a utilizar nas verificações de segurança das ligações são

Tabela 3.8- Coeficientes Parciais de Segurança para ligações

Coeficiente parciais de segurança	Tipo	Valor
γ_{M2}	Resistencia dos parafusos, rebites, cavilhas, soldaduras e chapas ao esmagamento	1,25
γ_{M3}	Resistencia ao esmagamento em estado limite utimo	1,25
γ_{M3}	Resistencia ao esmagamento em estado limite de serviço	1,10

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-8

3.5.5.1 Ligação Soldadas

3.5.5.1.1 Método direcional

Neste método os esforços transmitidos por unidade de comprimento da soldadura são decompostos em componentes paralelos e transversais ao eixo da soldadura e posteriormente nos componentes perpendiculares e transversais ao plano que define a espessura do cordão

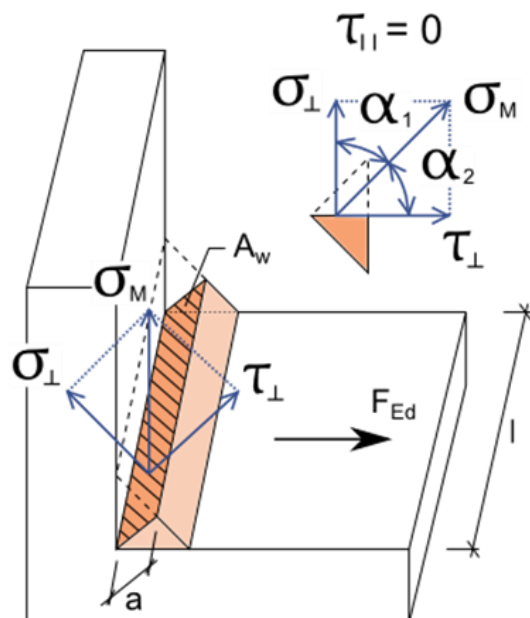


Figura 3-5- Tensões no plano que define um cordão de ângulo

Fonte: Banco de imagens do programa de calculo de ligações Idea Statica

O valor de calculo da resistência do cordão de ângulo e suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes.

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

σ_{\perp} – Tensão Normal perpendicular à espessura.

τ_{\perp} – Tensão tangencial (no plano da espessura) perpendicular ao eixo da soldadura.

τ_{\parallel}^2 – Tensão Tangencial (no plano da espessura) paralela ao eixo da soldadura.

f_u – Valor nominal da tensão de rotura a tracção da peça ligada mais fraca.

β_w – factor de correlação apropriado obtido.

γ_{M2} – Coeficiente parciais de segurança

Tabela 3.9- Factor de correlação β_w Para soldaduras de ângulo

Norma e classe de aço			Factor de Correlação β_w
EN10025	EN 10210	EN10219	
S235 S235 W	S235 H	S235 H	0,8

Fonte: Norma Portuguesa EN EC3-1993-1-8

3.5.5.1.2 Método simplificado para o cálculo da resistência de um cordão.

Para avaliação de resistência dos cordoes de soldadura analisou-se usando também o método simplificado.

A segurança é verificada a partir da expressão:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad \text{Equação 3.46}$$

$$F_{vw,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{Equação 3.47}$$

Onde:

$F_{w,Ed}$ – Valor de calculo do esforço actuante na soldadura por unidade de comprimento,

$F_{w,Rd}$ – Valor de calculo do esforço da resistência da soldadura por unidade de comprimento.

$F_{vw,d}$ – Valor de calculo de resistência ao corte da soldadura.

γ_{M2} – Coeficiente parcial de segurança

3.5.6 Análise de Içamento por 4 Pontos

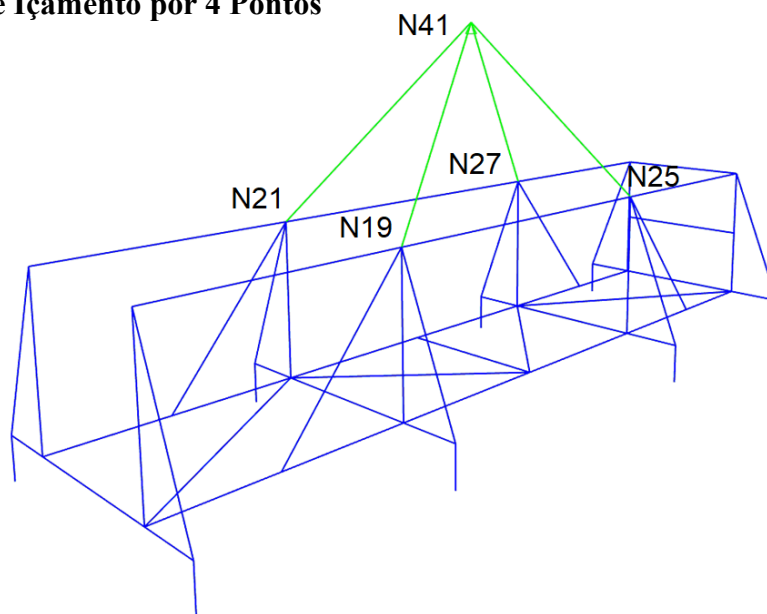


Figura 3-6- Modelo de análise de içamento por 4 Pontos

Fonte: Autor do Trabalho

A análise de içamento por quatro pontos é feita simulando a condição de operação de carregamento do Rack metálico industrial usando um guindaste de ponte rolante ou um caminhão guindaste em condições normais de trabalho. Para esse fim vai se utilizar um coeficiente de segurança de 2, esse coeficiente de segurança é adaptado da norma Standard for certification nº 2.7-1 offshore containers de abril de 2006.

3.5.6.1 Elevação com conjunto.

A carga de projeto na estrutura primária deve ser tomada como:

$$F = 2 \times R \times g \quad \text{Equação 3.48}$$

Onde:

F – Carga de projecto que deverá atuar no nó que representa o ponto de contato do guindaste com elo da estrutura.

R – Massa bruta máxima da estrutura e sua carga, em kg, mas excluindo o conjunto de elevação

g – Aceleração de gravidade m/s^2

A carga interna deve ser tomada como:

$$F_i = [2 \times (R - T) \times g] \quad \text{Equação 3.49}$$

$$P = (R - T) \quad \text{Equação 3.50}$$

P – Carga útil. A massa máxima admissível de carga que podem ser transportados com segurança pela estrutura, em kg

T – Tara, Massa do recipiente vazio incluindo qualquer equipamento permanente, mas excluindo carga e conjunto de elevação, em kg;

3.5.7 Análise de Içamento por 2 Pontos

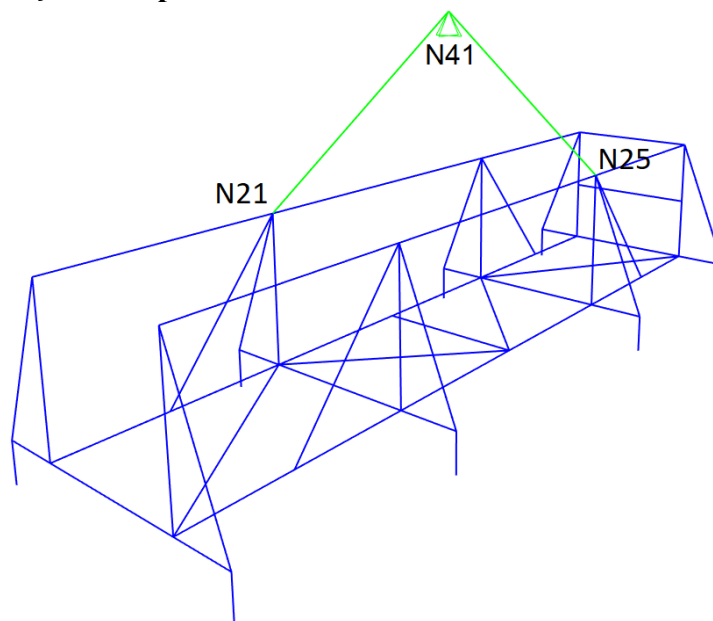


Figura 3-7- Modelo de análise de içamento por 2 Pontos

Fonte: Autor do Trabalho

Após as análises de içamento por 4 pontos, a regra exige que seja feita uma análise de içamento por 2 pontos, no qual 2 eslingas situadas em lados opostos e diagonais se rompem. é importante informar que esse tipo de condição de içamento é anormal, ou seja, não deve acontecer. dessa

forma, para essa análise, não é mandatório realizar as limitações das flechas das vigas, mais é necessário fazer a verificação da resistência sem levar em conta as flechas que resultarão do içamento.

3.5.8 Análise de Elevação pela Bolsa de Empilhadeira

As estruturas metálicas para o transporte de carga podem ser equipados com um ou mais conjuntos de garfos bolsas de elevação na estrutura inferior.

A abertura mínima das bolsas da empilhadeira deve ser de 200 mm × 90 milímetros, as bolsas da empilhadeira devem estar localizadas de forma que a estrutura metálica fique estável durante o manuseio com empilhadeira.

- **Elevação com empilhadeira.**

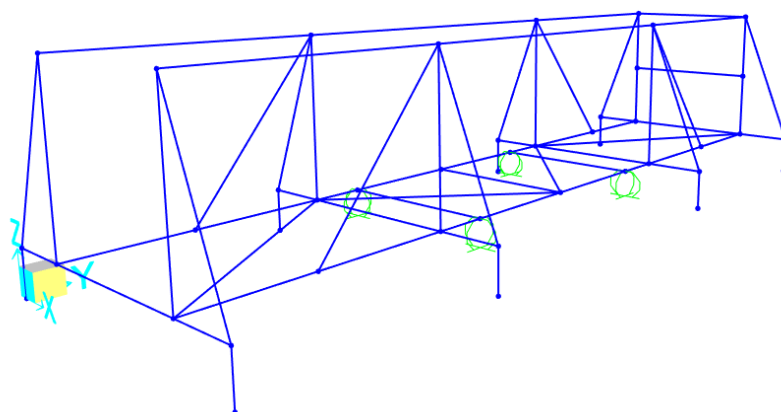


Figura 3-8-Elevação com empilhadeira.

Fonte: Autor do trabalho

Tabela 3.10-Especificações da Bolsa de Empilhadeira

Dimensão L (mm)	Distância mínima entre centros da Bolsa (mm)	Limitações Operacionais da Bolsa de Empilhadeira
$L < 6.000$	De acordo com os requisitos acima	Se $3.000 \leq L < 6.000$, as bolsas podem estar espaçadas a pelo menos 1.200 mm
$6.000 \leq L \leq 12.000$	2.050	Projetadas para serem utilizadas com a estrutura carregado
	900	Projetadas para serem utilizadas com estrutura descarregada
$12.000 < L \leq 18.000$	2.050	Só podem ser utilizadas com a estrutura vazio
$L > 18.000$	—	Não deve haver bolsa de empilhadeira

Fonte: Adaptado da standard for certification N° 2.7-1 offshore containers de abril de 2006

CAPÍTULO IV

4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Neste capítulo será dada especial atenção ao dimensionamento da base e perfis que suportam os elos de içamento da estrutura metálica no geral, pois são o elemento com o impacto mais significativo na estrutura, quer seja em termos de peso, custos ou geometrias.

O cálculo será demonstrado o processo de verificação de segurança com recurso ao cálculo criada com recurso ao *software* de simulação.

4.1 Pré-Dimensionamento do modelo estrutural

No modelo estrutural representado abaixo os principais esforços que ocorrem nos perfis da estrutura, são tração, compressão e momentos fletores, os quais na sequência poderemos ver com mais clareza. As vinculações utilizadas foram definidas de modo que representassem da melhor maneira possível a solução de ligações escolhida, ajuste necessário para o correto funcionamento da estrutura.

4.1.1 Peso Próprio.

Peso próprio é carga permanente e vertical em função do peso dos componentes da estrutura. Os quais, sempre tendem a fazer com que a estrutura de desloque para baixo, ver figura abaixo. Carga distribuída de cerca de $0,12 \frac{kN}{m}$ para os tubos e para chapa de piso onde as chapas vão assentar as chapas $3,85 \frac{kN}{m^2}$ dados obtidos automaticamente a partir do programa de simulação *SAP2000*.

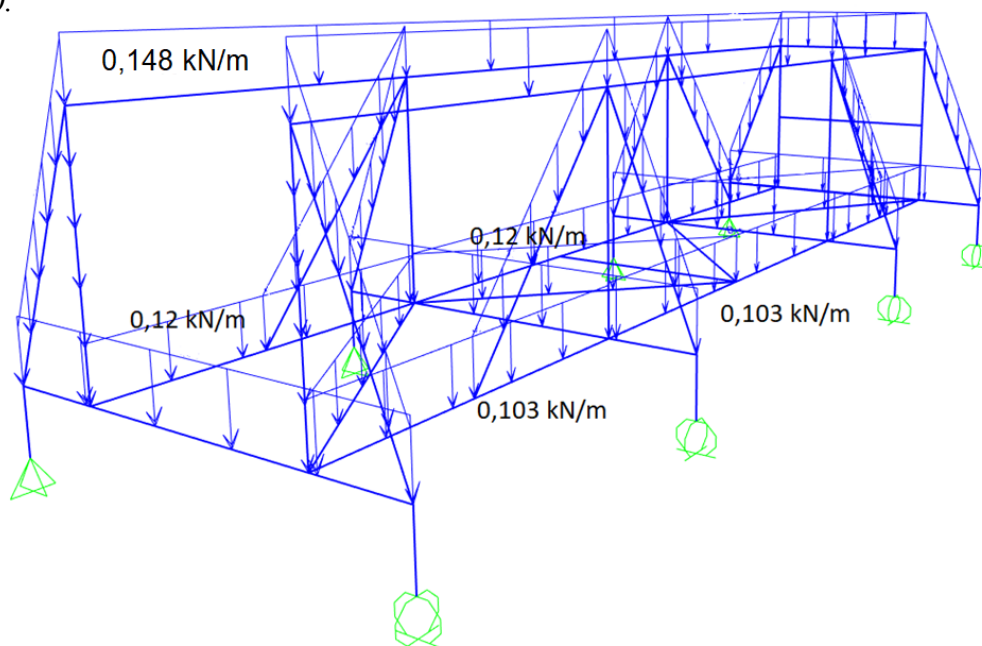


Figura 4-1-Carga de peso próprio

Fonte: Autor do trabalho

4.1.2 Sobrecarga.

A sobrecarga actua sobre a estrutura primaria que são os elementos estruturais principais que transferem os esforços resultantes para os apoios, guindaste ou para empilhadeira, está indicada na figura abaixo a sobrecarga a mesma corresponde a carga das chapas a serem armazenadas e transportadas na estrutura metálica.

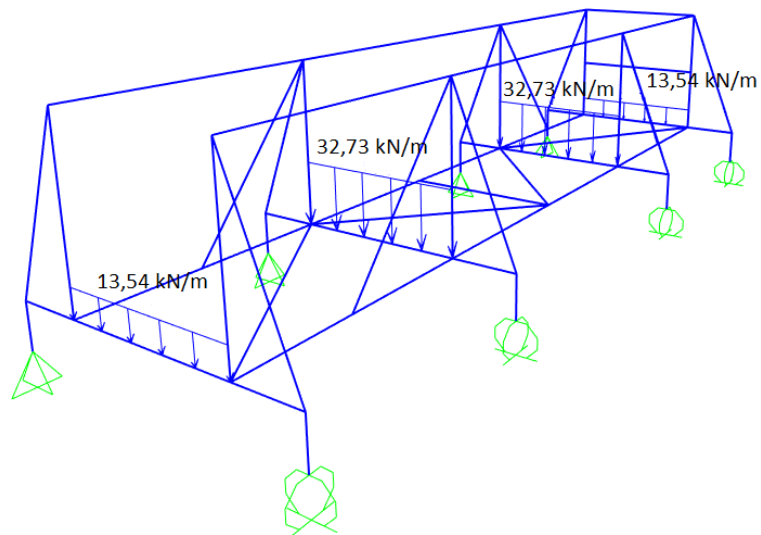


Figura 4-2- Sobrecarga

Fonte: Autor do trabalho

4.1.3 Reacções de apoio da estrutura metálica.

R_x , R_y , R_z : Reacções em nós com deslocamentos restringidos (forças).

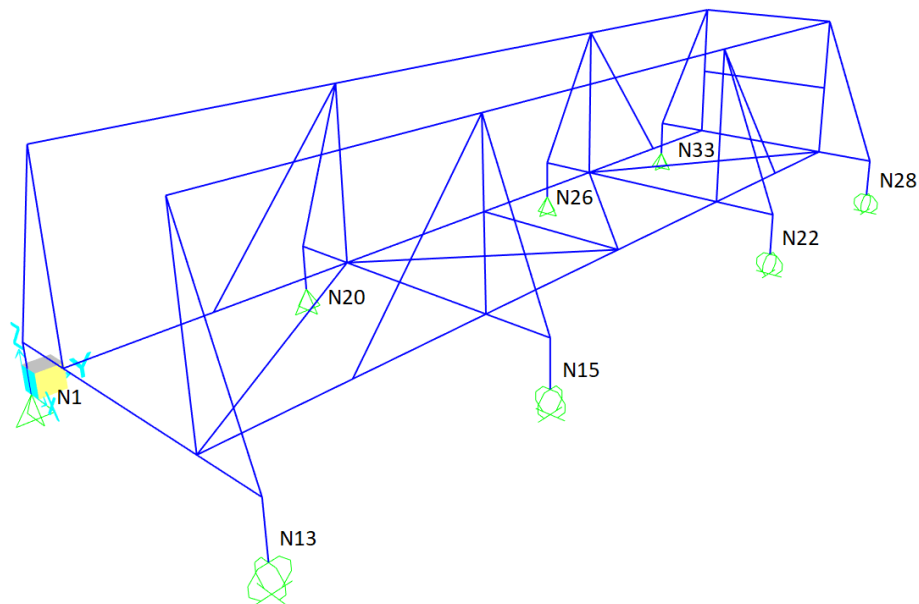


Figura 4-3- Número dos nós apoiados

Fonte: Autor do trabalho

4.1.3.1 Reacções nos nós, por acções

Tabela 4.1- Reacções nos nós, por acções

Reacções nos nós, por acções				
Referência	Descrição	Reacções em eixos globais		
		R _x (kN)	R _y (kN)	R _z (kN)
N1	Peso próprio SOBRE. 1	-0,032	0,042	0,484
		-0,891	0,975	7,918
N13	Peso próprio SOBRE. 1	0,000	-0,023	0,499
		0,000	-0,614	8,086
N15	Peso próprio SOBRE. 1	0,000	-0,037	0,635
		0,000	-1,053	10,345
N20	Peso próprio SOBRE. 1	0,111	0,051	0,679
		2,847	1,113	11,233
N22	Peso próprio SOBRE. 1	0,000	-0,063	0,619
		0,000	-1,381	9,958
N26	Peso próprio SOBRE. 1	0,085	0,072	0,681
		2,225	1,901	11,266
N28	Peso próprio SOBRE. 1	0,000	-0,087	0,618
		0,000	-2,112	9,089
N33	Peso próprio SOBRE. 1	-0,165	0,045	0,527
		-4,181	1,170	7,062

Fonte: Autor do trabalho

4.1.3.2 Reacções nos nós, por combinação

O cálculo das reacções de apoio da estrutura considerou-se a combinação mais desfavorável, para a combinação de acções.

$$R_i = 1,35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE. 1 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

PP- Acções de peso próprio.

SOBRE.1- Sobrecarga

Tabela 4.2- Resumo de reacções nos nós, por combinação

Reacções nos nós, por combinação					
Referência	Combinação		Reacções em eixos globais		
	Tipo	Descrição	R _x (kN)	R _y (kN)	R _z (kN)
N1	Apoio fixo	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	-1,727	2,000	16,514
N13	Apoio móvel	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	0,000	-1,258	16,852
N15	Apoio móvel	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	0,000	-2,122	21,543
N20	Apoio fixo	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	5,677	2,273	23,332
N22	Apoio móvel	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	0,000	-2,772	20,741
N26	Apoio fixo	1,35 · PP + 2 · SOBRE. 1	4,498	3,811	23,407

Reacções nos nós, por combinação					
Referência	Combinação		Reacções em eixos globais		
	Tipo	Descrição	R_x (kN)	R_y (kN)	R_z (kN)
N28	Apoio móvel	$1,35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE.1$	0,000	-4,331	19,004
N33	Apoio fixo	$1,35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE.1$	-8,449	2,400	14,887

Fonte: Autor do trabalho

4.1.4 Cálculo dos esforços nas barras

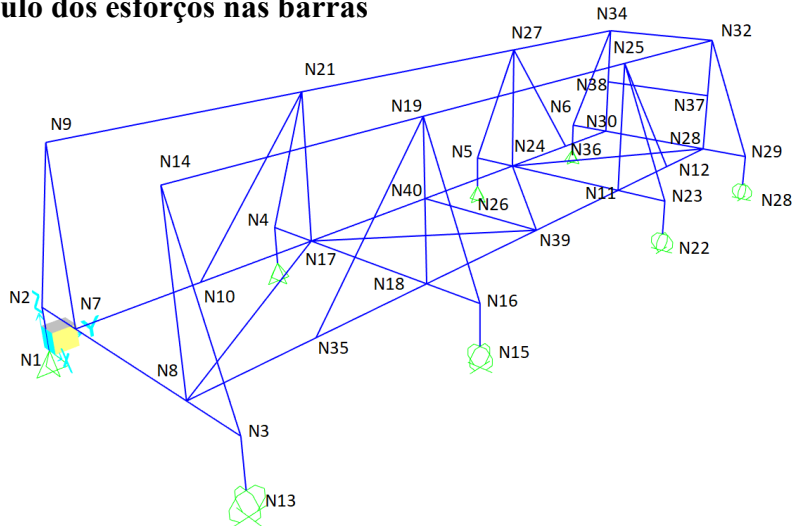


Figura 4-4- Número dos nós das barras

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5 Esforços nos tubos do quadro frontal

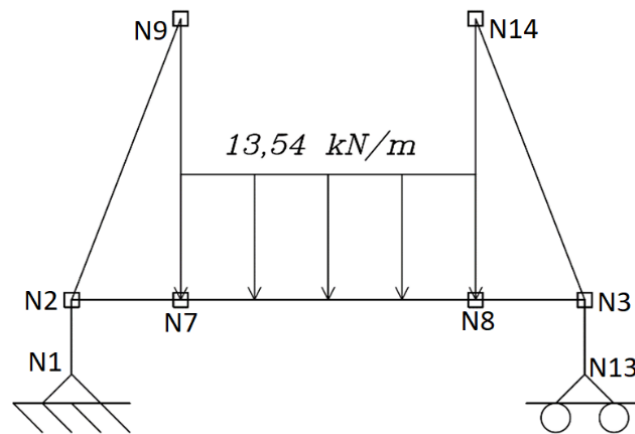


Figura 4-5- Quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5.1 Esforço axial actuante e esforço axial de tracção para quadro frontal.

Tubo N1/N2- (Os esforços ver no apêndice A, tabela A-1)

$N_{c,Ed}$: Esforço axial de compressão actuante de cálculo desfavorável.

$$1,35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE.1$$

Equação 4.2

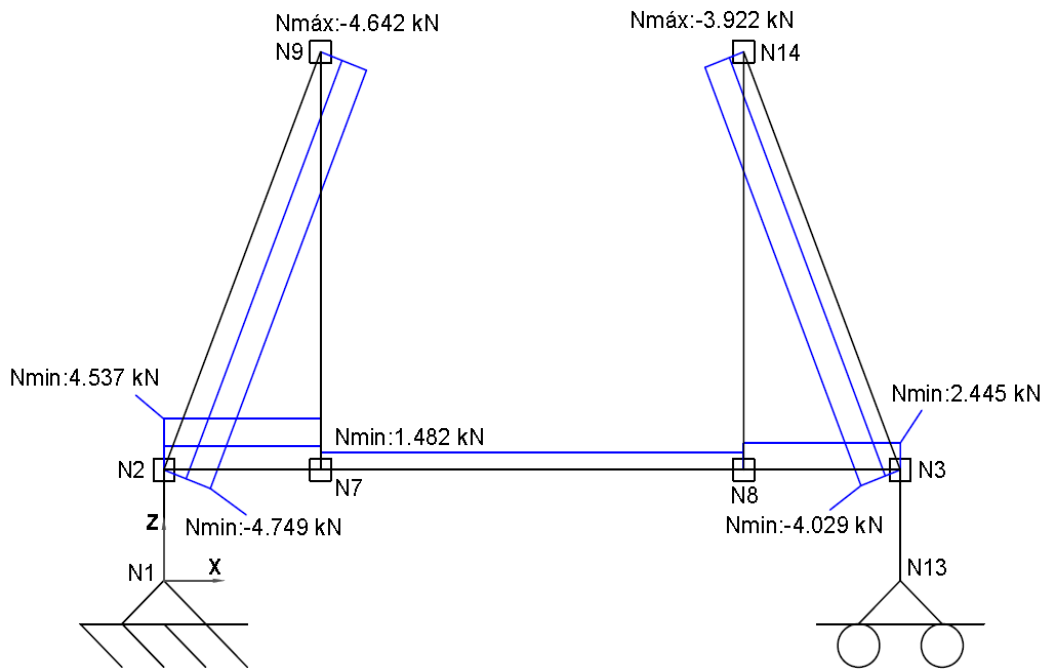


Figura 4-6 - Diagrama de esforço axial e esforço axial de tracção do quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5.2 Esforço transverso actuante de cálculo desfavorável para quadro frontal.

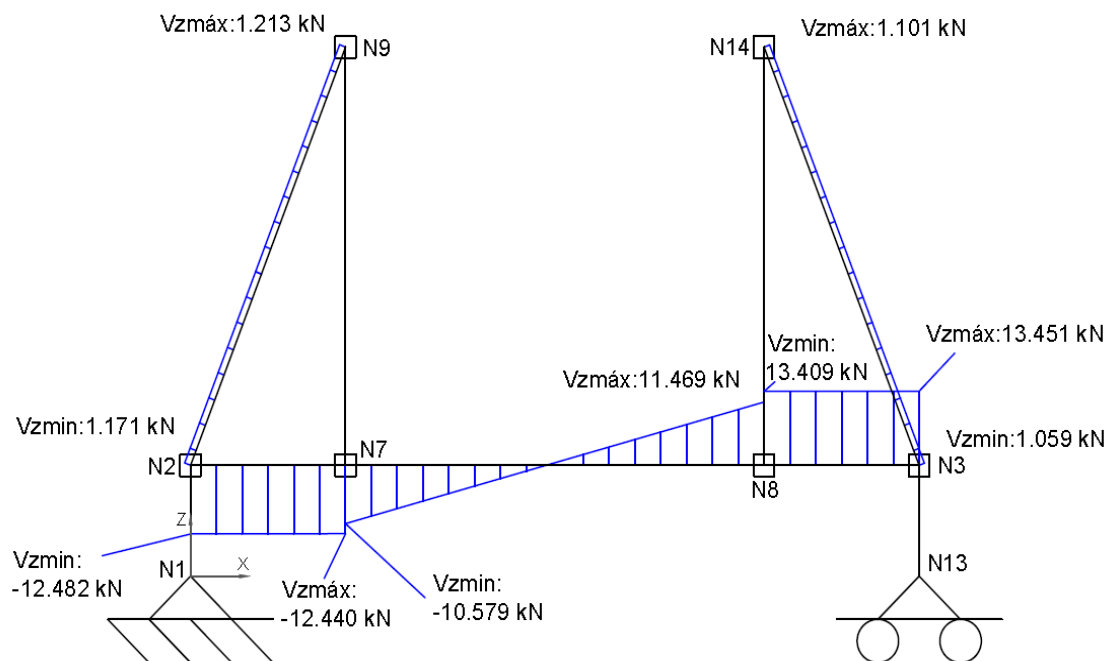


Figura 4-7- Diagrama de esforço transverso do quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5.3 Momento flector actuante de cálculo desfavorável.

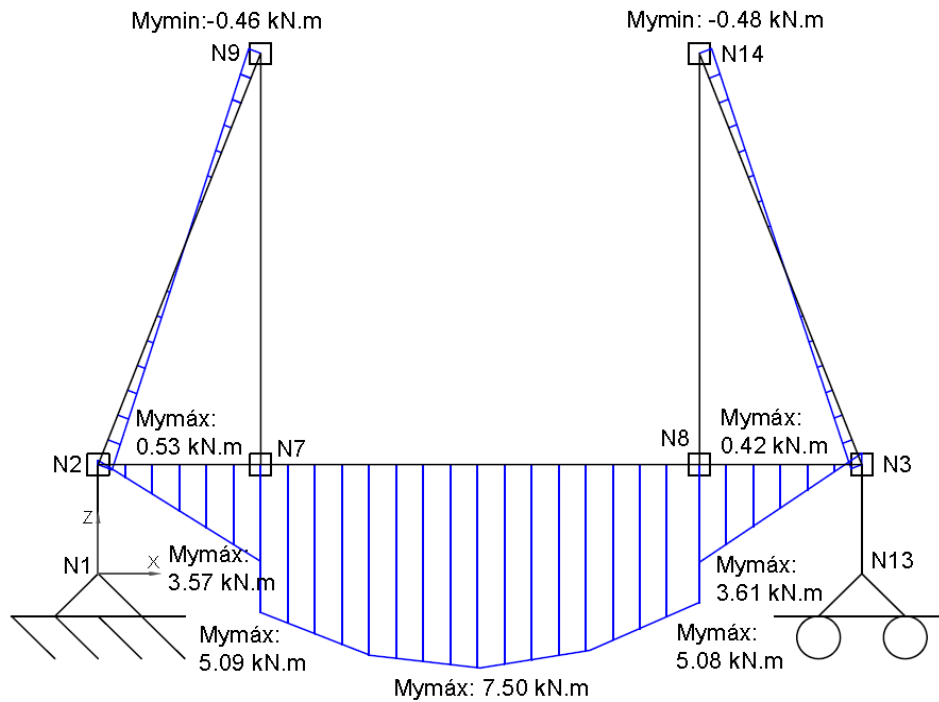


Figura 4-8- Diagrama do momento flector do quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5.4 Diagrama da flecha $F_{xz} = F_{máx}$ para quadro frontal

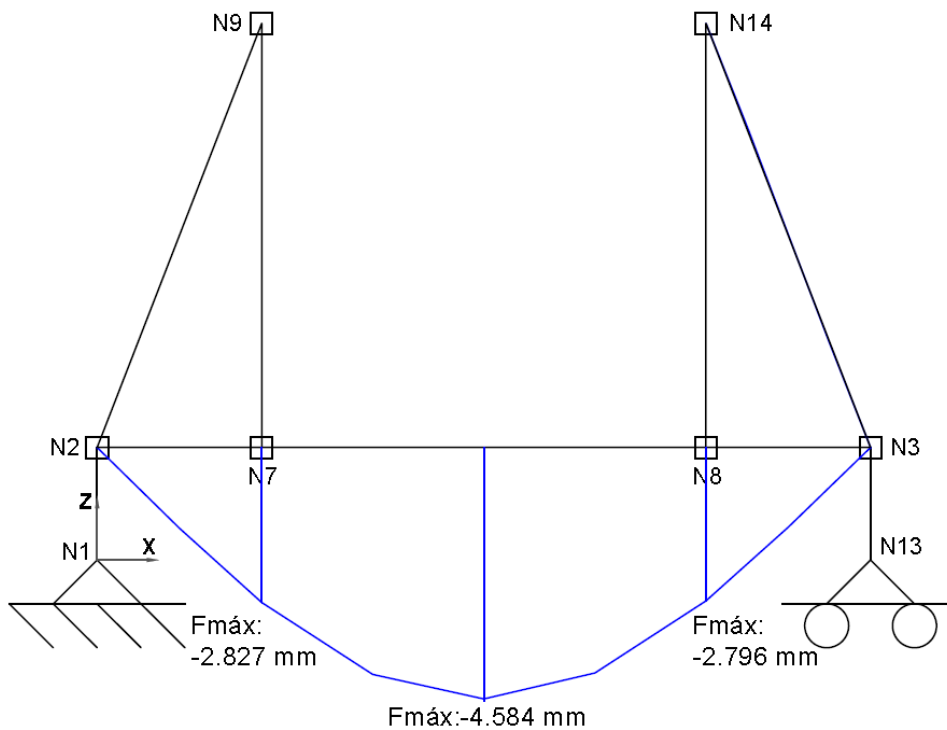


Figura 4-9- Diagrama de flecha F_{xz} do quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

4.1.5.5 Deformação do quadro frontal

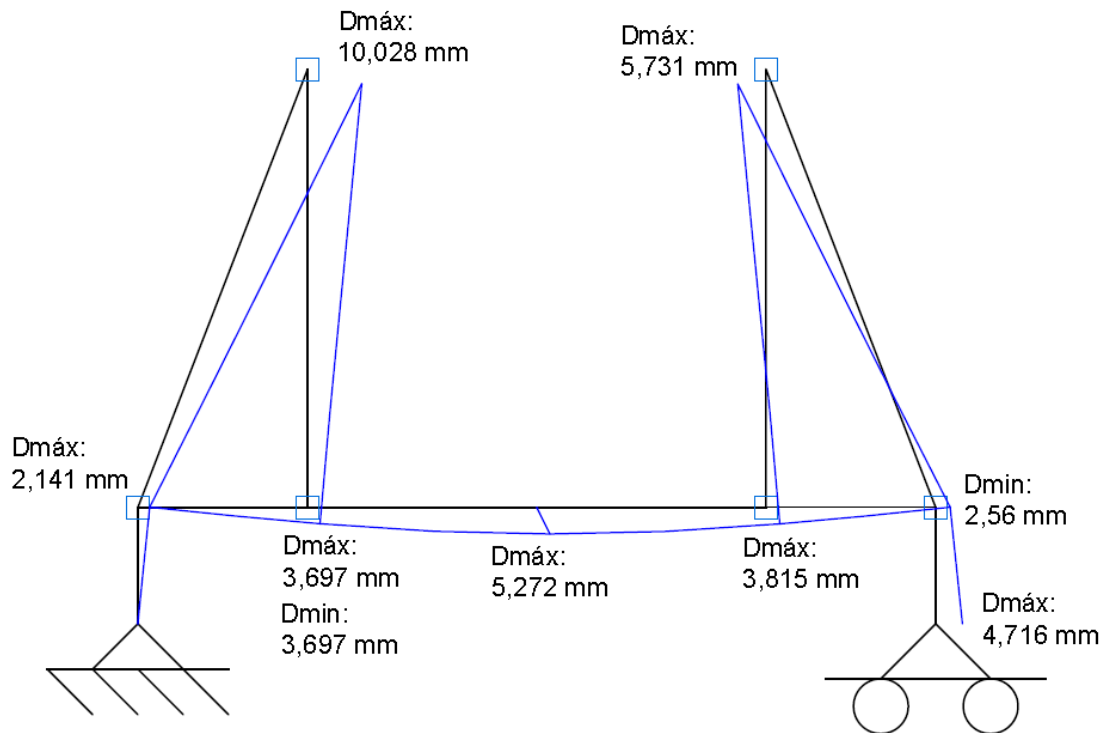


Figura 4-10- Deformação do quadro frontal

Fonte: Autor do trabalho

Nota: acima são demonstrados os diagramas dos esforços internos do quadro frontal mais deformado quando comparado com as outras formas de içamento. Os esforços dos outros quadros para outras formas de içamento ver nos **apêndices B-tabela A-6** quando a estrutura esta apoiada e **apêndice C, tabela A-7** para içamento por dois pontos, Como o quadro frontal e mais carregado quando comparado com o quadro posterior então os esforços de calculo para o quadro posterior serão considerados as do quadro frontal.

4.1.5.6 Deformação global da estrutura metálica

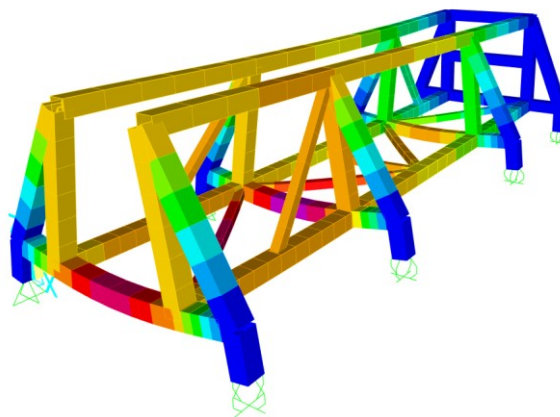


Figura 4-11 - Deformação global da estrutura metálica

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6 Cálculo dos esforços devido ao içamento por 4 pontos.

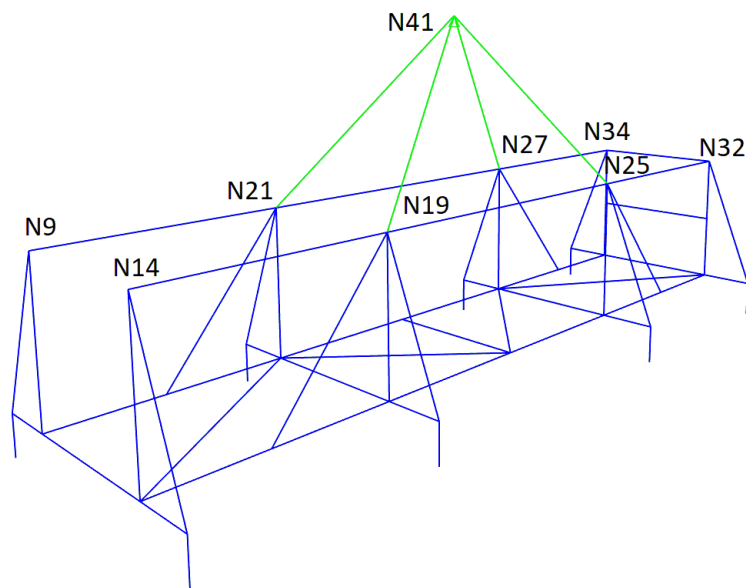


Figura 4-12- Nós para içamento por 4 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.1 Reacções no guancho de içamento, por acções

Tabela 4.3 -Reacções no nó, por acções

Reacções no nó, por acções				
Referência	Descrição	Reacções em eixos globais		
		R _x (kN)	R _y (kN)	R _z (kN)
N41	Peso próprio	0,00	0,00	4,97
	SOBRE. 1	0,00	0,00	74,96

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.2 Reacções no guancho de içamento, por combinação

Tabela 4.4-Reacções no nó, por combinação

Reacções no nó, por combinação					
Referência	Combinação		Reacções em eixos globais		
	Tipo	Descrição	R _x (kN)	R _y (kN)	R _z (kN)
N41	Guancho	1,35·PP+2·SOBRE.1	0,00	0,00	156,12

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.3 Esforço axial actuante do quadro intermédio

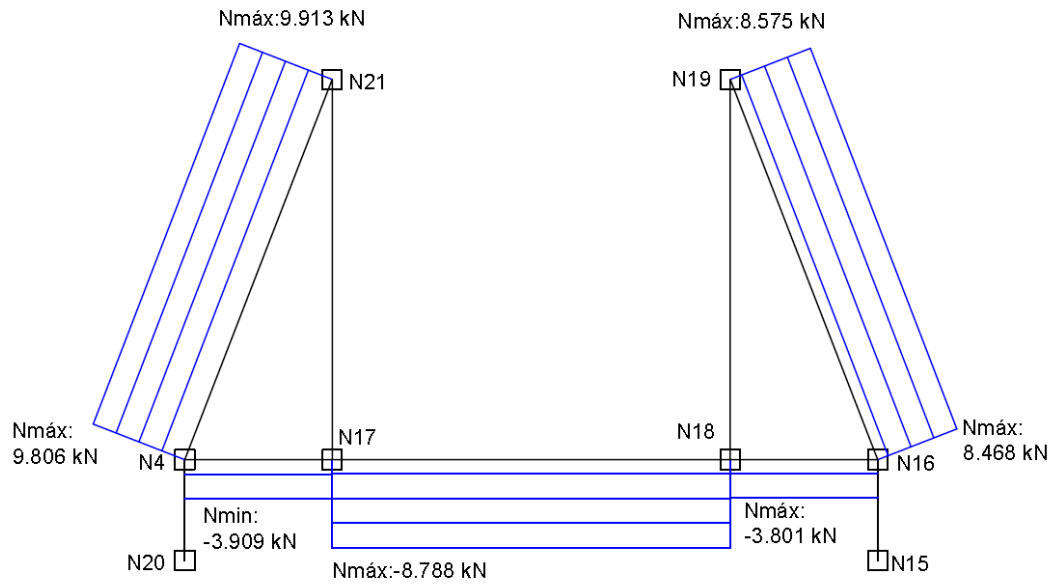


Figura 4-13-Diagrama de esforço transverso actuante do quadro intermédio

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.4 Esforço transversal do quadro intermédio para içamento de 4 pontos

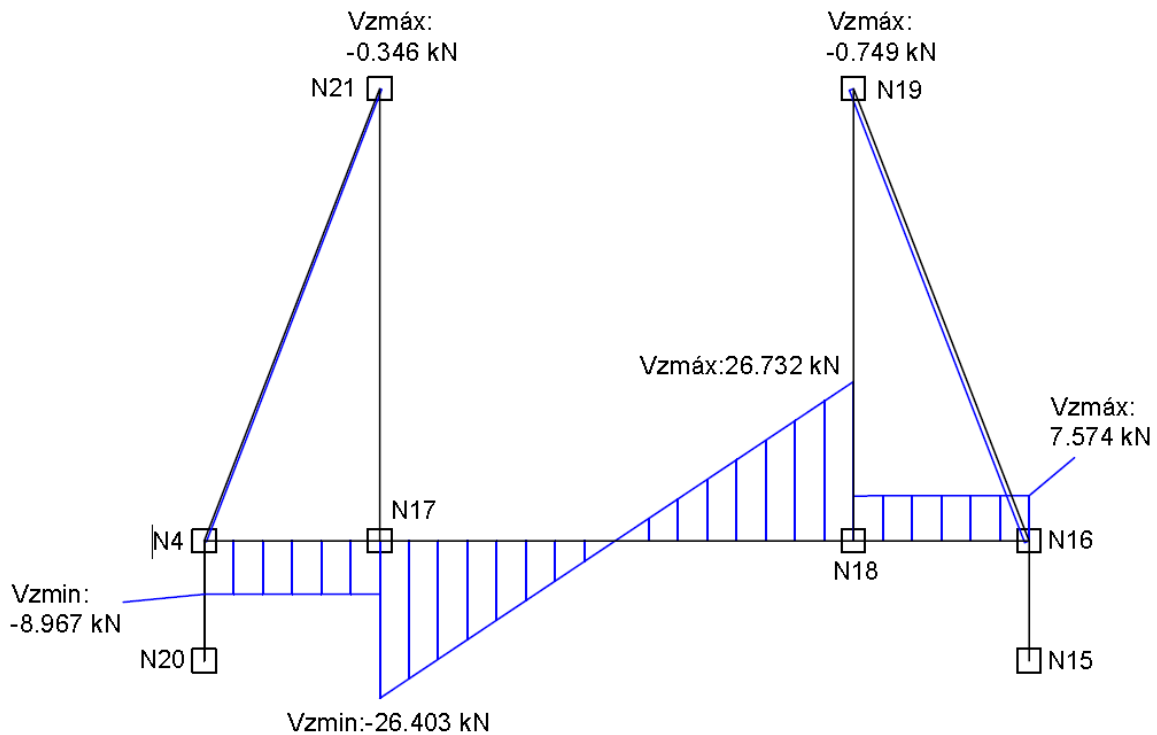


Figura 4-14- Diagrama de esforço transversal actuante do quadro intermedio

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.5 Momento Flector do quadro intermédio para içamento de 4 pontos

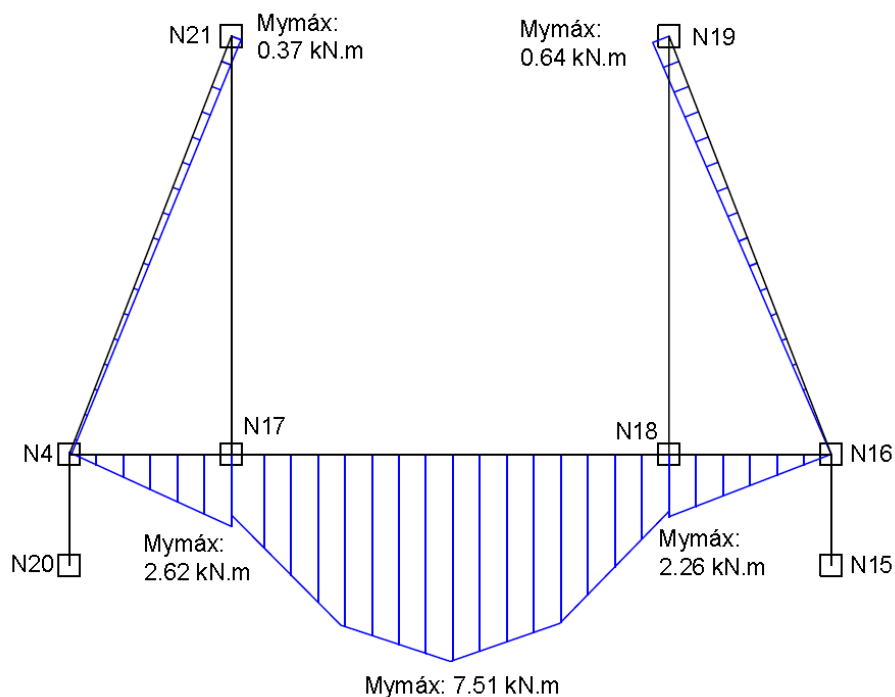


Figura 4-15-Momento flector actuante para quadro intermédio içamento de 4 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.1.6.6 Flechas limites da estrutura para içamento de 4 pontos

Limites dos Deslocamentos Verticais: $\frac{L}{300}$

Para o comprimento máximo de 4100 mm da estrutura metálica temos o deslocamento limite máximo de:

$$\frac{L}{300} = \frac{4100}{300} = 13,66 \text{ mm}$$

Os deslocamentos limites máximo para o comprimento máximo da estrutura será de 13,66 mm

- Flechas limites Fxy da estrutura

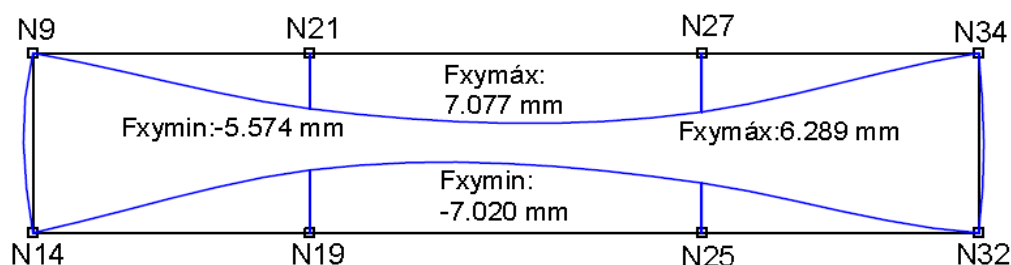


Figura 4-16- Flecha Fxy para quadro cima

Fonte: Autor do trabalho

- **Flechas limites Fxz vista lateral da estrutura**

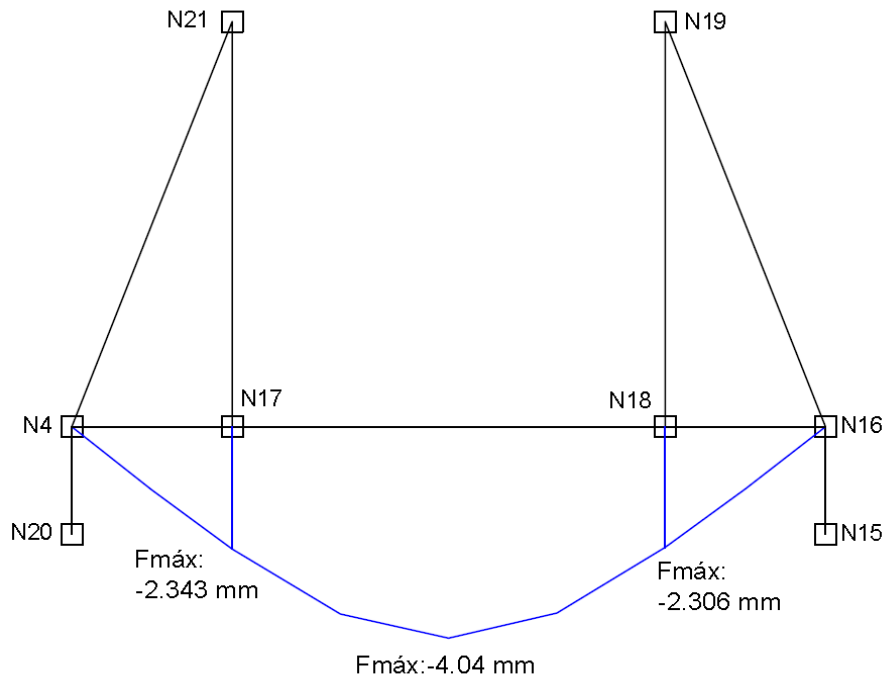


Figura 4-17- Flecha maxima no quadro intermedio

Fonte: Autor do trabalho

- **Deformação global da estrutura devido ao içamento por 4 pontos.**

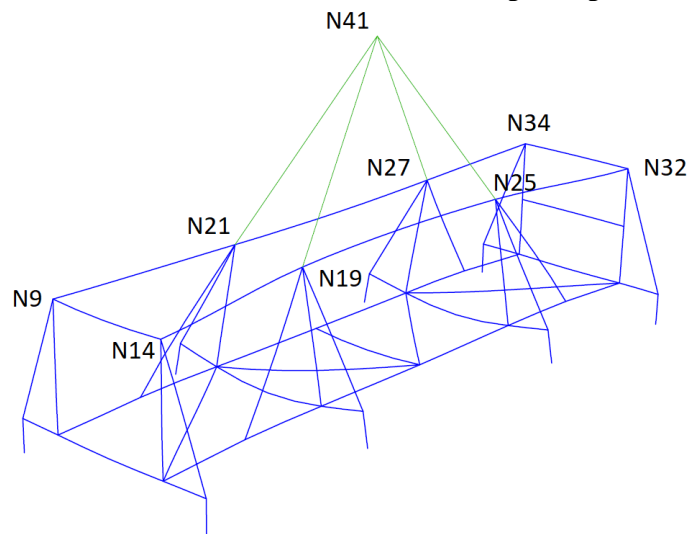


Figura 4-18- Deformação global da estrutura içada por 4 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.1.7 Cálculo dos esforços devido ao içamento por 2 pontos.

Abaixo serão demonstrados os diagramas dos esforços actuantes para os quadros mais carregados para o içamento de 2 pontos da estrutura metálica de referir que esse içamento não é normal e deve ser prevista ao longo do dimensionamento de modo a evitar roptura do material

durante a ocorrência de um acidente de referir que neste caso não se leva em consideração as flechas limites dos materiais.

4.1.7.1 Esforço axial actuante do quadro intermédio para içamento de 2 pontos.

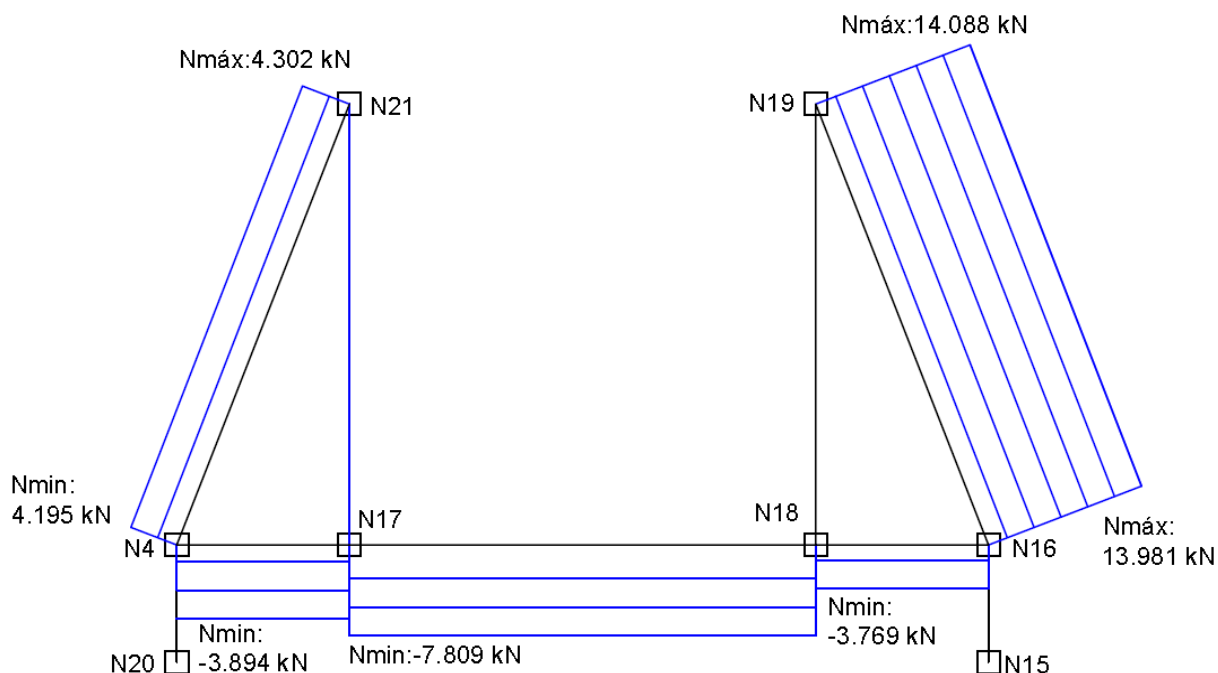


Figura 4-19-Diagrama de esforço axial do quadro frontal para içamento de 2 pontos

Fonte: Autor do trabalho

- Esforço axial actuante do quadro lateral direito mais carregado.

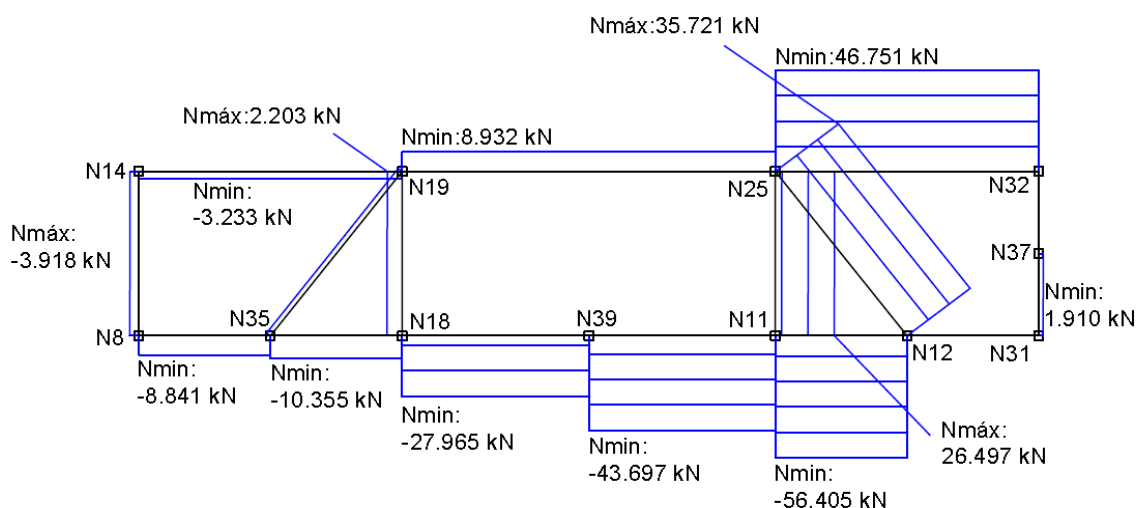


Figura 4-20-Diagrama de esforço axial do quadro lateral direito içamento de 2 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.1.7.2 Esforço transverso do quadro intermédio mais carregado para içamento de 2 pontos.

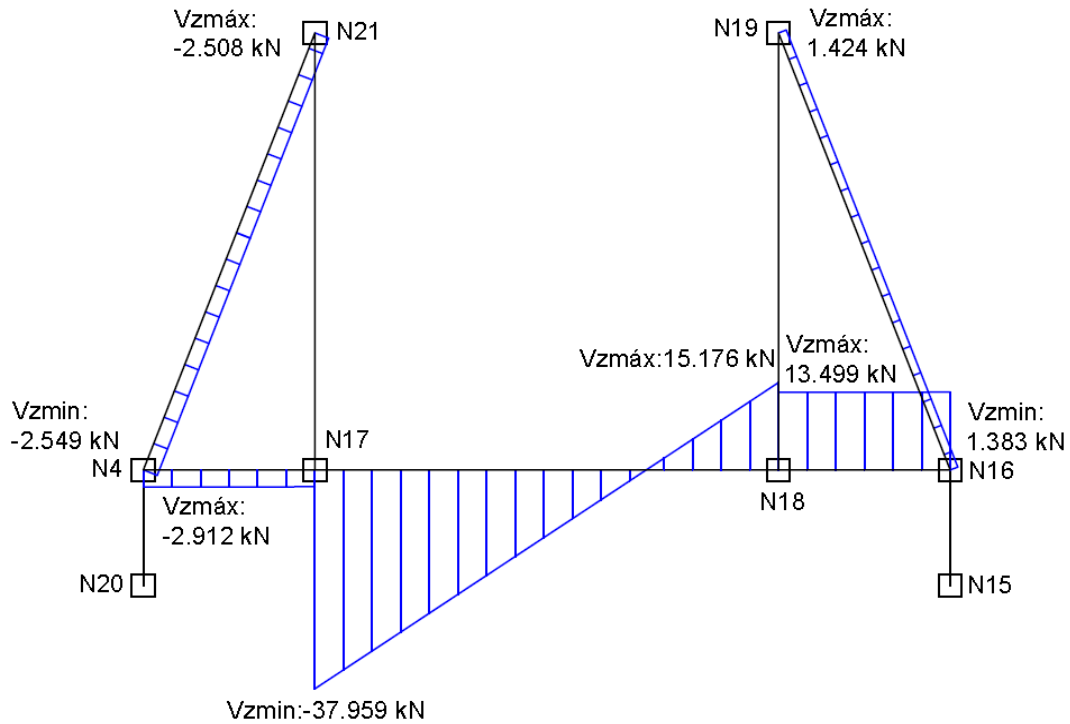


Figura 4-21-Diagrama de esforço transverso do quadro intermédio içamento de 2 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.1.7.3 Momento Flector do quadro intermédio para içamento de 2 pontos.

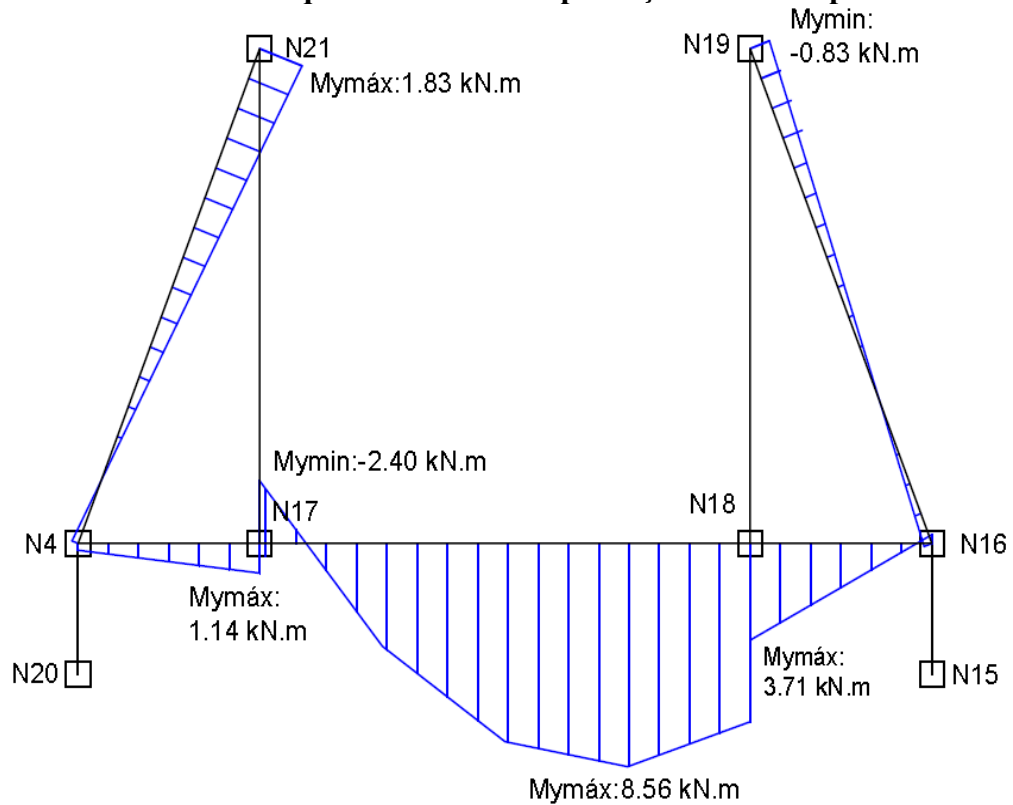


Figura 4-22-Diagrama do momento flector do quadro intermédio içamento de 2 pontos

Fonte: Autor do trabalho

- Deformação global da estrutura devido ao içamento por 2 pontos

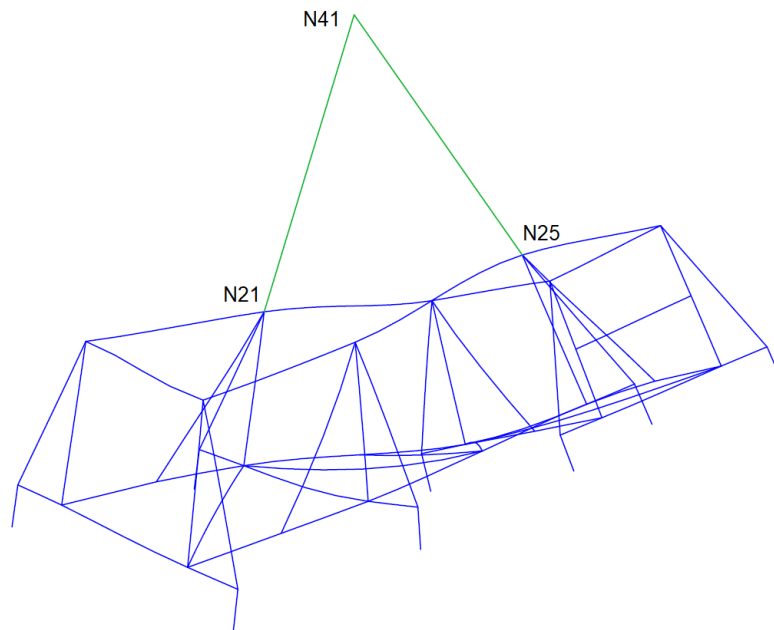


Figura 4-23-Deformação global da estrutura içada por 2 pontos

Fonte: Autor do trabalho

4.2 Dimensionamento dos elementos metálicos

4.2.1 Verificações E.L.U. (Completa)

Nota: Mostra-se a listagem completa de verificações realizadas para os tubos com maior coeficiente de aproveitamento.

Verificação do Tubo N7/N8

O tubo N7/N8 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta apoiada.

Tabela 4.5- Características mecânicas do tubo N7/N8

Perfil: SHS 90x4.0 -Catálogo anexo A							
Material: Aço (S235)							
Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N7	N8	0,205	13,34	161,43	161,43	260,61	
Notas: (1) Inércia relativamente ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme							

Fonte: Autor do trabalho

Verificação do Tubo N7/N8

O tubo N7/N8 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta apoiada.

Resistência à tracção

A verificação ao cálculo a resistência à tracção é desprezível, já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material ver **apêndice D** tabela A-8

Resistência à compressão

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.405 m do nó N7, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,13 + 2 \times 3,66 = 7,50 \text{ kN.m}$$

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \times f_{yd}$$

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = \frac{b \times h^2}{4} - (b - 2 \times t_w) \left(\frac{h}{2} - t_w \right) = \frac{90 \times 90^2}{4} - (90 - 2 \times 4) \left(\frac{90}{2} - 4 \right)^2$$
$$= 44,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Logo teremos:

$$\eta = 7,50/10,44 = 0,718 \leq 1$$

O perfil verifica a flexão no eixo Y

Resistência à flexão eixo Z

A verificação ao cálculo a resistência à flexão é desprezível, já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material ver **apêndice D** tabela A-8

Resistência ao esforço transversal Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{c,Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço transversal actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de acções

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,038 + 2 \times 5,704 = 11,47 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo V_{Ed} é dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Área transversal ao esforço transversal.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w = 2 \times 82 \times 4 = 656 \text{ mm}^2$$

O esforço transversal resistente

$$V_{c,Rd} = 656 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} = 89 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{11,47}{89} = 0,129 \leq 1$$

O perfil verifica ao esforço transversal.

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{x_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de acções 1.35·PP+2·SOBRE.1

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{zy} = K_{zz} = x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{14,8}{1 \cdot 13,34 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{7500}{1 \cdot 44,41 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{400}{44,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,730 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Verificação do Tubo N20/N4

O tubo N20/N4 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta apoiada.

Resistência à compressão

A verificação ao cálculo a resistência à compressão é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5 % da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à flexão eixo Y

A verificação ao cálculo a resistência à flexão no eixo Y é desprezível, já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.405 m do nó N4, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,02 + 2 \times 0,57 = 1,16 \text{ kN.m}$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,16}{10,44} = 0,112 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Z

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{x_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de acções 1.35·PP+2·SOBRE.1

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{zy} = 0,58$$

$$K_{zz} = 0,97$$

$$x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{233,3}{1 \cdot 13,34 \cdot 235} + 0,58 \cdot \frac{470}{1 \cdot 44,41 \cdot 235} + 0,97 \cdot \frac{1160}{44,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,208 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Verificação do Tubo N17/N18

O tubo N17/N18 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura está inçada por 2 pontos.

Resistência à tracção

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à compressão

A verificação ao cálculo a resistência à compressão é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.608 m do nó N4, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,22 + 2 \times 4,15 = 8,52 \text{ kN.m}$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{8,52}{10,44} = 0,816 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Y

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N18, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,09 + 2 \times 1,48 = 3,08 \text{ kN.m}$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{3,08}{10,44} = 0,296 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Z

Resistência ao esforço transversal Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{c,Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço transversal actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de acções

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,328 + 2 \times 18,745 = 37,93 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo V_{Ed} é dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Área transversal ao esforço transversal.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w = 2 \times 82 \times 4 = 656 \text{ mm}^2$$

O esforço transversal resistente

$$V_{c,Rd} = 656 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} = 89 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{39,93}{89} = 0,426 \leq 1$$

A secção verifica ao esforço transversal.

Resistência ao esforço transversal Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,198 + 2 \times 3,334 = 6,93 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo V_{Ed} é dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Área transversal ao esforço transversal.

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w = 1334 - 2 \times 82 \times 4 = 678 \text{ mm}^2$$

O esforço transversal resistente

$$V_{c,Rd} = 675 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} = 91,97 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{6,93}{91,97} = 0,075 \leq 1$$

O perfil verifica ao esforço transversal.

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{x_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se a uma distância de 0,608 do nó N17, para a combinação de acções

$$1.35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE.1$$

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{yy} = 0,99$$

$$K_{yz} = 0,59$$

$$x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{77,5}{1 \cdot 13,34 \cdot 235} + 0,99 \cdot \frac{8520}{1 \cdot 44,41 \cdot 235} + 0,59 \cdot \frac{3080}{44,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,93 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Resistência à torção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

$$M_{T,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,198 + 2 \times 3,334 = 2,65 \text{ kN.m}$$

O momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ é por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

Módulo de resistência à torção.

$$W_T = 59,14 \text{ cm}^3$$

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 59,14 \cdot 235 = 8023,95 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{2,65}{8,023} = 0,331 \leq 1$$

A secção verifica a torção.

Resistência ao esforço transversal Z e momento torsor combinados

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

O esforço transversal actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N17, para a combinação de acções.

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,328 + 2 \times 18,745 = 37,93 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo reduzido $V_{pl,T,Rd}$ é dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,Rd}$: Esforço transversal resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} = 89 \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensões tangenciais por torção.

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

W_T : Módulo de resistência à torção.

$$W_T = 59,14 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{2650}{59,17} = 44,86 \text{ Mpa}$$

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{44,86}{235/\sqrt{3}} \right] \cdot 89 = 59,58 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{37,93}{59,58} = 0,637 \leq 1$$

A secção verifica ao esforço transversal Z e momento torsor combinados

Resistência ao esforço transversal Y e momento torsor combinados

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE. 1 = 1,35 \times 0,198 + 2 \times 3,334 = 6,93 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo reduzido $V_{pl,T,Rd}$ é dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,Rd}$: Esforço transversal resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} = 91,97 \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensões tangenciais por torção.

W_T : Módulo de resistência à torção.

$$W_T = 59,14 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{2650}{59,17} = 44,86 \text{ Mpa}$$

$$V_{pl,Rd} = \left[1 - \frac{44,86}{235/\sqrt{3}} \right] \cdot 91,97 = 61,56 \text{ kN}$$

Logo teremos:

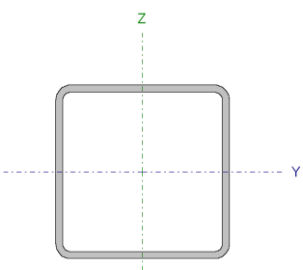
$$\eta = \frac{6,93}{61,56} = 0,113 \leq 1$$

A secção verifica ao esforço transversal Y e momento torsor combinados

Verificação do Tubo N17/N39

O tubo N17/N39 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta inçada por 2 pontos.

Tabela 4.6- Características mecânicas do tubo N17/N39

Perfil: SHS 60x2.5- Catálogo anexo A																					
Material: Aço (S235)																					
	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Nós</th><th rowspan="2">Comprimento (m)</th><th colspan="4">Características mecânicas</th></tr><tr><th>Inicial</th><th>Final</th><th>Área (cm²)</th><th>I_y⁽¹⁾ (cm⁴)</th><th>I_z⁽¹⁾ (cm⁴)</th><th>I_t⁽²⁾ (cm⁴)</th></tr></thead><tbody><tr><td>N17</td><td>N39</td><td>1.174</td><td>5.59</td><td>30.26</td><td>30.26</td><td>48.63</td></tr></tbody></table>	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas				Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	N17	N39	1.174	5.59	30.26	30.26	48.63
	Nós		Comprimento (m)		Características mecânicas																
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)														
N17	N39	1.174	5.59	30.26	30.26	48.63															
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia relativamente ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme																					

Fonte: Autor do trabalho

Resistência à tracção

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N20, para a combinação de acções $N_{c,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,359 + 2 \times 5,627 = 11,74 \text{ kN}$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Ed}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Ed} = A \times f_{yd}$$

$$A = 559 \text{ mm}^2 \quad \text{e} \quad f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Onde: } \gamma_{M0} = 1$$

$$N_{c,Ed} = 559 \times 235 = 131,36 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{11,75}{131,36} = 0,089 \leq 1$$

A secção verifica à compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.608 m do nó N4, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,06 + 2 \times 1,06 = 2,20 \text{ kN.m}$$

$$W_{pl,y} = \frac{b \times h^2}{4} - (b - 2 \times t_w) \left(\frac{h}{2} - t_w \right) = \frac{60 \times 60^2}{4} - (60 - 2 \times 2,5) \left(\frac{60}{2} - 2,5 \right)^2 = 12,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 12410 \times 235 = 2916,35 \text{ kN.mm} = 2,92 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{2,20}{2,92} = 0,756 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Y

Resistência à flexão eixo Z

A verificação ao cálculo da resistência à flexão é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{x_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se a uma distância de 0,608 do nó N17, para a combinação de acções

$$1.35 \cdot PP + 2 \cdot SOBRE.1$$

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 12,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{yy} = 1,01$$

$$K_{yz} = 0,61$$

$$x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{11,74}{1 \cdot 5,59 \cdot 235} + 1,01 \cdot \frac{2200}{1 \cdot 12,41 \cdot 235} + 0,61 \cdot \frac{160}{12,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,854 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Verificação do Tubo N12/N25

O tubo N12/N25 de 0,979 metros de comprimento a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.6, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta inçada por dois pontos.

Resistência à tracção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

O esforço axial de tracção actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N25, para a combinação de acções

$$N_{t,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 1,312 + 2 \times 16,972 = 35,71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo à tracção $N_{t,Rd}$ vem dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 559 \times 235 = 131,25 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{35,71}{131,25} = 0,272 \leq 1$$

O perfil verifica a tracção

Resistência à compressão

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

O momento flector actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N12, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^- = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,03 + 2 \times 0,41 = 0,88 \text{ kN.m}$$

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \times f_{yd}$$

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 12,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 12410 \times 235 = 2,92 \text{ kN.m}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,88}{2,92} = 0,301 \leq 1$$

O perfil verifica ao momento flector

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

O momento flector actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N25, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,04 + 2 \times 0,58 = 1,22 \text{ kN.m}$$

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = 12410 \times 235 = 2,92 \text{ kN.m}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,22}{2,92} = 0,420 \leq 1$$

O perfil verifica ao momento flector

Resistência ao esforço transversal Z

A verificação ao cálculo a resistência ao esforço transversal é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência ao esforço transversal Y

A verificação ao cálculo a resistência ao esforço transversal é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{x_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de acções 1.35·PP+2·SOBRE.1

$$W_{pl,y} = 12,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{zy} = K_{zz} = x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{35,71}{1 \cdot 5,59 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{1660}{1 \cdot 12,41 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{1340}{12,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,834 \leq 1$$

O perfil verifica a flexão composta.

Verificação do Tubo N12/N31

O tubo N12/N31 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta inçada por 2 pontos.

Resistência à tracção

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N20, para a combinação de acções

$$N_{c,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 1,029 + 2 \times 5,400 = 33,37 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Ed}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Ed} = A \times f_{yd}$$

$$A = 13340 \text{ mm}^2 \quad \text{e} \quad f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Onde: } \gamma_{M0} = 1$$

$$N_{c,Ed} = 13,34 \times 235 = 313,45 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{33,37}{313,45} = 0,106 \leq 1$$

A secção verifica à compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.608 m do nó N4, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,22 + 2 \times 3,03 = 6,36 \text{ kN.m}$$

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 2916,35 \text{ kN.m} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{6,36}{10,44} = 0,609 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Y

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N18, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,03 + 2 \times 0,48 = 1,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10,44 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,00}{10,44} = 0,095 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Z

Resistência ao esforço transversal Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço transversal actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N12, para a combinação de acções

$$V_{Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,739 + 2 \times 9,616 = 20,23 \text{ kN.m}$$

O esforço transversal resistente de cálculo V_{Ed} é dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Área transversal ao esforço transversal.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w = 2 \times 82 \times 4 = 656 \text{ mm}^2$$

O esforço transversal resistente

$$V_{c,Rd} = 656 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} = 89 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{20,23}{89} = 0,227 \leq 1$$

O perfil verifica ao esforço transversal.

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{x_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se a uma distância de 0,608 do nó N17, para a combinação de acções

1.35·PP+2·SOBRE.1

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{yy} = 0,96$$

$$K_{yz} = 0,58$$

$$x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{33,37}{1 \cdot 13,34 \cdot 235} + 0,96 \cdot \frac{6360}{1 \cdot 44,41 \cdot 235} + 0,58 \cdot \frac{1000}{44,41 \cdot 235} \leq 1$$

$$\eta = 0,726 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Verificação do Tubo N16/N19

O tubo N16/N19 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela 4.5, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta inçada por 2 pontos.

Resistência à tracção

A verificação ao cálculo a resistência à tracção é desprezível já que o aproveitamento é menor que 5% da resistência do material, ver **apêndice E** tabela A-9

Resistência à compressão

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

O momento flector actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,03 + 2 \times 0,39 = 0,82 \text{ kN.m}$$

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \times f_{yd}$$

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,82}{10,44} = 0,079 \leq 1$$

O perfil verifica ao momento flector

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

O momento flector actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,02 + 2 \times 2,68 = 5,58 \text{ kN.m}$$

O momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ é dado por:

$$M_{c,Rd} = 44410 \times 235 = 10436,35 \text{ kN.mm} = 10,44 \text{ kN.m}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{5,58}{10,44} = 0,534 \leq 1$$

O perfil verifica ao momento flector

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{x_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de acções

1.35·PP+2·SOBRE.1

$$W_{pl,y} = 44,41 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{zy} = K_{zz} = x_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{13,39}{1 \cdot 13,34 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{820}{1 \cdot 44,41 \cdot 235} + 1 \cdot \frac{5580}{44,41 \cdot 235} \leq 1$$
$$\eta = 0,658 \leq 1$$

O perfil verifica a flexão composta.

Resistência à torção

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de acções

$$M_{T,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,05 + 2 \times 0,96 = 1,99 \text{ kN.m}$$

O momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ é por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

Módulo de resistência à torção.

$$W_T = 59,14 \text{ cm}^3$$

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 59,14 \cdot 235 = 8020 \text{ kN}$$

Logo teremos:

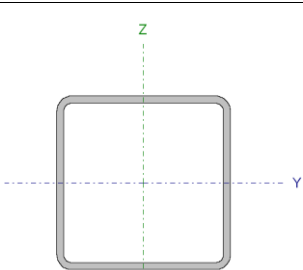
$$\eta = \frac{1,99}{8020} = 0,248 \leq 1$$

A secção verifica a torção.

Verificação do Tubo N21/N27

O tubo N21/N27 a ser verificado tem as características mecânicas listadas na tabela abaixo, e os maiores esforços do tubo ocorrem quando a estrutura esta inçada por 2 pontos.

Tabela 4.7- Características mecânicas do tubo N16/N19

Perfil: SHS 90x6.0- Catálogo anexo A							
Material: Aço (S275)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N21	N27	1.700	19.21	219.08	219.08	366.92
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia relativamente ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							

Fonte: Autor do trabalho

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N20, para a combinação de acções

$$N_{c,Ed} = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE. 1 = 1,35 \times 0,704 + 2 \times 13,610 = 28,17 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Ed}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Ed} = A \times f_{yd}$$

$$A = 19210 \text{ mm}^2 \quad e \quad f_y = 275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1} = 275 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Onde: } \gamma_{M0} = 1$$

$$N_{c,Ed} = 19,21 \times 275 = 528,31 \text{ kN}$$

Logo teremos:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{28,17}{528,31} = 0,053 \leq 1$$

A secção verifica à compressão.

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N21, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,23 + 2 \times 3,51 = 7,33 \text{ kN.m}$$

$$W_{pl,y} = \frac{b \times h^2}{4} - (b - 2 \times t_w) \left(\frac{h}{2} - t_w \right) = \frac{90 \times 90^2}{4} - (90 - 2 \times 6) \left(\frac{90}{2} - 6 \right)^2 \\ = 63,61 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = 63610 \times 275 = 17,49 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{7,33}{17,49} = 0,419 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Y

Resistência à flexão eixo Z

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexão positiva:

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N18, para a combinação de acções

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \times PP + 2 \times SOBRE.1 = 1,35 \times 0,03 + 2 \times 0,48 = 11,02 \text{ kN.m}$$

$$M_{c,Rd} = 63610 \times 275 = 17,49 \text{ kN.m}$$

Então:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{11,02}{17,49} = 0,630 \leq 1$$

A secção verifica flexão em Z

Resistência à flexão composta

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{x_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{x_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

O esforço actuante de cálculo desfavorável produz-se no nó N21, para a combinação de acções 1.35·PP+2·SOBRE.

Módulo resistente plástico correspondente à fibra com maior tensão, secções de classe 1 e 2

$$W_{pl,y} = 63,61 \text{ cm}^3$$

Termos auxiliares:

$$K_{zy} = 0,6$$

$$K_{zz} = 1$$

$$\chi_{LT} = \chi_z = 1$$

$$\eta = \frac{28,17}{1 \cdot 19,21 \cdot 275} + 0,6 \cdot \frac{7330}{1 \cdot 63,61 \cdot 275} + 1 \cdot \frac{1102}{63,61 \cdot 275} \leq 1$$

$$\eta = 0,938 \leq 1$$

A secção verifica a flexão composta.

Modelo ilustrativo dos nós principais verificados

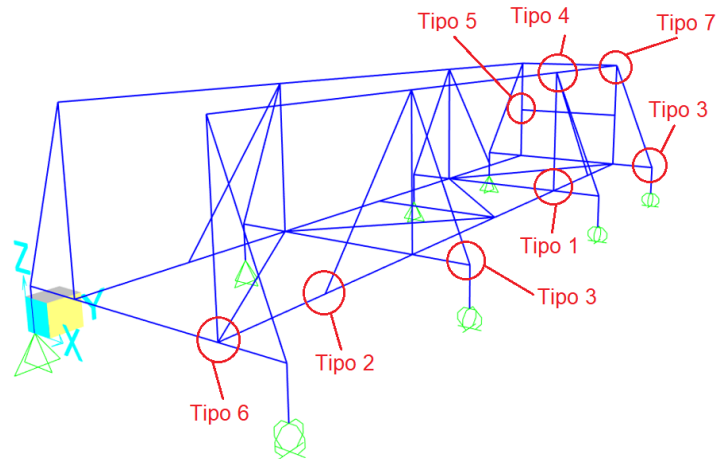


Figura 4-24- Numeração dos nós verificados quanto a resistência

Fonte: Autor do trabalho

4.2.2 Dimensionamento de ligações soldadas

Ligação tipo 1

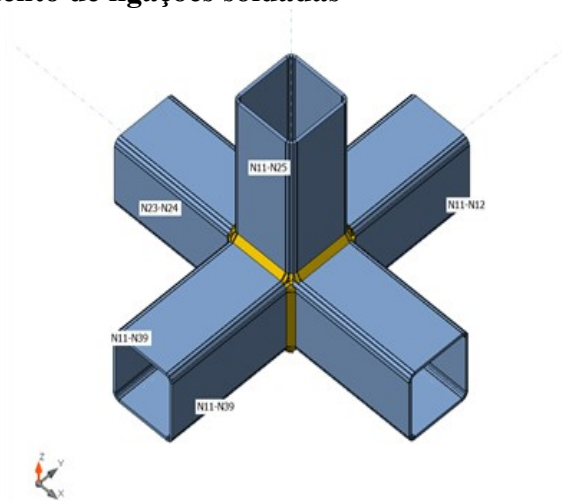


Figura 4-25-Ligação tipo 1 nó 11

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.8-Secções transversais tipo 1 nó 11

Dimensões	Material
SHS-90x90 x4	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Efeitos de carga (forças em equilíbrio)

Os esforços nos tubos N11-N39, N11-25, N11-12 ver no **apêndice C, tabela A-7**

Soldaduras (redistribuição plástica)

Tabela 4.9-Redistribuição de tensão tipo 1 nó 11

Item	Garganta th. [mm]	Comprimento [mm]	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} MPa	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} MPa	Ut [%]	U _t c [%]
N11-N39	5.0	331	352.9	73.4	-12.4	198.9	98.0	38.3
N11-N25	5.0	331	352.8	247.1	-19.9	144.0	98.0	26.2
N11-N12	5.0	331	353.3	246.4	1.2	146.1	98.1	43.9

Fonte: Autor do trabalho

Resultado detalhado para N11-N39

O valor de calculo da resistência do cordão de angulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes.

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[73,4^2 + 3(198,9^2 + (-12,4)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$352,9 \text{ MPa} \leq 360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 73,4 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{352,9}{360}; \frac{73,4}{259,2}\right) = 98 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N11-N25

$$[247,1^2 + 3(144^2 + (-19,9)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$352,8 \text{ MPa} \leq 360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 247,1 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{352,8}{360}; \frac{247,1}{259,2}\right) = 98 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N11-N25

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[246,4^2 + 3(146,1^2 + 1,2^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$353,3 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 246,4 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353,3}{360}; \frac{246,4}{259,2}\right) = 98,1 \% \quad \text{Verifica}$$

Estresse equivalente (elementos finitos)

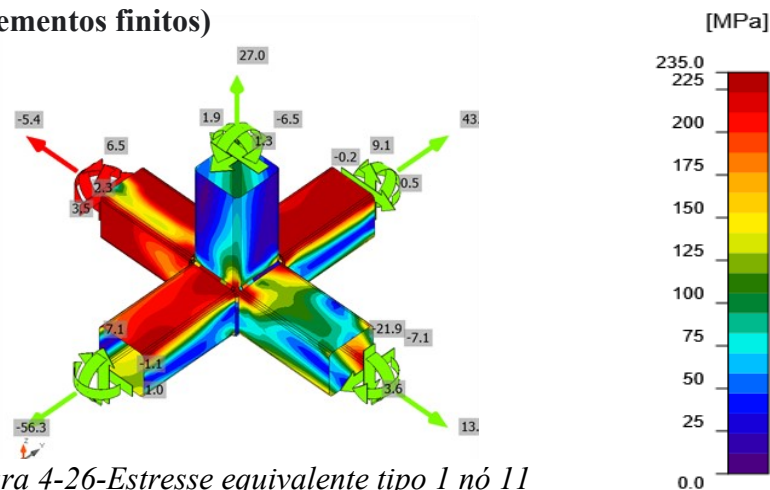


Figura 4-26-Estresse equivalente tipo 1 nó 11

Fonte: Autor do trabalho

Nota: A combinação de soldadura em bisel e soldadura em ângulo gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

- Soldadura de ângulo- Adota-se a espessura de garganta cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

Ligação tipo 2

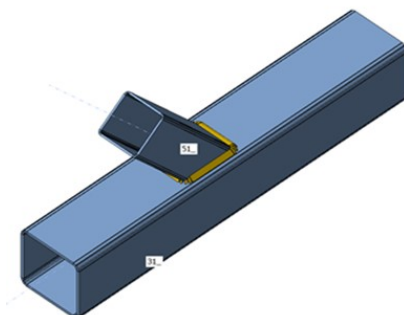


Figura 4-27-Ligação tipo 2 nó 12

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.10-Secções transversais tipo 2 nó 12

Nome	Material
SHS 90x90x4	S235JR
SHS 60x60x2.5	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Efeitos de carga (forças em equilíbrio)

Os esforços no tubo N12-N25 ver no apêndice C, tabela A-7

Soldaduras (redistribuição plástica)

Tabela 4.11-Redistribuição de tensão tipo 2 nó 12

Item	Garganta th. [mm]	Comprimento [mm]	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} MPa	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} MPa	Ut [%]	U _t c [%]
N12-N25	4.0	255	353.0	246.4	-83.2	119.9	98.1	35.1

Fonte: Autor do trabalho

Resultado detalhado para N11-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[246,4^2 + 3(119,9^2 + (-83,2)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$353,0 \text{ MPa} \leq 360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,4 \text{ MPa} \geq 246,4 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353,0}{360}; \frac{246,4}{259,2}\right) = 98,1 \% \quad \text{Verifica}$$

Estresse equivalente (elementos finitos)

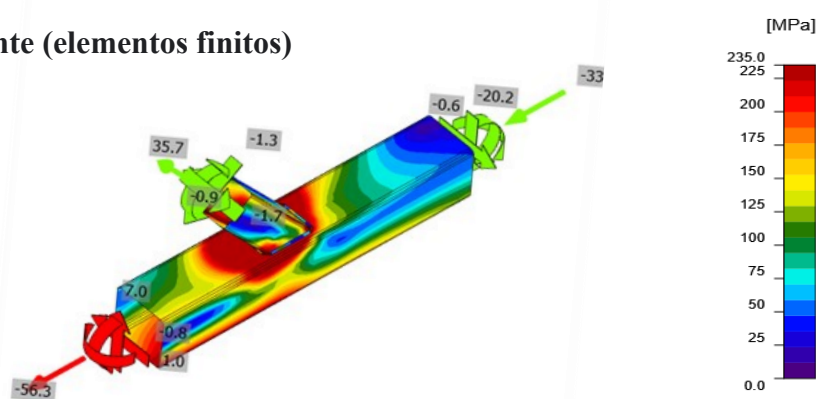


Figura 4-28-Estresse equivalente tipo 2 nó 12

Fonte: Autor do trabalho

Ligação tipo 3

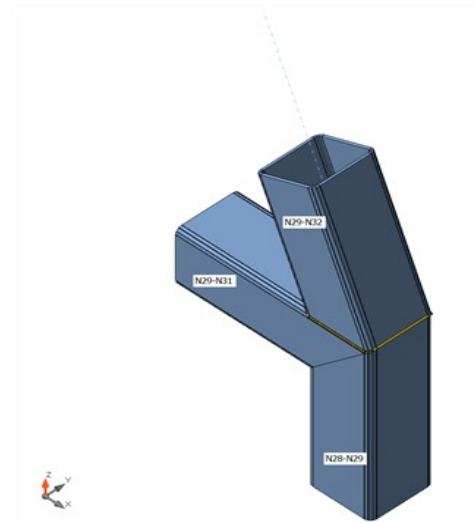


Figura 4-29-Ligação tipo 3 nó 29

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.12-Secções transversais tipo 3 nó 29

Dimensões	Material
SHS-90x90x4	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Efeitos de carga (forças em equilíbrio)

Os esforços nos tubos N29-N31 e N29-N32 ver no apêndice C, tabela A-7

Soldaduras (redistribuição plástica)

Tabela 4.13-Redistribuição de tensão tipo 3 nó 29

Item	Gargant a th. [mm]	Compri mento [mm]	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} MPa	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} MPa	Ut [%]	Ut _c [%]
N29-N32	5.0	339	336.1	-3.0	172.7	88.4	93.4	25.8
N29-N31	5.0	327	353.2	-46.0	-95.4	-178.3	98.1	31.7

Fonte: Autor do trabalho

Resultado detalhado para N29-N32

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

O valor de calculo da resistência do cordão de angulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes.

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[(-3)^2 + 3(88,4^2 + (172,7)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$336,1 \text{ MPa} \leq 360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 3 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{336,1}{360}; \frac{3}{259,2}\right) = 93,4 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N29-N31

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[(-46)^2 + 3(178,3^2 + (-95,4)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$353,2 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 46 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353,2}{360}; \frac{46}{259,2}\right) = 98,1 \% \quad \text{Verifica}$$

Estresse equivalente (elementos finitos)

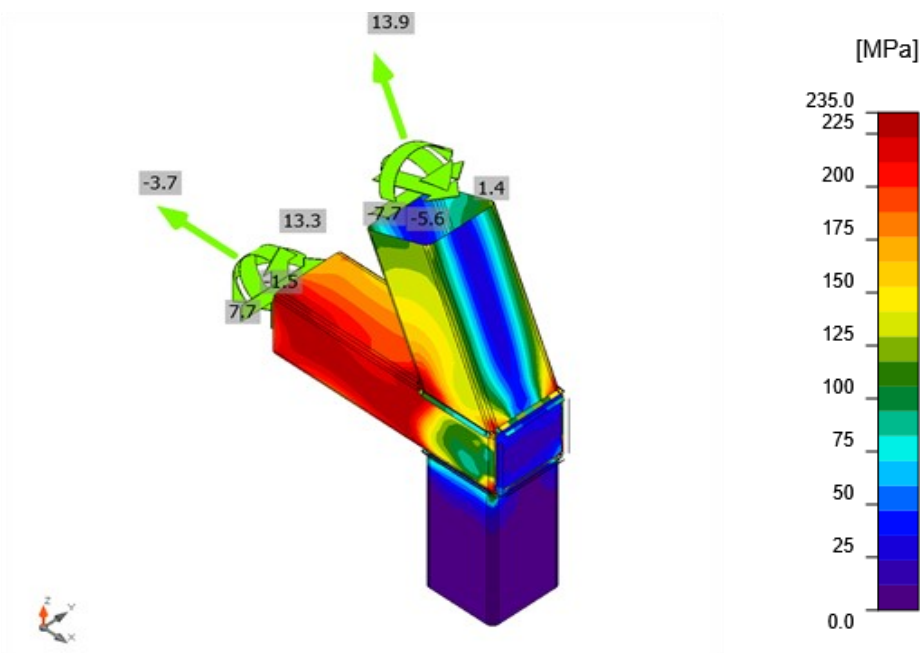


Figura 4-30-Estresse equivalente tipo 3 nó 29

Fonte: Autor do trabalho

Nota: A combinação de soldadura em bisel e soldadura em ângulo gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

- Soldadura de ângulo- Adopta-se a espessura de garganta cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

Ligação tipo 4

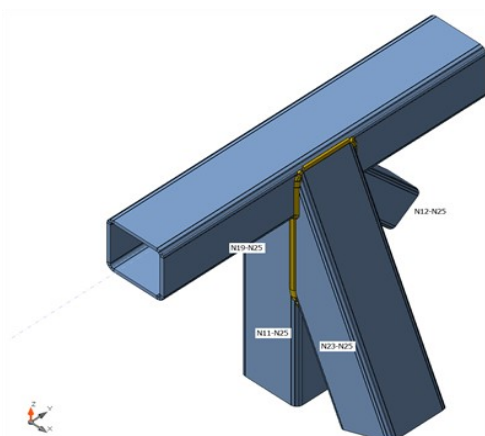


Figura 4-31-Ligação tipo 4 nó 25

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.14-Secções transversais tipo 4 nó 25

Dimensões	Material
SHS-90x90x4	S235JR
SHS-90x90x6	S275JR
SHS-60x60x2.5	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Efeitos de carga (forças em equilíbrio)

Os esforços nos tubos N12-N25, N11-N25, N19-N25, N19- ver no apêndice C, tabela A-7

Soldaduras (redistribuição plástica)

Tabela 4.15-Redistribuição de tensão tipo 4 nó 25

Item	Gargant a th. [mm]	Compri- mento [mm]	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} MPa	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} MPa	Ut [%]	Ut _c [%]
N12-N25	4,0	161	353.0	-87.7	167.7	-104.2	98.0	31.6
N11-N25	4,0	108	297.8	91.8	11.3	163.2	82.7	22.7
N19-N25	4,0	376	209.1	21.0	113.9	38.0	58.1	13.2
N19-N25	4,0	223	353.0	18.1	130.3	-156.4	98.1	11.6
N23-N25	4,0	325	352.9	-69.3	161.9	117.1	98.0	15.4

Fonte: Autor do trabalho

Resultado detalhado para N12-N25 e N11-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

O valor de calculo da resistência do cordão de angulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes.

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[(-87,7)^2 + 3(104,2)^2 + (-104,2)^2]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$353 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 87,7 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353}{360}; \frac{87,7}{259,2}\right) = 98,0 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N11-N25 e N19-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[91,8^2 + 3(163,2^2 + 11,3^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$297,8 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 91,8 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{297,8}{360}; \frac{91,8}{259,2}\right) = 82,7 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N19-N25 e N12-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[21^2 + 3(38^2 + (-113,9)^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$209,1 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 21 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{209,1}{360}; \frac{21}{259,2}\right) = 58,1 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N19-N25 e N23-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[18,1^2 + 3(156,4^2 + 130,3^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$353 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 18,1 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353}{360}; \frac{18,1}{259,2}\right) = 98,1 \% \quad \text{Verifica}$$

Resultado detalhado para N11-N25 e N23-N25

- Verificação da resistência à soldadura (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[(-69,3)^2 + 3(117,1^2 + 161,9^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$359,9 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 69,3 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{359,9}{360}; \frac{69,3}{259,2}\right) = 98,0 \% \quad \text{Verifica}$$

Estresse equivalente (elementos finitos)

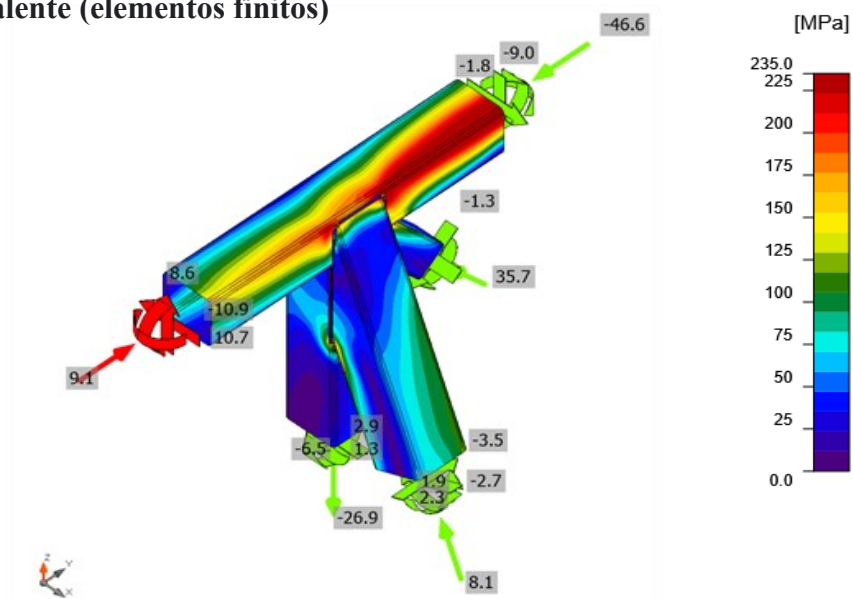


Figura 4-32-Estresse equivalente tipo 4 nó 25

Fonte: Autor do trabalho

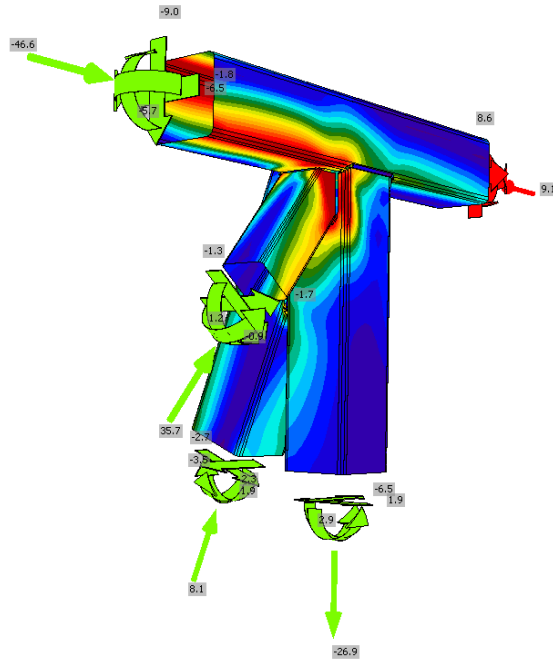


Figura 4-33-Estresse equivalente tipo 4 nó 25

Fonte: Autor do trabalho

Ligação tipo 5

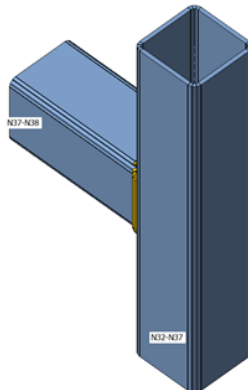


Figura 4-34-Ligação tipo 5 nó 37

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.16-Secções transversais tipo 5 nó 37

Dimensões	Material
SHS-90x90x4	S235JR
SHS-90x90x5	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Efeitos de carga (forças em equilíbrio)

Os esforços no tubo N12-N25 ver no apêndice C, tabela A-7

Soldaduras (redistribuição plástica)

Tabela 4.17-Redistribuição de tensão tipo 5 nó 37

Item	Gargant a th. [mm]	Compri- mento [mm]	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} MPa	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} MPa	Ut [%]	Ut _c [%]
N12-N25	4,0	324	352.9	-22.1	28.3	201.4	98.0	13.8

Fonte: Autor do trabalho

Resultado detalhado para N11-N25 e N12-N25

O valor de calculo da resistência do cordão de angulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes.

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$[(-22,1)^2 + 3(201,4^2 + 28,3^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25}$$

$$352,9 \text{ MPa} \leq 360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 22,1 \text{ MPa}$$

Tensão de utilização

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{352,9}{360}; \frac{22,1}{259,2}\right) = 98,0 \% \quad \text{Verifica}$$

Estresse equivalente (elementos finitos)

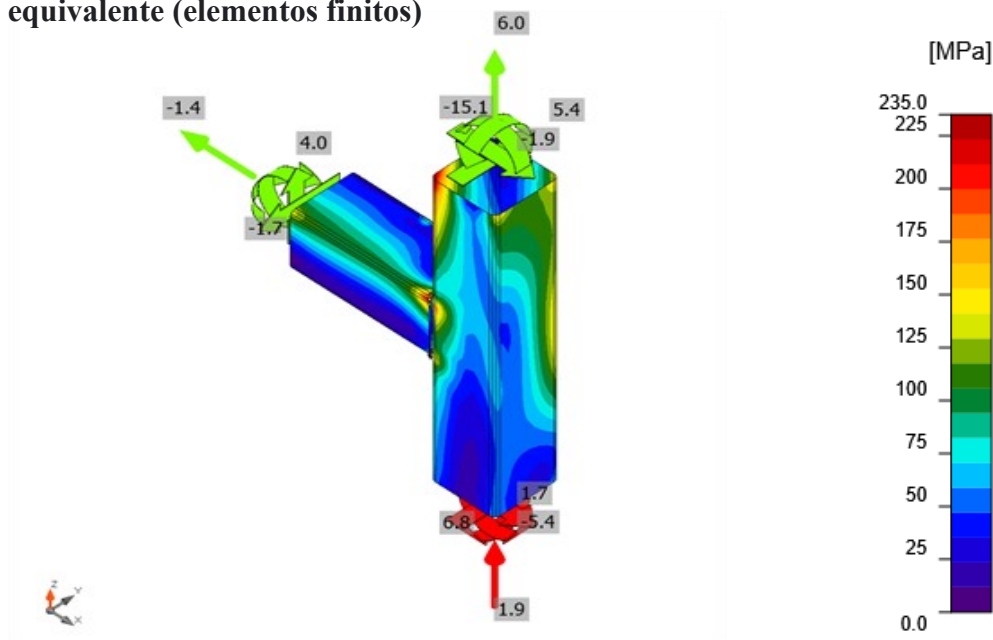


Figura 4-35- Tensão equivalente tipo 5 nó 25

Fonte: Autor do trabalho

Ligação tipo 6

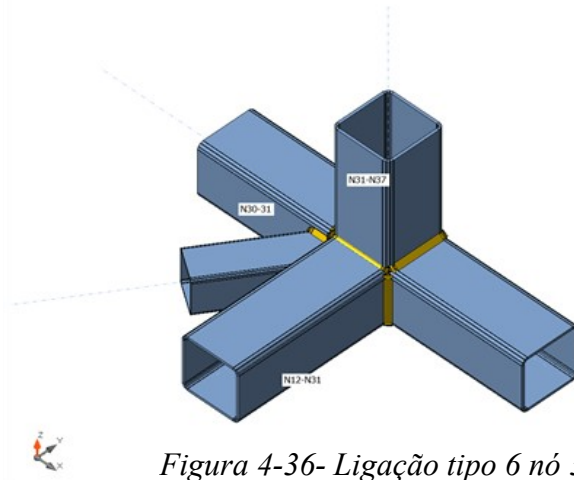


Figura 4-36- Ligação tipo 6 nó 31

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.18-Secções transversais tipo 6 nó 31

Dimensões	Material
SHS-90x90x4	S235JR
SHS-60x60x2.5	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

Estresse equivalente (elementos finitos)

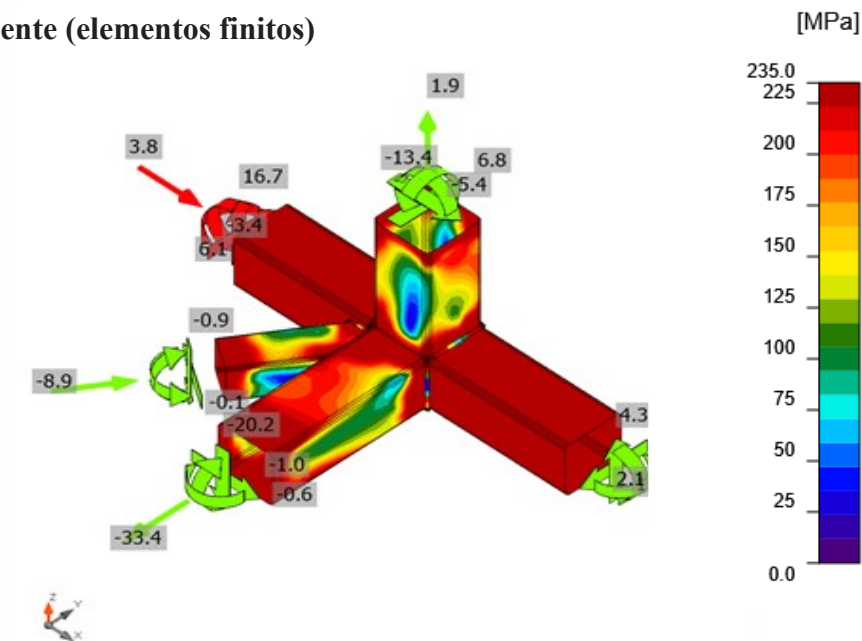


Figura 4-37- Tensão equivalente tipo 6 nó 31

Fonte: Autor do trabalho

Nota: A combinação de soldadura em bisel e soldadura em ângulo gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

- Soldadura de ângulo- Adota-se a espessura de garganta cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

Deformação dos perfis da ligação tipo 6 nó 31 (elementos finitos)

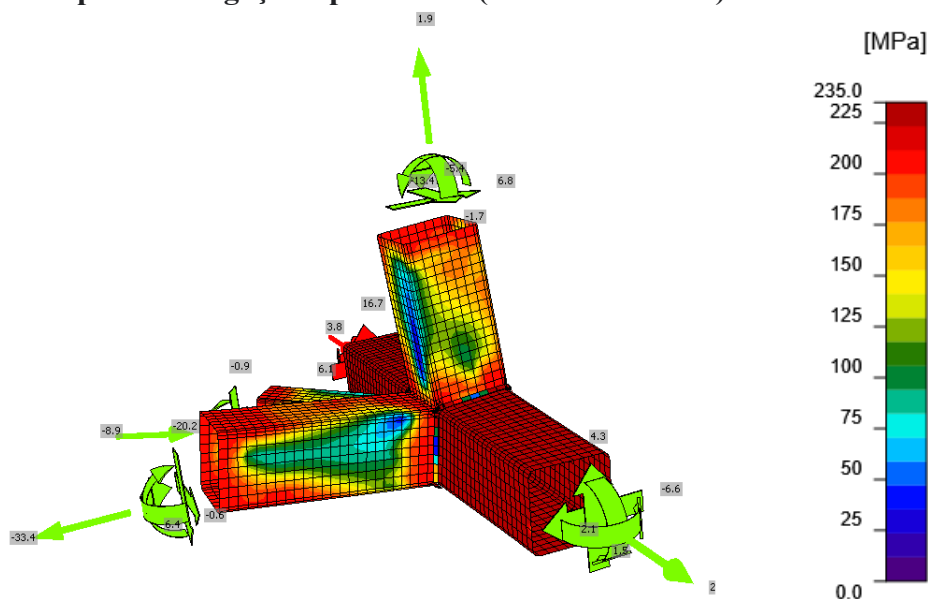


Figura 4-38- Deformação da ligação tipo 6 nó 31

Fonte: Autor do trabalho

Nota: Em casos de acidentes durante o içamento da estrutura metálica a mesma tem uma grande deformação dos perfis que compõem o nó 31 isto significa que sempre que ocorrer um acidente durante um içamento a estrutura deve depois do acidente passar por um trabalho de reparação estrutura

Tensão de utilização soldadura

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{357,7}{360}; \frac{182,6}{259,2}\right) = 99,4 \% \quad \text{Verifica}$$

Ligação tipo 7

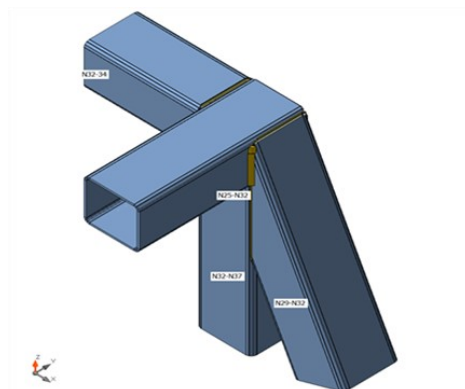


Figura 4-39 Ligação tipo 7 nó 32

Fonte: Autor do trabalho

Secções transversais

Tabela 4.19-Secções transversais tipo 7 nó 32

Dimensões	Material
SHS-90x90x4	S235JR

Fonte: Autor do trabalho

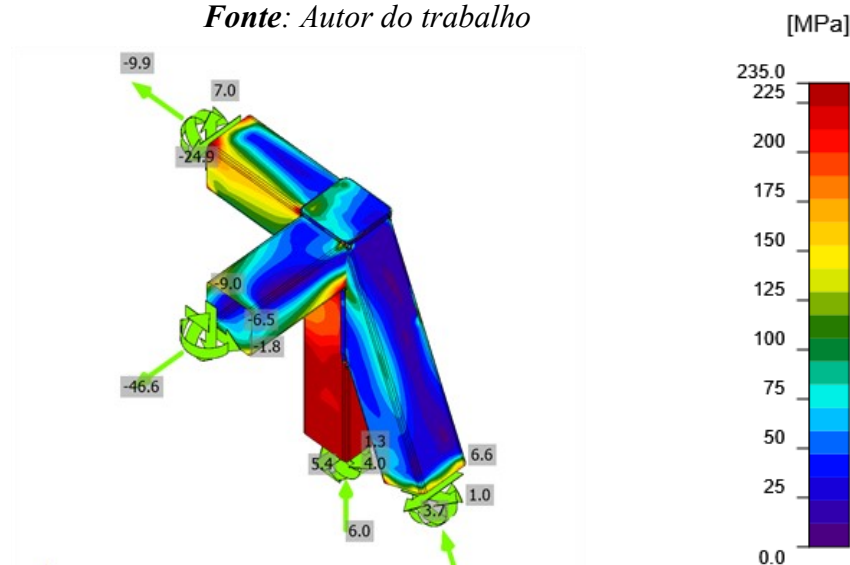


Figura 4-40- Tensão equivalente tipo 7 nó 32

Fonte: Autor do trabalho

Tensão de utilização soldadura

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{N,Ed}}{\sigma_{N,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = \max\left(\frac{353,0}{360}; \frac{150,1}{259,2}\right) = 98,0\% \quad \text{Verifica}$$

Nota: A combinação de soldadura em bisel e soldadura em ângulo gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

- Soldadura de ângulo- Adopta-se a espessura de garganta cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir.

4.2.3 Segurança do projecto dimensionado

O rack metálico para armazenagem e transporte de chapas de alumínio é considerado uma estrutura segura pois verifica aos estados limites últimos bem como os estados limites de serviço.

O rack metálico é equipado com protetores de base de coluna, o objetivo desses equipamentos é evitar danos na carga a ser armazenada na estrutura causada por electricidade e se previu subespessura para os reforços laterais de modo a resistir aos impactos devido as empilhadeiras ao longo da vida útil.

As ligações soldadas são dimensionadas para que a estrutura resiste aos casos mais extremos, em casos de acidentes.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

O presente projeto teve por objetivo o dimensionamento de estrutura para armazenamento e transporte de chapas de alumínio, mais especificamente um rack metálico industrial.

O dimensionamento da estrutura metálica previu falhas tais como içamento inadequado ou ruptura de cintas de içamento devido a sobrecarga ou defeitos na cinta,

Após análise dos resultados da simulação no software de elementos finitos *SAP2000*, verificou-se que as condições da estrutura apoiada e içada por dois pontos apresentam maiores deformações e flechas quando comparados com içamento por 4 pontos e por empilhadeira e com bases nestes dados, o dimensionamento da estrutura foi baseada nestas duas condições, e verificou-se que mesmo nas condições extremas de carregamento estrutural ou acidente ao longo do içamento as tensões não ultrapassam a tensões admissível do material, embora para caso de içamento de 2 pontos as flechas ultrapassam o limite admissível sem ocorrência da ruptura do material e das soldaduras, mais devido a ocorrência de grandes flechas sobre as vigas superiores onde ligam-se os elos de içamento, selecionou-se vigas com maior resistência para minimizar o efeito da flecha naqueles pontos e aumentar a segurança da estrutural.

Observou-se também que os fatores de segurança aplicados para o cálculo dos elos superestimam a força de içamento, gerando um elo que suporta os esforços envolvidos, garantindo com isso a adequação e conformidade da estrutura dimensionada.

RECOMENDAÇÕES

- Sempre realizar inspeção pré-uso dos acessórios de içamento de carga e certificar se as chapas estão totalmente bloqueadas com a barra de bloqueio fornecida.
- É sempre necessário respeitar a capacidade carga dos equipamentos e acessórios de içamento de carga.
- Sempre que existirem irregularidades como deformação, trincas e torção, devem ser analisadas previamente antes do uso da estrutura metálica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLEI I. H. **Edifícios Industriais em Aço**. 6. ed. São Paulo, 2010.
- DNV, Standard for Certification N°.2 .7-1- April 2006: **Offshore containers**
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7ª edição
- J. S. Brazão Farinha e A. Correia dos Reis, "**Tabelas Técnicas**", Edição P.O.B., 1992.
- MARCON, E. **Cálculo de ligações em estrutura metálica**: Aplicações e recomendações normativas. Apresentado em Construmetal 2012.
- NP EN 1993-1-3 – Eurocódigo 3 – **Ações em estruturas**. Parte 1-3: Ações gerais: Ações em edifícios.
- NP EN 1993-1-8 – **Projecto de estruturas de aço**: Projecto de ligações. 2010, Instituto Português da qualidade.
- PFEIL, Walter, PFEIL, Michèle. 2009. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8ª ed., Ed. LTC.
- BM,Betenserv, **Rack Metálico Industrial**, <https://bmv.com.br/racks-metalicos-industriais/>
- ENGESYSTEMS - **Equipamentos para Logística**, <https://www.engesystems.com.br/rack-metalico>
- BEETRACK, **Rack na logística**, <https://www.beetrack.com/es/blog/que-es-rack-en-logistica-significado-tipos-componentes>

REFERÊNCIAS DE IMAGENS

- <https://www.goldmont.com.au/product/steel-sections-rack/>
- <https://www.triconds.com.au/products/accessories/storage-rack/>

APÊNDICES

APÊNDICE A- Tabelas de medição

Tabela A.1 -Tabela de medição de tubos

Tabela de medição						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil (Série)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
Aço laminado	S235	N1/N2	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N13/N3	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N2/N3	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.410	0.002	14.76
		N7/N9	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N8/N14	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N3/N14	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N2/N9	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N15/N16	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N4/N16	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.410	0.002	14.76
		N18/N19	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N16/N19	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N20/N4	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N17/N21	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N4/N21	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N22/N23	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N5/N23	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.410	0.002	14.76
		N11/N25	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N26/N5	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N24/N27	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N5/N27	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N28/N29	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N6/N29	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.410	0.002	14.76
		N31/N32	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N29/N32	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N33/N6	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.205	0.000	2.15
		N30/N34	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.773	0.001	8.09
		N6/N34	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N8/N18	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.200	0.002	12.56
		N18/N11	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.700	0.002	17.80
		N11/N31	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.200	0.002	12.56
		N7/N17	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.200	0.002	12.56
		N17/N24	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.700	0.002	17.80
		N24/N30	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	1.200	0.002	12.56
N10/N21	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	0.979	0.001	4.29		
N35/N19	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	0.979	0.001	4.29		

Tabela de medição						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil (Série)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N12/N25	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	0.979	0.001	4.29
		N36/N27	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	0.979	0.001	4.29
		N38/N37	SHS 90x3.0 (Formado a frio SHS)	0.810	0.001	6.49
		N23/N25	SHS 90x4.0 (Formado a frio SHS)	0.829	0.001	8.68
		N8/N17	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	1.448	0.001	6.35
		N17/N39	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	1.174	0.001	5.15
		N40/N39	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	0.810	0.000	3.55
		N39/N24	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	1.174	0.001	5.15
		N24/N31	SHS 60x2.5 (Formado a frio SHS)	1.448	0.001	6.35
	S275	N34/N32	SHS 90x5.0 (Formado a frio SHS)	0.810	0.001	10.39
		N9/N34	SHS 90x6.0 (Formado a frio SHS)	4.100	0.008	61.83
		N14/N32	SHS 90x6.0 (Formado a frio SHS)	4.100	0.008	61.83

Anotação:
Ni: Nó inicial
Nf: Nó final

Fonte: Autor do trabalho

A1. Resumo de medição de tubos

Tabela A.2 -Resumo de medição de tubos

Resumo de medição												
Material		Perfil	Comprimento			Volume			Peso			
Tipo	Designação		Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Série (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)	
Aço laminado	S235	SHS 90x4.0	28.297			0.038			296.29			
		SHS 60x2.5	9.968			0.006			43.70			
		SHS 90x3.0	0.810			0.001			6.49			
				39.075				0.044		346.48		
				39.075			0.044			346.48		
S275	S275	SHS 90x5.0	0.810			0.001			10.39			
		SHS 90x6.0	8.200			0.016			123.66			
				9.010				0.017		134.05		
					9.010				0.017		134.05	
				48.085			0.061			480.53		

Fonte: Autor do trabalho

A2. Medição de superfícies para tubos

Tabela A.3 - Medição de superfícies a pintar nos tubos

Aço laminado: Medição das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m ² /m)	Comprimento (m)	Superfícies (m ²)
Formado a frio SHS	SHS 90x4.0	0.346	28.297	9.789
	SHS 90x5.0	0.342	0.810	0.277
	SHS 60x2.5	0.231	9.968	2.305
	SHS 90x3.0	0.349	0.810	0.283
	SHS 90x6.0	0.339	8.200	2.779
Total				15.434

Fonte: Autor do trabalho

A3. Tabela de medição da chapa

Tabela A.4- Tabela de medição da chapa

Tabela de medição						
Material		Chapa	Espessura (mm)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
Aço laminado	S235	CP1	5.0	3.321	0.017	130.35

A4. Medição de superfícies na chapa

Tabela A.5- Medição de superfícies a pintar na chapa

Aço laminado: Medição das superfícies a pintar	
Designação	Superfícies (m ²)
S235	6.691
Total	6.691

Fonte: Autor do trabalho

APÊNDICE B- Aproveitamento da resistência quando a estrutura esta apoiada

η : Aproveitamento da resistência. A barra cumpre as condições de resistência do regulamento se cumprir que $\eta \leq 100 \%$.

Tabela A.6 - Verificação de resistência estrutura apoiada

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N2	11.08	0.205	-16.486	1.727	-2.000	0.00	0.41	-0.35	G	Verifica
N13/N3	7.78	0.205	-16.823	0.000	1.258	0.00	-0.26	0.00	G	Verifica
N2/N7	40.16	0.300	4.537	-1.642	-12.440	-0.43	3.57	0.47	G	Verifica
N7/N8	73.05	0.405	1.482	0.805	0.445	-0.05	7.50	0.07	G	Verifica
N8/N3	39.03	0.000	2.445	-2.003	13.409	0.11	3.61	-0.38	G	Verifica
N7/N9	27.10	0.000	2.222	3.034	-2.092	0.00	-0.96	1.79	G	Verifica
N8/N14	26.01	0.000	1.693	-2.922	-1.915	0.08	-0.88	-1.78	G	Verifica
N3/N14	7.72	0.000	-4.029	0.745	1.059	0.07	0.42	0.42	G	Verifica
N2/N9	7.50	0.829	-4.642	-0.359	1.213	0.02	-0.46	0.28	G	Verifica
N15/N16	10.91	0.205	-21.514	0.000	2.122	0.00	-0.44	0.00	G	Verifica
N4/N17	35.50	0.300	-2.421	-2.122	-15.195	-0.23	3.35	0.47	G	Verifica
N17/N18	85.09	0.405	0.150	0.587	-1.662	-0.08	8.79	-0.09	G	Verifica
N18/N16	41.64	0.000	3.996	-2.905	13.069	-0.12	3.49	-0.72	G	Verifica
N18/N19	21.44	0.000	13.797	-3.102	-0.561	-0.04	-0.15	-1.63	G	Verifica
N16/N19	9.08	0.000	-9.280	0.783	0.685	0.03	0.44	0.35	G	Verifica
N20/N4	20.81	0.205	-23.303	-5.677	-2.273	0.00	0.47	1.16	G	Verifica
N17/N21	18.32	0.000	14.003	2.608	-0.449	0.11	-0.01	1.43	G	Verifica
N4/N21	6.99	0.829	-8.591	-0.151	0.159	0.07	-0.07	0.41	G	Verifica
N22/N23	11.90	0.205	-20.712	0.000	2.772	0.00	-0.57	0.00	G	Verifica
N5/N24	19.59	0.300	0.933	-3.671	-8.539	-0.51	1.63	0.38	G	Verifica
N24/N11	63.54	0.405	2.723	0.388	-1.144	-0.05	6.27	-0.27	G	Verifica
N11/N23	32.53	0.000	5.509	-3.852	7.020	-0.04	1.78	-1.43	G	Verifica
N11/N25	18.65	0.773	20.820	-1.495	1.299	-0.67	-0.70	0.56	G	Verifica
N26/N5	20.35	0.205	-23.378	-4.498	-3.811	0.00	0.78	0.92	G	Verifica
N24/N27	15.90	0.773	19.934	1.082	1.230	0.75	-0.57	-0.42	G	Verifica
N5/N27	12.32	0.829	-15.653	-0.140	-0.249	0.57	0.24	0.63	G	Verifica
N28/N29	14.34	0.205	-18.976	0.000	4.331	0.00	-0.89	0.00	G	Verifica
N6/N30	18.20	0.000	17.806	-2.758	4.313	-0.09	0.77	-0.53	G	Verifica
N30/N31	21.64	0.405	20.896	0.555	0.287	0.00	1.29	-0.27	G	Verifica
N31/N29	23.03	0.000	8.656	-4.853	-0.603	-0.55	-0.57	-1.54	G	Verifica
N31/N37	31.20	0.000	17.153	4.179	2.810	-0.14	1.23	1.46	G	Verifica
N37/N32	21.16	0.387	17.655	1.791	2.888	-0.63	-0.95	-0.67	G	Verifica
N29/N32	12.15	0.000	-21.346	0.522	1.001	-0.20	0.40	0.29	G	Verifica

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N33/N6	23.76	0.205	-14.858	8.449	-2.400	0.00	0.49	-1.73	G	Verifica
N30/N38	27.27	0.000	18.234	-3.065	2.364	0.27	1.05	-1.19	G	Verifica
N38/N34	16.55	0.387	18.033	-0.677	2.286	0.70	-0.77	0.36	G	Verifica
N6/N34	18.97	0.000	-21.258	0.358	1.787	0.35	0.96	0.56	G	Verifica
N34/N32	17.12	0.000	-14.433	0.013	0.126	-0.01	0.33	-1.90	G	Verifica
N8/N35	13.67	0.000	7.809	0.145	-3.465	-0.17	-1.11	0.06	G	Verifica
N35/N18	12.45	0.000	11.763	-0.190	1.292	0.00	0.78	-0.13	G	Verifica
N18/N39	13.02	0.000	15.816	0.555	-0.585	1.05	-0.12	0.42	G	Verifica
N39/N11	10.90	0.850	8.691	0.779	0.602	-0.29	-0.29	-0.56	G	Verifica
N11/N12	14.69	0.600	11.632	2.069	-1.624	0.74	1.01	-0.13	G	Verifica
N12/N31	26.87	0.600	6.273	1.959	4.657	0.94	-1.51	-1.09	G	Verifica
N7/N10	13.44	0.000	-0.354	-0.020	-4.084	0.09	-1.35	0.07	G	Verifica
N10/N17	11.20	0.000	4.124	0.276	1.223	-0.06	0.87	0.16	G	Verifica
N17/N40	9.54	0.000	1.912	0.385	-0.285	-0.77	-0.19	0.21	G	Verifica
N40/N24	5.05	0.850	2.035	-0.387	-0.213	0.03	0.21	0.25	G	Verifica
N24/N36	10.88	0.600	9.483	-0.102	-1.349	-0.72	0.73	0.09	G	Verifica
N36/N30	11.67	0.600	5.677	-0.025	3.144	-0.89	-0.96	-0.07	G	Verifica
N10/N21	15.56	0.000	-6.872	-0.297	0.335	0.04	0.20	-0.16	G	Verifica
N35/N19	14.97	0.000	-6.117	0.335	0.257	-0.03	0.16	0.20	G	Verifica
N12/N25	21.46	0.000	-8.181	-0.111	0.434	-0.05	0.25	-0.30	G	Verifica
N36/N27	16.49	0.000	-5.817	0.077	0.303	0.03	0.18	0.25	G	Verifica
N38/N37	8.47	0.810	-2.388	0.078	0.395	-0.02	-0.18	-0.49	G	Verifica
N23/N25	10.29	0.829	-14.612	1.080	0.238	-0.45	0.15	-0.51	G	Verifica
N9/N21	6.49	1.200	-2.427	-0.223	-1.345	-0.09	0.82	0.39	G	Verifica
N21/N27	6.25	0.638	-7.528	0.127	-0.200	-0.69	0.16	0.75	G	Verifica
N27/N34	19.99	1.200	-2.632	4.399	1.150	-1.23	-0.65	-3.02	G	Verifica
N14/N19	6.76	1.200	-2.635	0.475	-1.245	0.00	0.80	-0.49	G	Verifica
N19/N25	6.09	0.425	-7.957	-0.083	-0.135	0.70	0.19	-0.69	G	Verifica
N25/N32	19.35	1.200	-2.379	-3.986	1.503	1.29	-0.88	2.78	G	Verifica
N8/N17	20.79	1.448	-3.735	-0.016	-0.084	0.35	0.51	0.02	G	Verifica
N17/N39	30.71	0.000	-4.317	-0.015	0.537	-0.30	0.79	0.01	G	Verifica
N40/N39	28.82	0.000	-0.775	-0.140	0.132	0.01	0.80	-0.04	G	Verifica
N39/N24	21.08	1.174	5.213	-0.109	-0.098	0.23	0.43	0.07	G	Verifica
N24/N31	28.18	0.000	-10.767	0.095	0.499	-0.12	0.54	0.04	G	Verifica

Fonte: Autor do trabalho

APÊNDICE C-Aproveitamento da resistência quando a estrutura e içada por dois pontos

Tabela A.7 - Verificação de resistência estrutura apoiada

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N2	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N13/N3	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N2/N7	32.44	0.300	2.596	-3.283	10.081	1.30	-2.80	0.50	G	Verifica
N7/N8	50.92	0.000	4.359	-1.824	-21.130	1.56	-5.09	0.08	G	Verifica
N8/N3	23.30	0.000	1.871	2.244	3.554	-0.34	0.48	1.89	G	Verifica
N7/N9	65.46	0.000	16.558	-2.168	9.796	-0.01	4.64	-1.64	G	Verifica
N8/N14	29.01	0.773	-3.902	3.626	-3.588	1.89	1.34	-2.11	G	Verifica
N3/N14	38.65	0.829	2.814	-2.244	3.099	1.26	-1.96	1.98	G	Verifica
N2/N9	20.19	0.829	-10.159	3.283	-1.159	-0.02	0.76	-1.33	G	Verifica
N15/N16	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N4/N17	27.98	0.300	-3.869	4.108	-2.793	-0.95	1.11	-2.14	G	Verifica
N17/N18	93.04	0.608	-7.746	-6.934	1.918	2.65	8.52	1.68	G	Verifica
N18/N16	59.15	0.000	-3.738	7.743	13.346	-1.51	3.68	3.87	G	Verifica
N18/N19	40.05	0.000	-6.671	-2.969	2.954	3.21	0.96	-2.06	G	Verifica
N16/N19	65.79	0.829	13.973	-7.743	1.413	1.99	-0.82	5.58	G	Verifica
N20/N4	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N17/N21	39.37	0.773	37.074	4.758	-1.659	1.83	0.45	-2.42	G	Verifica
N4/N21	46.34	0.829	4.182	-4.108	-2.527	1.19	1.85	2.85	G	Verifica
N22/N23	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N5/N24	48.44	0.300	-1.342	7.442	-7.694	-1.41	1.92	-3.87	G	Verifica
N24/N11	77.49	0.203	-13.160	-7.127	-8.567	2.60	6.71	-1.74	G	Verifica
N11/N23	34.10	0.000	-5.420	3.512	6.475	-1.04	2.26	1.90	G	Verifica
N11/N25	42.04	0.000	26.877	-6.512	1.891	1.69	1.32	-2.17	G	Verifica
N26/N5	0.01	0.205	0.035	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N24/N27	40.73	0.000	6.345	0.289	-1.929	3.27	-0.54	0.68	G	Verifica
N5/N27	63.45	0.829	7.837	-7.442	1.602	2.04	-0.92	5.45	G	Verifica
N28/N29	0.01	0.205	0.028	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N6/N30	11.44	0.300	1.118	-2.020	1.621	0.50	-0.61	0.55	G	Verifica
N30/N31	60.70	0.810	3.759	6.108	16.728	1.23	-3.37	-2.83	G	Verifica
N31/N29	35.24	0.000	2.658	-6.589	-4.349	2.00	-1.47	-2.12	G	Verifica
N31/N37	68.62	0.000	1.869	6.772	-13.381	-1.41	-5.37	1.73	G	Verifica
N37/N32	52.44	0.387	5.953	5.405	-15.115	-1.30	3.96	-1.31	G	Verifica
N29/N32	39.90	0.829	-4.843	6.589	0.972	-0.86	-0.62	-3.65	G	Verifica
N33/N6	0.01	0.205	0.028	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verifica
N30/N38	23.19	0.000	9.933	0.351	5.610	-0.92	1.54	-0.55	G	Verifica
N38/N34	20.73	0.387	6.149	1.718	7.345	0.37	-1.78	0.18	G	Verifica

Verificação de resistência										
Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N6/N34	13.58	0.829	-1.743	2.020	0.523	-0.13	-0.29	-1.19	G	Verifica
N34/N32	97.77	0.000	-9.911	-24.895	6.814	2.14	3.13	-12.49	G	Verifica
N8/N35	40.45	0.000	-8.830	-4.101	1.139	-3.25	0.69	-1.97	G	Verifica
N35/N18	33.39	0.000	-10.411	-3.750	-0.408	-2.68	0.06	-0.19	G	Verifica
N18/N39	70.11	0.000	-28.041	-2.711	8.202	-3.73	5.40	-1.94	G	Verifica
N39/N11	68.26	0.850	-43.766	-0.215	9.112	-5.10	-5.60	0.51	G	Verifica
N11/N12	67.66	0.600	-56.296	1.014	7.129	-0.47	-4.88	-1.09	G	Verifica
N12/N31	72.58	0.600	-33.369	-0.645	-20.146	-0.04	6.36	-0.61	G	Verifica
N7/N10	49.28	0.600	-11.255	-0.404	14.736	-0.65	-4.43	0.67	G	Verifica
N10/N17	48.37	0.000	-28.963	0.881	-6.697	-0.85	-3.84	0.64	G	Verifica
N17/N40	61.16	0.000	0.690	-0.986	-7.155	-4.91	-5.40	-0.94	G	Verifica
N40/N24	68.97	0.850	0.394	-2.176	-6.928	-4.19	5.56	1.63	G	Verifica
N24/N36	27.39	0.000	17.019	-1.996	-1.422	-2.20	0.05	-1.85	G	Verifica
N36/N30	29.98	0.000	13.738	-2.991	2.909	-2.41	0.96	-1.15	G	Verifica
N10/N21	67.02	0.979	27.834	-1.286	-0.812	0.14	0.22	1.12	G	Verifica
N35/N19	48.51	0.979	2.302	-0.351	-0.215	0.19	0.16	1.21	G	Verifica
N12/N25	83.36	0.979	35.714	-1.658	-1.301	0.19	0.41	1.22	G	Verifica
N36/N27	54.99	0.979	-5.323	-0.995	0.022	0.26	0.08	1.44	G	Verifica
N38/N37	29.25	0.000	-1.367	-1.734	3.891	1.69	1.53	-1.29	G	Verifica
N23/N25	42.25	0.829	8.175	-3.512	-2.641	1.17	1.89	2.25	G	Verifica
N9/N21	66.43	1.200	14.931	-5.102	7.576	-0.93	-4.85	6.28	G	Verifica
N21/N27	93.85	0.000	-28.170	11.147	-8.625	-5.95	-7.33	11.02	G	Verifica
N27/N34	78.22	1.200	-34.260	10.511	2.101	-3.59	-0.70	-12.31	G	Verifica
N14/N19	31.92	0.000	-3.196	4.368	-0.659	-4.29	0.12	4.62	G	Verifica
N19/N25	97.8	1.700	9.081	10.724	8.581	-5.71	-7.57	-10.88	G	Verifica
N25/N32	78.54	0.000	46.599	-1.848	-8.980	-0.51	-5.72	-6.47	G	Verifica
N8/N17	36.62	1.448	9.852	-0.329	0.318	0.07	-0.62	0.22	G	Verifica
N17/N39	85.43	1.174	-11.738	-0.150	-0.900	-0.35	2.20	0.02	G	Verifica
N40/N39	45.23	0.000	-1.190	0.295	0.009	1.01	0.72	0.12	G	Verifica
N39/N24	69.58	0.000	9.981	-0.281	-1.519	0.14	-1.74	-0.07	G	Verifica
N24/N31	55.13	0.000	8.856	-0.087	0.855	-0.23	1.19	-0.22	G	Verifica

Fonte: Autor do trabalho

APÊNDICE D-Verificações E.L.U. (Resumido) para o caso de uma estrutura apoiada

Tabela A.8 - Verificação dos estados limites de utilização (resumido)-estrutura apoiada

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	$M_Y V_Z$	$M_Z V_Y$	$N M_Y M_Z$	$N M_Y M_Z V_Y V_Z$	M_t	$M_t V_Z$	$M_t V_Y$	
N1/N2	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 5.3$	x: 0.205 m $\eta = 3.9$	x: 0.205 m $\eta = 3.4$	$\eta = 2.2$	$\eta = 1.9$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	x: 0.205 m $\eta = 11.1$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA $\eta = 11.1$
N13/N3	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 5.4$	x: 0.205 m $\eta = 2.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta = 1.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.205 m $\eta = 7.8$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA $\eta = 7.8$
N2/N7	$\eta = 1.4$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.3 m $\eta = 34.2$	x: 0.3 m $\eta = 4.5$	x: 0 m $\eta = 14.0$	$\eta = 1.8$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m $\eta = 40.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.4$	x: 0 m $\eta = 14.8$	$\eta = 1.9$	VERIFICA $\eta = 40.2$
N7/N8	$\eta = 0.5$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.405 m $\eta = 71.9$	x: 0 m $\eta = 3.8$	x: 0.81 m $\eta = 12.9$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.405 m $\eta = 73.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 0.81 m $\eta = 13.0$	$\eta = 0.9$	VERIFICA $\eta = 73.0$
N8/N3	$\eta = 0.8$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 34.6$	x: 0 m $\eta = 3.6$	x: 0.3 m $\eta = 15.1$	$\eta = 2.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 39.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.4$	x: 0.3 m $\eta = 15.3$	$\eta = 2.2$	VERIFICA $\eta = 39.0$
N7/N9	x: 0.773 m $\eta = 0.7$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 9.2$	x: 0 m $\eta = 17.2$	$\eta = 2.4$	$\eta = 3.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 27.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.4$	$\eta = 3.3$	VERIFICA $\eta = 27.1$
N8/N14	x: 0.773 m $\eta = 0.6$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 8.4$	x: 0 m $\eta = 17.0$	$\eta = 2.2$	$\eta = 3.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 26.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.0$	$\eta = 2.2$	$\eta = 3.2$	VERIFICA $\eta = 26.0$
N3/N14	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 1.3$	x: 0.829 m $\eta = 4.6$	x: 0 m $\eta = 4.1$	x: 0.829 m $\eta = 1.2$	$\eta = 0.8$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 7.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	x: 0.829 m $\eta = 1.2$	$\eta = 0.8$	VERIFICA $\eta = 7.7$
N2/N9	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 1.5$	x: 0 m $\eta = 5.0$	x: 0.829 m $\eta = 2.7$	x: 0.829 m $\eta = 1.4$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.829 m $\eta = 7.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 0.829 m $\eta = 1.4$	$\eta = 0.4$	VERIFICA $\eta = 7.5$
N15/N16	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 6.9$	x: 0.205 m $\eta = 4.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta = 2.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.205 m $\eta = 10.9$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA $\eta = 10.9$
N4/N17	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 0.8$	x: 0.3 m $\eta = 32.1$	x: 0.3 m $\eta = 4.5$	x: 0 m $\eta = 17.1$	$\eta = 2.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m $\eta = 35.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.8$	x: 0 m $\eta = 17.6$	$\eta = 2.4$	VERIFICA $\eta = 35.5$
N17/N18	$\eta < 0.1$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.405 m $\eta = 84.2$	x: 0.81 m $\eta = 3.1$	x: 0 m $\eta = 31.7$	$\eta = 0.6$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.405 m $\eta = 85.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 32.0$	$\eta = 0.6$	VERIFICA $\eta = 85.1$
N18/N16	$\eta = 1.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 33.4$	x: 0 m $\eta = 6.9$	x: 0.3 m $\eta = 14.7$	$\eta = 3.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 41.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.5$	x: 0.3 m $\eta = 15.0$	$\eta = 3.2$	VERIFICA $\eta = 41.6$
N18/N19	x: 0.773 m $\eta = 4.4$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.773 m $\eta = 2.8$	x: 0 m $\eta = 15.6$	$\eta = 0.6$	$\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 21.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.5$	$\eta = 0.6$	$\eta = 3.4$	VERIFICA $\eta = 21.4$
N16/N19	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 3.0$	x: 0 m $\eta = 4.2$	x: 0 m $\eta = 3.3$	x: 0.829 m $\eta = 0.8$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 9.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 0.829 m $\eta = 0.8$	$\eta = 0.9$	VERIFICA $\eta = 9.1$
N20/N4	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 7.4$	x: 0.205 m $\eta = 4.5$	x: 0.205 m $\eta = 11.2$	$\eta = 2.6$	$\eta = 6.2$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	x: 0.205 m $\eta = 20.8$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA $\eta = 20.8$
N17/N21	x: 0.773 m $\eta = 4.5$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.773 m $\eta = 3.2$	x: 0 m $\eta = 13.7$	$\eta = 0.5$	$\eta = 2.8$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 18.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.4$	$\eta = 0.5$	$\eta = 2.9$	VERIFICA $\eta = 18.3$
N4/N21	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 2.8$	x: 0.829 m $\eta = 0.6$	x: 0.829 m $\eta = 3.9$	x: 0.829 m $\eta = 0.2$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.829 m $\eta = 7.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	x: 0.829 m $\eta = 0.2$	$\eta = 0.2$	VERIFICA $\eta = 7.0$
N22/N23	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 6.6$	x: 0.205 m $\eta = 5.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta = 3.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.205 m $\eta = 11.9$	x: 0.103 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA $\eta = 11.9$
N5/N24	$\eta = 0.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.3 m $\eta = 15.6$	x: 0 m $\eta = 6.9$	x: 0 m $\eta = 9.6$	$\eta = 4.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m $\eta = 19.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 6.3$	x: 0 m $\eta = 10.3$	$\eta = 4.3$	VERIFICA $\eta = 19.6$

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N24/N11	η = 0.9	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.405 m η = 60.1	x: 0.81 m η = 4.1	x: 0 m η = 31.1	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.405 m η = 63.5	η < 0.1	η = 0.6	x: 0 m η = 31.3	η = 0.4	VERIFICA η = 63.5
N11/N23	η = 1.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 17.1	x: 0 m η = 13.7	x: 0.3 m η = 7.9	η = 4.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 32.5	η < 0.1	η = 0.5	x: 0.3 m η = 8.0	η = 4.2	VERIFICA η = 32.5
N11/N25	x: 0.773 m η = 6.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.773 m η = 6.7	x: 0 m η = 5.7	η = 1.5	η = 1.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.773 m η = 18.7	η < 0.1	η = 8.3	η = 1.6	η = 1.8	VERIFICA η = 18.7
N26/N5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 7.5	x: 0.205 m η = 7.5	x: 0.205 m η = 8.8	η = 4.3	η = 4.9	x: 0.103 m η < 0.1	x: 0.103 m η < 0.1	x: 0.205 m η = 20.3	x: 0.103 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA η = 20.3
N24/N27	x: 0.773 m η = 6.4	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.773 m η = 5.5	x: 0.773 m η = 4.0	η = 1.4	η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.773 m η = 15.9	η < 0.1	η = 9.3	η = 1.5	η = 1.3	VERIFICA η = 15.9
N5/N27	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.0	x: 0.829 m η = 2.3	x: 0.829 m η = 6.1	x: 0 m η = 0.3	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 12.3	η < 0.1	η = 7.1	x: 0 m η = 0.4	η = 0.2	VERIFICA η = 12.3
N28/N29	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.1	x: 0.205 m η = 8.5	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η = 4.9	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.103 m η < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.205 m η = 14.3	x: 0.103 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA η = 14.3
N6/N30	η = 5.7	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 7.4	x: 0 m η = 5.1	x: 0.3 m η = 4.9	η = 3.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 18.2	η < 0.1	η = 1.2	x: 0.3 m η = 4.9	η = 3.0	VERIFICA η = 18.2
N30/N31	η = 6.7	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.405 m η = 12.4	x: 0.81 m η = 4.7	x: 0.81 m η = 12.7	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.405 m η = 21.6	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA η = 21.6
N31/N29	η = 2.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 5.5	x: 0 m η = 14.8	x: 0 m η = 0.7	η = 5.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 23.0	η < 0.1	η = 6.8	x: 0 m η = 0.7	η = 5.7	VERIFICA η = 23.0
N31/N37	x: 0.387 m η = 5.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 11.8	x: 0 m η = 14.0	η = 3.2	η = 4.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 31.2	η < 0.1	η = 1.7	η = 3.2	η = 4.6	VERIFICA η = 31.2
N37/N32	x: 0.387 m η = 5.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.387 m η = 9.1	x: 0.387 m η = 6.4	η = 3.2	η = 1.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.387 m η = 21.2	η < 0.1	η = 7.8	η = 3.5	η = 2.1	VERIFICA η = 21.2
N29/N32	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.8	x: 0.829 m η = 4.3	x: 0 m η = 2.7	x: 0.829 m η = 1.2	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 12.2	η < 0.1	η = 2.5	x: 0.829 m η = 1.2	η = 0.6	VERIFICA η = 12.2
N33/N6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 4.7	x: 0.205 m η = 4.7	x: 0.205 m η = 16.6	η = 2.7	η = 9.2	x: 0.103 m η < 0.1	x: 0.103 m η < 0.1	x: 0.205 m η = 23.8	x: 0.103 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA η = 23.8
N30/N38	x: 0.387 m η = 5.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 10.1	x: 0 m η = 11.4	η = 2.7	η = 3.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 27.3	η < 0.1	η = 3.4	η = 2.7	η = 3.4	VERIFICA η = 27.3
N38/N34	x: 0.387 m η = 5.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.387 m η = 7.3	x: 0.387 m η = 3.5	η = 2.6	η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.387 m η = 16.6	η < 0.1	η = 8.7	η = 2.8	η = 0.8	VERIFICA η = 16.6
N6/N34	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.8	x: 0 m η = 9.2	x: 0 m η = 5.4	x: 0.829 m η = 2.1	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 19.0	η < 0.1	η = 4.4	x: 0.829 m η = 2.1	η = 0.4	VERIFICA η = 19.0
N34/N32	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 3.2	x: 0 m η = 2.2	x: 0.81 m η = 12.8	x: 0.81 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 17.1	η < 0.1	η = 0.1	x: 0.81 m η = 0.2	η < 0.1	VERIFICA η = 17.1
N8/N35	η = 2.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 10.6	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 3.9	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 13.7	η < 0.1	η = 2.2	x: 0 m η = 4.0	η = 0.2	VERIFICA η = 13.7
N35/N18	η = 3.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 7.5	x: 0 m η = 1.2	x: 0.6 m η = 1.5	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 12.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 1.5	η = 0.2	VERIFICA η = 12.5
N18/N39	η = 5.0	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.85 m η = 3.1	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 0.7	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 10.3	η < 0.1	η = 13.0	x: 0 m η = 0.8	η = 0.7	VERIFICA η = 13.0
N39/N11	η = 2.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.85 m η = 2.8	x: 0.85 m η = 5.4	x: 0.85 m η = 0.7	η = 0.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.85 m η = 10.9	η < 0.1	η = 3.6	x: 0.85 m η = 0.7	η = 0.9	VERIFICA η = 10.9

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N11/N12	η = 3.7	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.6 m η = 9.7	x: 0 m η = 10.6	x: 0 m η = 1.9	η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 14.7	η < 0.1	η = 9.2	x: 0 m η = 2.1	η = 2.5	VERIFICA η = 14.7
N12/N31	η = 2.0	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.6 m η = 14.5	x: 0.6 m η = 10.4	x: 0.6 m η = 5.2	η = 2.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 26.9	η < 0.1	η = 11.8	x: 0.6 m η = 5.9	η = 2.4	VERIFICA η = 26.9
N7/N10	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.1	x: 0 m η = 12.9	x: 0.6 m η = 0.8	x: 0 m η = 4.6	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 13.4	η < 0.1	η = 1.1	x: 0 m η = 4.6	η < 0.1	VERIFICA η = 13.4
N10/N17	η = 1.3	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 8.4	x: 0 m η = 1.5	x: 0.6 m η = 1.5	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 11.2	η < 0.1	η = 0.8	x: 0.6 m η = 1.5	η = 0.3	VERIFICA η = 11.2
N17/N40	η = 0.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m η = 1.8	x: 0 m η = 2.0	x: 0 m η = 0.3	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 4.4	η < 0.1	η = 9.5	x: 0 m η = 0.4	η = 0.5	VERIFICA η = 9.5
N40/N24	η = 0.7	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.85 m η = 2.0	x: 0.85 m η = 2.4	x: 0 m η = 0.3	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.85 m η = 5.0	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η = 0.3	η = 0.4	VERIFICA η = 5.0
N24/N36	η = 3.0	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.6 m η = 7.0	x: 0.6 m η = 0.9	x: 0 m η = 1.6	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 10.9	η < 0.1	η = 8.9	x: 0 m η = 1.8	η = 0.1	VERIFICA η = 10.9
N36/N30	η = 1.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	x: 0.6 m η = 9.2	x: 0 m η = 0.8	x: 0.6 m η = 3.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 11.7	η < 0.1	η = 11.1	x: 0.6 m η = 4.0	η < 0.1	VERIFICA η = 11.7
N10/N21	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.2	x: 0 m η = 7.0	x: 0 m η = 5.6	x: 0.979 m η = 1.0	η = 0.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 15.6	η < 0.1	η = 1.6	x: 0.979 m η = 1.0	η = 0.8	VERIFICA η = 15.6
N35/N19	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 5.6	x: 0 m η = 7.0	x: 0.979 m η = 0.8	η = 0.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 15.0	η < 0.1	η = 1.4	x: 0.979 m η = 0.8	η = 0.9	VERIFICA η = 15.0
N12/N25	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.2	x: 0 m η = 8.5	x: 0 m η = 10.2	x: 0.979 m η = 1.3	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 21.5	η < 0.1	η = 2.3	x: 0.979 m η = 1.3	η = 0.3	VERIFICA η = 21.5
N36/N27	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 4.4	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 8.5	x: 0.979 m η = 0.9	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 16.5	η < 0.1	η = 1.5	x: 0.979 m η = 0.9	η = 0.2	VERIFICA η = 16.5
N38/N37	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 1.0	x: 0.81 m η = 2.3	x: 0.81 m η = 6.1	x: 0.81 m η = 0.6	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.81 m η = 8.5	η < 0.1	η = 0.3	x: 0.81 m η = 0.6	η = 0.1	VERIFICA η = 8.5
N23/N25	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 3.2	x: 0.829 m η = 4.8	x: 0.829 m η = 0.3	η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 10.3	η < 0.1	η = 5.6	x: 0.829 m η = 0.3	η = 1.2	VERIFICA η = 10.3
N9/N21	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.5	x: 0 m η = 5.2	x: 1.2 m η = 2.3	x: 0 m η = 1.0	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 6.5	η < 0.1	η = 0.7	x: 0 m η = 1.1	η = 0.1	VERIFICA η = 6.5
N21/N27	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 1.4	x: 1.7 m η = 1.5	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 0.2	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.638 m η = 6.2	η < 0.1	η = 5.1	x: 0 m η = 0.2	η = 0.1	VERIFICA η = 6.2
N27/N34	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.5	x: 1.2 m η = 3.7	x: 1.2 m η = 17.3	x: 1.2 m η = 0.8	η = 2.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 20.0	η < 0.1	η = 9.2	x: 1.2 m η = 0.9	η = 3.1	VERIFICA η = 20.0
N14/N19	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.5	x: 0 m η = 4.6	x: 1.2 m η = 2.8	x: 0 m η = 1.0	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 6.8	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	VERIFICA η = 6.8
N19/N25	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 1.5	x: 1.063 m η = 1.3	x: 0 m η = 4.1	x: 0 m η = 0.1	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.425 m η = 6.1	η < 0.1	η = 5.2	x: 0 m η = 0.2	η = 0.1	VERIFICA η = 6.1
N25/N32	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.5	x: 1.2 m η = 5.0	x: 1.2 m η = 15.9	x: 1.2 m η = 1.0	η = 2.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 19.4	η < 0.1	η = 9.6	x: 1.2 m η = 1.1	η = 2.8	VERIFICA η = 19.4
N8/N17	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 2.8	x: 1.448 m η = 17.5	x: 1.448 m η = 0.5	x: 0 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.448 m η = 20.8	η < 0.1	η = 15.7	x: 0 m η = 0.5	η < 0.1	VERIFICA η = 20.8
N17/N39	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 3.3	x: 0 m η = 27.2	x: 1.174 m η = 0.8	x: 1.174 m η = 1.6	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 30.7	η < 0.1	η = 13.5	x: 1.174 m η = 1.9	η < 0.1	VERIFICA η = 30.7

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	$M_Y V_Z$	$M_Z V_Y$	$N M_Y M_Z$	$N M_Y M_Z V_Y V_Z$	M_t	$M_t V_Z$	$M_t V_Y$	
N40/N39	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 27.4$	x: 0.81 m $\eta = 2.4$	x: 0.81 m $\eta = 0.5$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 28.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0.81 m $\eta = 0.5$	$\eta = 0.4$	VERIFICA $\eta = 28.8$
N39/N24	$\eta = 4.0$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 1.174 m $\eta = 14.8$	x: 1.174 m $\eta = 2.3$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.174 m $\eta = 21.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 10.2$	x: 0 m $\eta = 0.5$	$\eta = 0.3$	VERIFICA $\eta = 21.1$
N24/N31	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 8.2$	x: 0 m $\eta = 18.7$	x: 1.448 m $\eta = 3.4$	x: 1.448 m $\eta = 1.6$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 28.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.6$	x: 1.448 m $\eta = 1.7$	$\eta = 0.3$	VERIFICA $\eta = 28.2$

Anotação:

N_t : Resistência à tracção

N_c : Resistência à compressão

M_Y : Resistência à flexão eixo Y

M_Z : Resistência à flexão eixo Z

V_Z : Resistência ao esforço transversal Z

V_Y : Resistência ao esforço transversal Y

$M_Y V_Z$: Resistência ao momento flector Y e esforço transversal Z combinados

$M_Z V_Y$: Resistência ao momento flector Z e esforço transversal Y combinados

$N M_Y M_Z$: Resistência à flexão composta

$N M_Y M_Z V_Y V_Z$: Resistência à flexão composta e esforço transversal combinados

M_t : Resistência à torção

$M_t V_Z$: Resistência ao esforço transversal Z e momento torsor combinados

$M_t V_Y$: Resistência ao esforço transversal Y e momento torsor combinados

x: Distância à origem da barra

h: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações que não são necessárias (N.P.):

⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não há momento flector que comprima um banzo, de forma que se possa desenvolver o fenómeno de encurvadura local da alma induzida pelo banzo comprimido.

⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.

⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento flector.

⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

⁽⁵⁾ Não há interacção entre o momento flector e o esforço transversal para nenhuma combinação. Assim a verificação não é necessária.

⁽⁶⁾ Não existe interacção entre o esforço axial e momento flector nem entre momentos flectores em ambas as direcções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽⁷⁾ Não existe interacção entre o momento flector, esforço axial e transversal para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽⁸⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

⁽⁹⁾ Não existe interacção entre o momento torsor e o esforço transversal para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽¹⁰⁾ A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tracção.

Fonte: Autor do trabalho

APÊNDICE E-Verificações E.L.U. (Resumido) para o caso de içamento por dois pontos.

Tabela A.9 - Verificação dos estados limites de utilização (resumido)-estrutura içada por dois pontos

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N1/N2	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	N.P. (5)	N.P. (5)	N.P. (6)	N.P. (7)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (8)	N.P. (9)	N.P. (9)	VERIFICA η < 0.1
N13/N3	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	N.P. (5)	N.P. (5)	N.P. (6)	N.P. (7)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (8)	N.P. (9)	N.P. (9)	VERIFICA η < 0.1
N2/N7	η = 0.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0.3 m η = 26.9	x: 0.3 m η = 4.7	x: 0.3 m η = 11.3	η = 3.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.3 m η = 32.4	η < 0.1	η = 16.3	x: 0.3 m η = 13.5	η = 4.3	VERIFICA η = 32.4
N7/N8	η = 1.4	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0 m η = 48.8	x: 0.81 m η = 14.9	x: 0 m η = 23.7	η = 2.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 50.9	η < 0.1	η = 19.5	x: 0 m η = 29.5	η = 2.5	VERIFICA η = 50.9
N8/N3	η = 0.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0.3 m η = 5.7	x: 0 m η = 18.1	x: 0.3 m η = 4.0	η = 2.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 23.3	η < 0.1	η = 4.3	x: 0.3 m η = 4.2	η = 2.5	VERIFICA η = 23.3
N7/N9	x: 0.773 m η = 5.3	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0 m η = 44.5	x: 0 m η = 15.7	η = 11.0	η = 2.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 65.5	η < 0.1	η = 0.1	η = 11.0	η = 2.4	VERIFICA η = 65.5
N8/N14	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 13.8	x: 0.773 m η = 20.2	η = 4.0	η = 3.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.773 m η = 29.0	η < 0.1	η = 23.5	η = 5.3	η = 5.2	VERIFICA η = 29.0
N3/N14	x: 0.829 m η = 0.9	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0.829 m η = 18.8	x: 0.829 m η = 19.0	x: 0.829 m η = 3.5	η = 2.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 38.7	η < 0.1	η = 15.7	x: 0.829 m η = 4.1	η = 2.9	VERIFICA η = 38.7
N2/N9	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	x: 0 m η = 3.3	x: 0.829 m η = 7.3	x: 0 m η = 13.3	x: 0 m η = 1.3	η = 3.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 20.2	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 1.4	η = 3.6	VERIFICA η = 20.2
N15/N16	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	N.P. (5)	N.P. (5)	N.P. (6)	N.P. (7)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (8)	N.P. (9)	N.P. (9)	VERIFICA η < 0.1
N4/N17	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	η = 1.2	x: 0.3 m η = 10.6	x: 0.3 m η = 20.5	x: 0 m η = 3.2	η = 4.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.3 m η = 28.0	η < 0.1	η = 11.8	x: 0 m η = 3.6	η = 5.1	VERIFICA η = 28.0
N17/N18	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	η = 2.5	x: 0.608 m η = 81.6	x: 0.81 m η = 29.6	x: 0 m η = 42.6	η = 7.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.608 m η = 93.0	x: 0 m η = 51.9	η = 33.1	x: 0 m η = 63.7	η = 11.3	VERIFICA η = 93.0
N18/N16	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	η = 1.2	x: 0 m η = 35.3	x: 0 m η = 37.1	x: 0.3 m η = 15.0	η = 8.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 59.1	η < 0.1	η = 18.8	x: 0.3 m η = 18.5	η = 10.4	VERIFICA η = 59.1
N18/N19	N _{Ed} = 0.00 N.P. (10)	x: 0 m η = 2.1	x: 0.773 m η = 12.7	x: 0 m η = 19.7	η = 3.3	η = 3.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 27.2	η < 0.1	η = 40.0	η = 5.5	η = 5.4	VERIFICA η = 40.0
N16/N19	x: 0.829 m η = 4.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0.829 m η = 7.9	x: 0.829 m η = 53.4	x: 0.829 m η = 1.6	η = 8.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 65.8	η < 0.1	η = 24.8	x: 0.829 m η = 2.1	η = 11.2	VERIFICA η = 65.8
N20/N4	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	N.P. (5)	N.P. (5)	N.P. (6)	N.P. (7)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (8)	N.P. (9)	N.P. (9)	VERIFICA η < 0.1
N17/N21	x: 0.773 m η = 11.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0 m η = 8.0	x: 0.773 m η = 23.2	η = 1.9	η = 5.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.773 m η = 39.4	η < 0.1	η = 22.8	η = 2.4	η = 6.7	VERIFICA η = 39.4
N4/N21	x: 0.829 m η = 1.3	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	x: 0.829 m η = 17.7	x: 0.829 m η = 27.3	x: 0 m η = 2.9	η = 4.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 46.3	η < 0.1	η = 14.8	x: 0 m η = 3.4	η = 5.2	VERIFICA η = 46.3
N22/N23	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. (2)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (3)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	V _{Ed} = 0.00 N.P. (4)	N.P. (5)	N.P. (5)	N.P. (6)	N.P. (7)	M _{Ed} = 0.00 N.P. (8)	N.P. (9)	N.P. (9)	VERIFICA η < 0.1

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N5/N24	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 0.4	x: 0.3 m η = 18.4	x: 0.3 m η = 37.1	x: 0 m η = 8.7	η = 8.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.3 m η = 48.4	η < 0.1	η = 17.6	x: 0 m η = 10.5	η = 9.8	VERIFICA η = 48.4
N24/N11	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 4.2	x: 0.405 m η = 68.0	x: 0 m η = 30.5	x: 0.81 m η = 35.1	η = 7.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.203 m η = 77.5	x: 0.81 m η = 30.9	η = 32.5	x: 0.81 m η = 52.0	η = 11.5	VERIFICA η = 77.5
N11/N23	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 1.7	x: 0 m η = 21.7	x: 0 m η = 18.2	x: 0.3 m η = 7.3	η = 3.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 34.1	η < 0.1	η = 13.0	x: 0.3 m η = 8.4	η = 4.4	VERIFICA η = 34.1
N11/N25	x: 0.773 m η = 8.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 12.7	x: 0.773 m η = 27.4	η = 2.1	η = 7.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 42.0	η < 0.1	η = 21.0	η = 2.7	η = 9.0	VERIFICA η = 42.0
N26/N5	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁹⁾	VERIFICA η < 0.1
N24/N27	x: 0.773 m η = 2.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.773 m η = 9.1	x: 0 m η = 6.5	η = 2.2	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.773 m η = 15.6	η < 0.1	η = 40.7	η = 3.7	η = 0.5	VERIFICA η = 40.7
N5/N27	x: 0.829 m η = 2.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.829 m η = 8.8	x: 0.829 m η = 52.2	x: 0.829 m η = 1.8	η = 8.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 63.5	η < 0.1	η = 25.4	x: 0.829 m η = 2.4	η = 10.8	VERIFICA η = 63.5
N28/N29	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁹⁾	VERIFICA η < 0.1
N6/N30	η = 0.4	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.3 m η = 5.8	x: 0.3 m η = 5.3	x: 0.3 m η = 1.8	η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.3 m η = 11.4	η < 0.1	η = 6.2	x: 0.3 m η = 1.9	η = 2.3	VERIFICA η = 11.4
N30/N31	η = 1.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.81 m η = 32.3	x: 0.81 m η = 27.2	x: 0.81 m η = 18.8	η = 6.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.81 m η = 60.7	η < 0.1	η = 15.3	x: 0.81 m η = 22.2	η = 7.8	VERIFICA η = 60.7
N31/N29	η = 0.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 14.1	x: 0 m η = 20.3	x: 0 m η = 4.9	η = 7.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 35.2	η < 0.1	η = 24.9	x: 0 m η = 6.5	η = 9.5	VERIFICA η = 35.2
N31/N37	x: 0.387 m η = 0.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 51.4	x: 0 m η = 16.6	η = 15.0	η = 7.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 68.6	η < 0.1	η = 17.6	η = 18.2	η = 8.9	VERIFICA η = 68.6
N37/N32	x: 0.387 m η = 1.9	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.387 m η = 38.0	x: 0.387 m η = 12.6	η = 17.0	η = 5.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.387 m η = 52.4	η < 0.1	η = 16.2	η = 20.3	η = 7.0	VERIFICA η = 52.4
N29/N32	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0 m η = 1.6	x: 0.829 m η = 5.9	x: 0.829 m η = 35.0	x: 0.829 m η = 1.1	η = 7.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 39.9	η < 0.1	η = 10.7	x: 0.829 m η = 1.2	η = 8.0	VERIFICA η = 39.9
N33/N6	x: 0.205 m η < 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁹⁾	VERIFICA η < 0.1
N30/N38	x: 0.387 m η = 3.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 14.7	x: 0.387 m η = 6.6	η = 6.3	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 23.2	η < 0.1	η = 11.4	η = 7.1	η = 0.4	VERIFICA η = 23.2
N38/N34	x: 0.387 m η = 2.0	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.387 m η = 17.1	x: 0 m η = 8.0	η = 8.3	η = 1.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.387 m η = 20.7	η < 0.1	η = 4.6	η = 8.7	η = 2.0	VERIFICA η = 20.7
N6/N34	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0 m η = 0.6	x: 0.829 m η = 2.8	x: 0.829 m η = 11.4	x: 0.829 m η = 0.6	η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 13.6	η < 0.1	η = 1.6	x: 0.829 m η = 0.6	η = 2.2	VERIFICA η = 13.6
N34/N32	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 2.2	x: 0 m η = 21.0	x: 0 m η = 83.7	x: 0.81 m η = 5.5	η = 18.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 97.8	η < 0.1	η = 18.7	x: 0.81 m η = 6.7	η = 23.1	VERIFICA η = 97.8
N8/N35	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 2.8	x: 0 m η = 6.7	x: 0 m η = 18.9	x: 0.6 m η = 1.4	η = 4.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.5	η < 0.1	η = 40.4	x: 0.6 m η = 2.3	η = 7.5	VERIFICA η = 40.4
N35/N18	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 3.3	x: 0.6 m η = 2.7	x: 0.6 m η = 19.8	x: 0 m η = 0.5	η = 4.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 24.4	η < 0.1	η = 33.4	x: 0 m η = 0.7	η = 6.1	VERIFICA η = 33.4

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N18/N39	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 8.9	x: 0 m η = 51.7	x: 0 m η = 18.6	x: 0.85 m η = 9.3	η = 2.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 70.1	η < 0.1	η = 46.4	x: 0.85 m η = 17.4	η = 5.5	VERIFICA η = 70.1
N39/N11	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 14.0	x: 0.85 m η = 53.7	x: 0.85 m η = 4.9	x: 0.85 m η = 10.2	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.85 m η = 68.3	η < 0.1	η = 63.5	x: 0.85 m η = 28.0	η = 0.6	VERIFICA η = 68.3
N11/N12	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 18.0	x: 0.6 m η = 46.8	x: 0.6 m η = 10.5	x: 0.6 m η = 8.0	η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 67.7	η < 0.1	η = 5.9	x: 0.6 m η = 8.5	η = 1.2	VERIFICA η = 67.7
N12/N31	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 10.6	x: 0.6 m η = 60.9	x: 0 m η = 9.5	x: 0 m η = 22.7	η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 72.6	η < 0.1	η = 0.5	x: 0 m η = 22.8	η = 0.7	VERIFICA η = 72.6
N7/N10	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 3.6	x: 0.6 m η = 42.5	x: 0.6 m η = 6.4	x: 0.6 m η = 16.6	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.6 m η = 49.3	η < 0.1	η = 8.1	x: 0.6 m η = 18.0	η = 0.5	VERIFICA η = 49.3
N10/N17	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 9.2	x: 0 m η = 36.8	x: 0 m η = 6.2	x: 0 m η = 7.5	η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 48.4	η < 0.1	η = 10.6	x: 0 m η = 8.4	η = 1.1	VERIFICA η = 48.4
N17/N40	η = 0.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 51.7	x: 0 m η = 9.0	x: 0 m η = 8.0	η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 61.0	η < 0.1	η = 61.2	x: 0 m η = 20.7	η = 2.8	VERIFICA η = 61.2
N40/N24	η = 0.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.85 m η = 53.3	x: 0.85 m η = 15.6	x: 0 m η = 7.9	η = 2.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.85 m η = 69.0	η < 0.1	η = 52.2	x: 0 m η = 16.6	η = 5.0	VERIFICA η = 69.0
N24/N36	η = 5.4	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.6 m η = 8.4	x: 0 m η = 17.7	x: 0 m η = 1.6	η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 23.6	η < 0.1	η = 27.4	x: 0 m η = 2.2	η = 3.0	VERIFICA η = 27.4
N36/N30	η = 4.4	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 9.2	x: 0 m η = 11.0	x: 0.6 m η = 3.4	η = 3.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 24.6	η < 0.1	η = 30.0	x: 0.6 m η = 4.8	η = 4.6	VERIFICA η = 30.0
N10/N21	x: 0.979 m η = 21.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 20.3	x: 0.979 m η = 38.3	x: 0 m η = 2.3	η = 3.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.979 m η = 67.0	η < 0.1	η = 6.3	x: 0 m η = 2.4	η = 3.6	VERIFICA η = 67.0
N35/N19	x: 0.979 m η = 1.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.979 m η = 5.4	x: 0.979 m η = 41.4	x: 0 m η = 0.7	η = 0.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.979 m η = 48.5	η < 0.1	η = 8.4	x: 0 m η = 0.7	η = 1.0	VERIFICA η = 48.5
N12/N25	x: 0.979 m η = 27.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 30.1	x: 0.979 m η = 42.0	x: 0 m η = 3.6	η = 4.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.979 m η = 83.4	η < 0.1	η = 8.4	x: 0 m η = 3.9	η = 4.7	VERIFICA η = 83.4
N36/N27	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0 m η = 4.1	x: 0.489 m η = 2.9	x: 0.979 m η = 49.4	x: 0.979 m η = 0.1	η = 2.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.979 m η = 55.0	η < 0.1	η = 11.8	x: 0.979 m η = 0.1	η = 2.9	VERIFICA η = 55.0
N38/N37	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 0.6	x: 0.81 m η = 20.7	x: 0 m η = 16.1	x: 0.81 m η = 5.8	η = 2.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 29.3	η < 0.1	η = 27.4	x: 0.81 m η = 8.0	η = 3.4	VERIFICA η = 29.3
N23/N25	x: 0.829 m η = 2.6	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.829 m η = 18.1	x: 0.829 m η = 21.5	x: 0 m η = 3.0	η = 3.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.829 m η = 42.2	η < 0.1	η = 14.5	x: 0 m η = 3.5	η = 4.5	VERIFICA η = 42.2
N9/N21	η = 2.8	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 1.2 m η = 27.7	x: 1.2 m η = 35.9	x: 1.2 m η = 5.1	η = 3.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 66.4	η < 0.1	η = 7.0	x: 1.2 m η = 5.5	η = 3.5	VERIFICA η = 66.4
N21/N27	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 5.3	x: 0 m η = 41.9	x: 0 m η = 63.0	x: 0 m η = 5.8	η = 7.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 93.8	η < 0.1	η = 44.3	x: 0 m η = 10.4	η = 12.8	VERIFICA η = 93.8
N27/N34	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 6.5	x: 0 m η = 9.6	x: 1.2 m η = 70.4	x: 1.2 m η = 1.4	η = 6.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.2 m η = 78.2	η < 0.1	η = 26.8	x: 1.2 m η = 1.9	η = 9.2	VERIFICA η = 78.2
N14/N19	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	η = 0.6	x: 1.2 m η = 4.4	x: 0 m η = 26.4	x: 0 m η = 0.4	η = 2.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 27.4	η < 0.1	η = 31.9	x: 0 m η = 0.7	η = 4.1	VERIFICA η = 31.9
N19/N25	η = 1.7	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 1.7 m η = 43.3	x: 1.7 m η = 62.2	x: 1.7 m η = 5.8	η = 6.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.7 m η = 97.8	η < 0.1	η = 42.5	x: 1.7 m η = 10.0	η = 11.9	NÃO VERIFICA η = 97.8

Barras	VERIFICAÇÕES (EUROCÓDIGO 3 NP EN 1993-1-1/NA: 2010)													Estado
	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N25/N32	$\eta = 8.8$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 32.7$	x: 0 m $\eta = 37.0$	x: 0 m $\eta = 6.0$	$\eta = 1.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 78.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.8$	x: 0 m $\eta = 6.3$	$\eta = 1.2$	VERIFICA $\eta = 78.5$
N8/N17	$\eta = 7.5$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 1.448 m $\eta = 21.4$	x: 0 m $\eta = 8.6$	x: 1.448 m $\eta = 0.9$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.448 m $\eta = 36.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.2$	x: 1.448 m $\eta = 0.9$	$\eta = 0.9$	VERIFICA $\eta = 36.6$
N17/N39	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	$\eta = 8.9$	x: 1.174 m $\eta = 75.6$	x: 0 m $\eta = 5.5$	x: 0 m $\eta = 2.6$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.174 m $\eta = 85.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 15.7$	x: 0 m $\eta = 3.1$	$\eta = 0.5$	VERIFICA $\eta = 85.4$
N40/N39	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁰⁾	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 24.6$	x: 0.81 m $\eta = 4.1$	x: 0.81 m $\eta = 0.2$	$\eta = 0.8$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 27.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 45.2$	x: 0.81 m $\eta = 0.3$	$\eta = 1.4$	VERIFICA $\eta = 45.2$
N39/N24	$\eta = 7.6$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 59.6$	x: 1.174 m $\eta = 8.9$	x: 0 m $\eta = 4.1$	$\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 69.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 6.3$	x: 0 m $\eta = 4.3$	$\eta = 0.8$	VERIFICA $\eta = 69.6$
N24/N31	$\eta = 6.7$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 40.9$	x: 0 m $\eta = 7.5$	x: 1.448 m $\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 55.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 10.3$	x: 1.448 m $\eta = 2.8$	$\eta = 0.3$	VERIFICA $\eta = 55.1$

Fonte: Autor do trabalho

APÊNDICE F- Pormenores de ligações

Principais nós pormenorizados

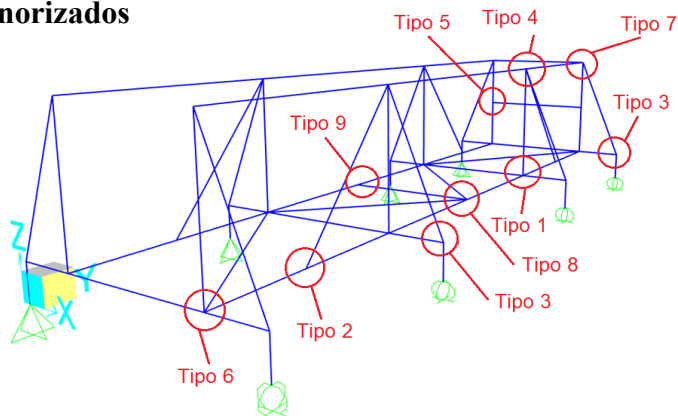
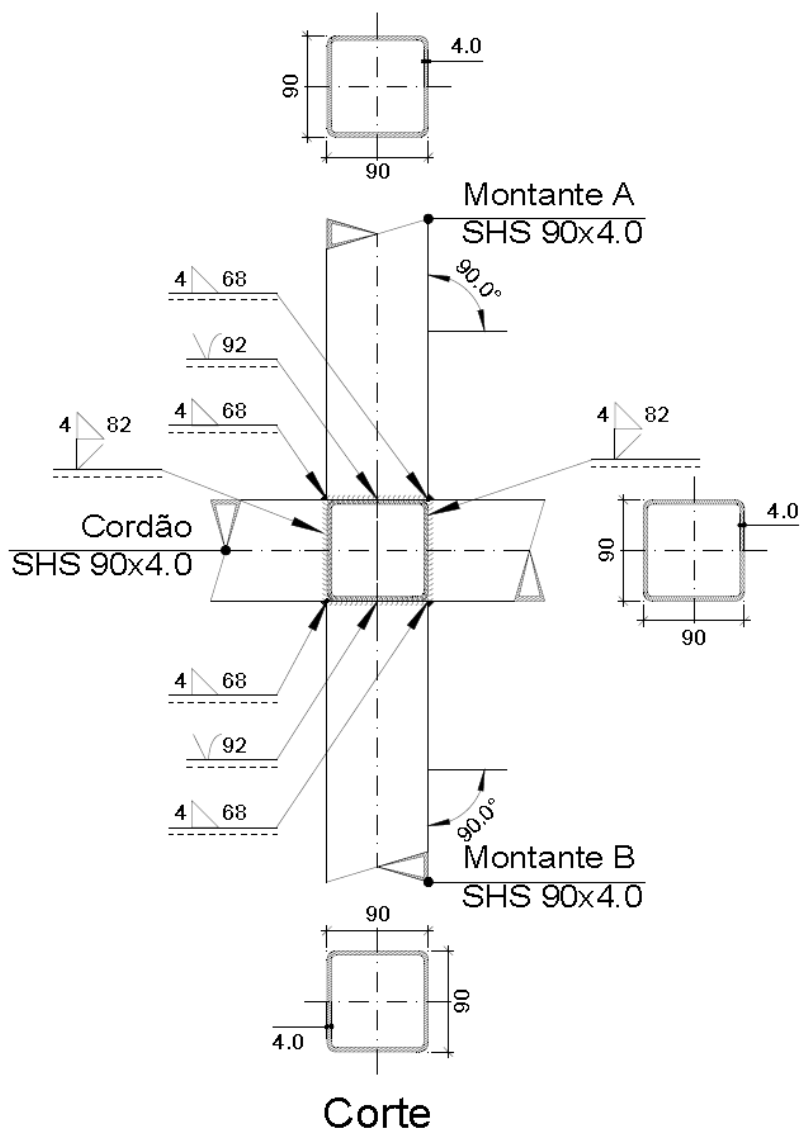


Figura A.1 – Nós principais pormenorizados

Fonte: Autor do trabalho

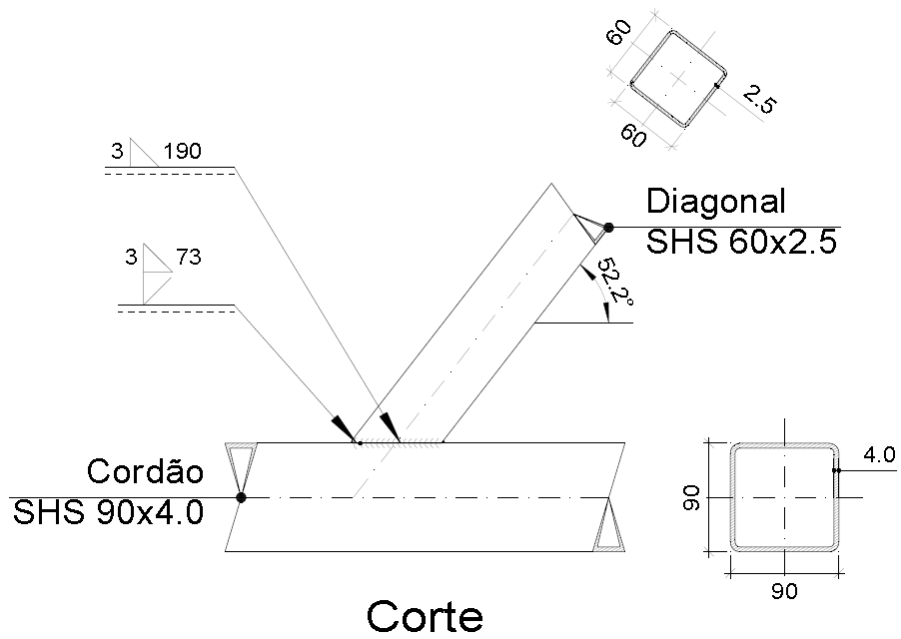
Pormenores de ligações

Tipo 1



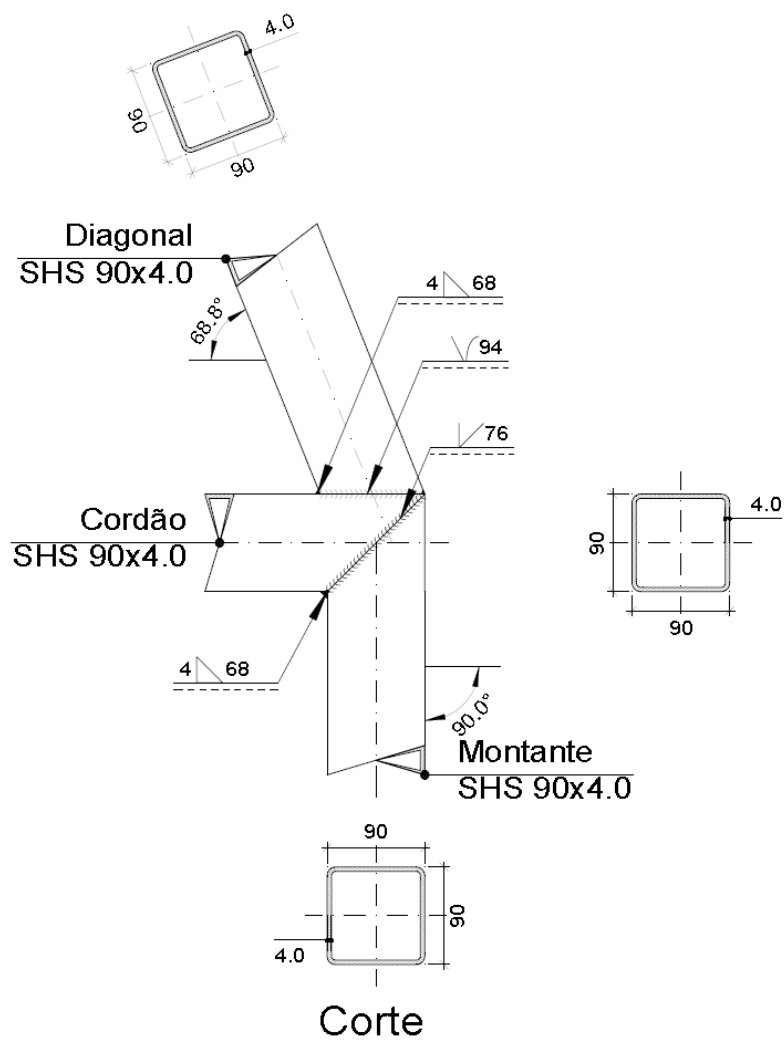
Fonte: Autor do trabalho

Tipo 2



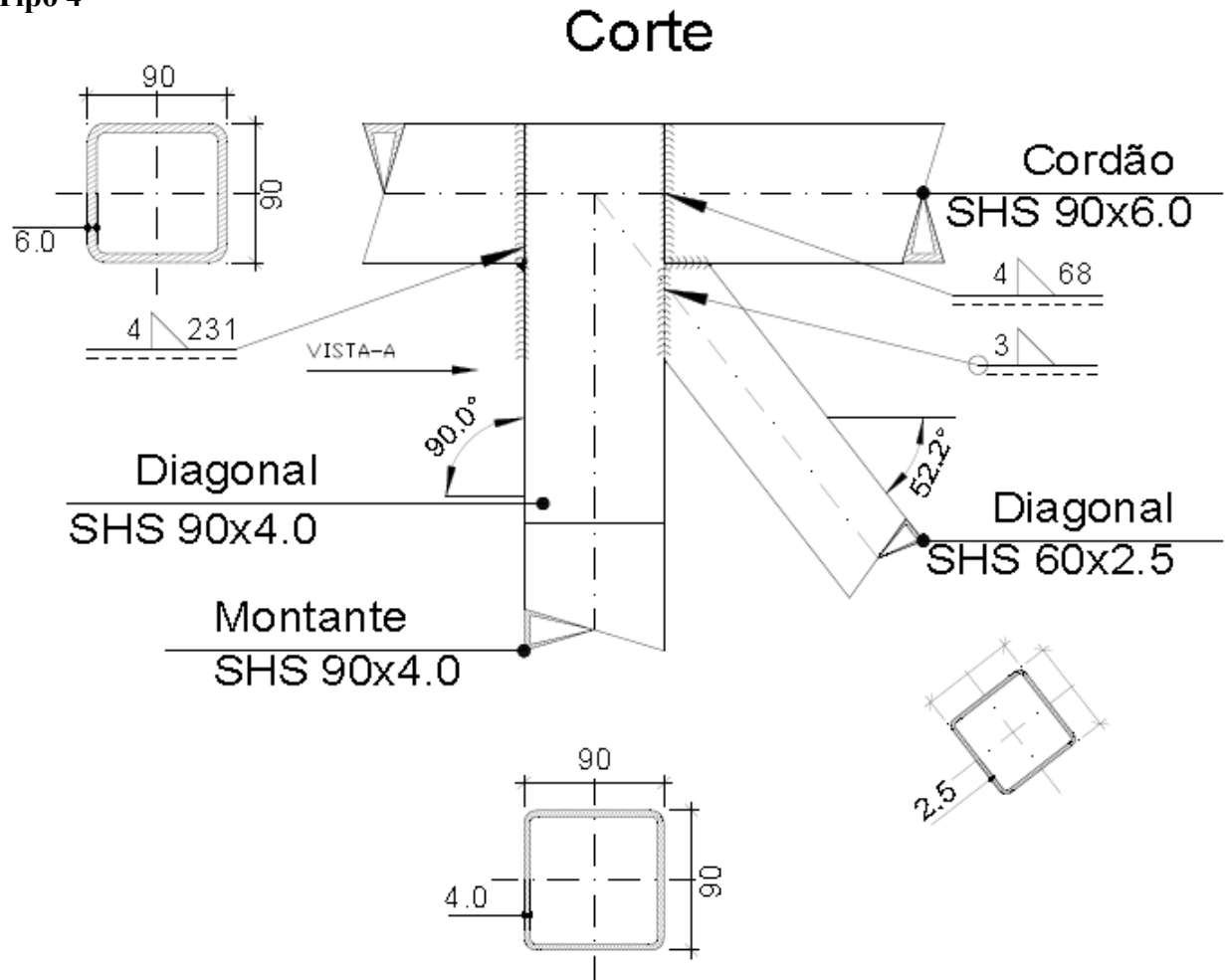
Fonte: Autor do trabalho

Tipo 3

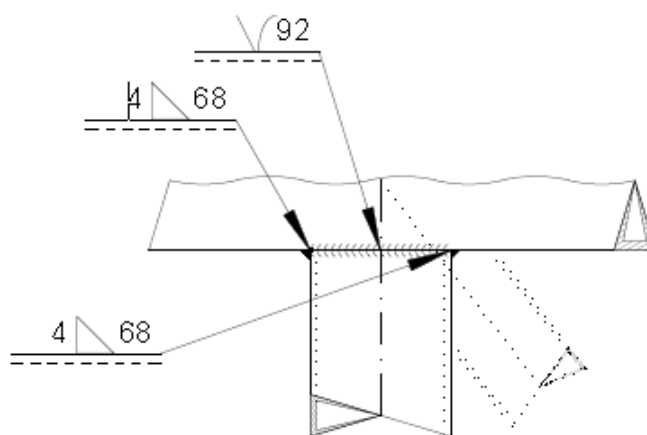


Fonte: Autor do trabalho

Tipo 4

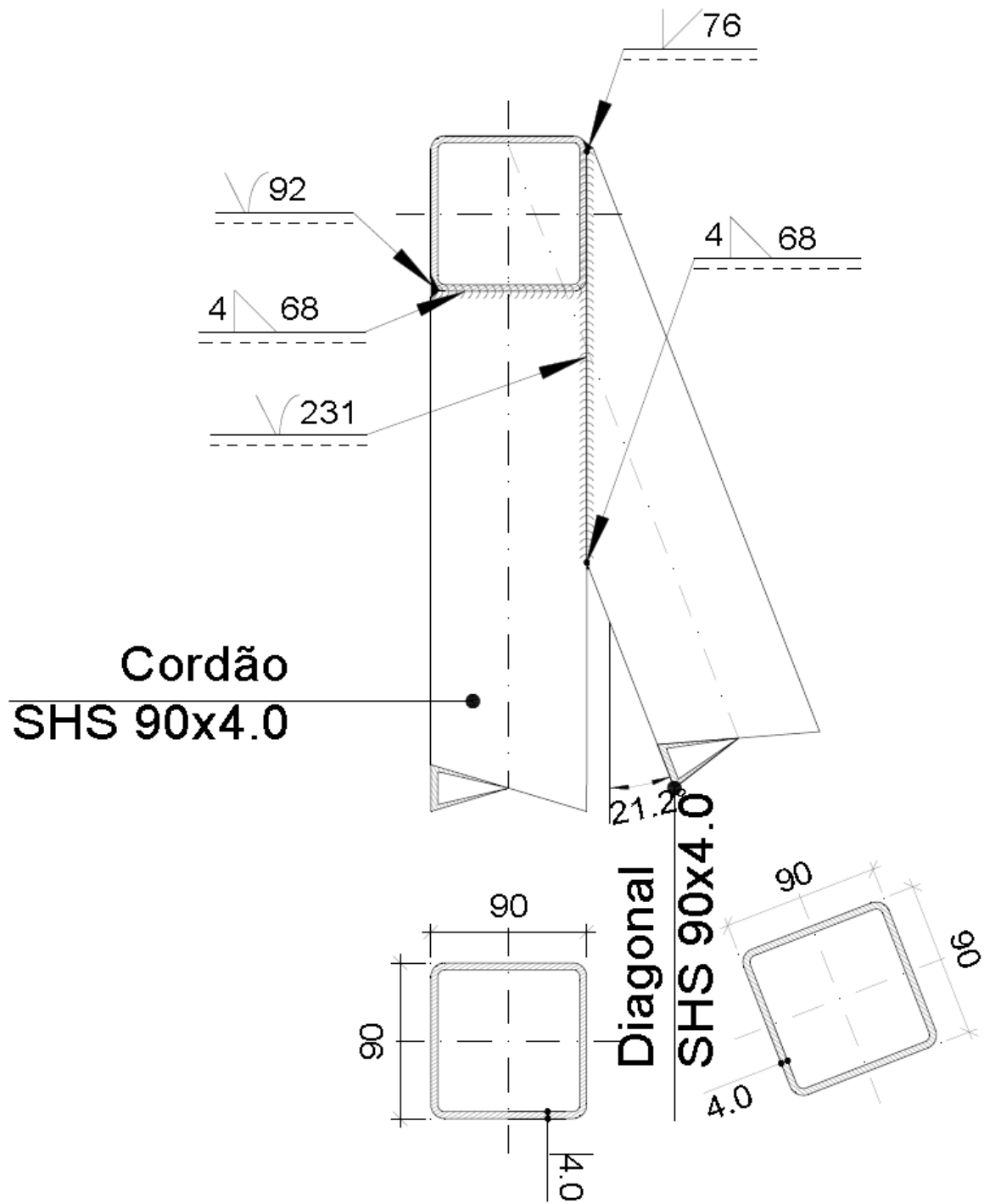


**Pormenor de soldaduras: Montante
SHS 90x4.0 a Cordão**



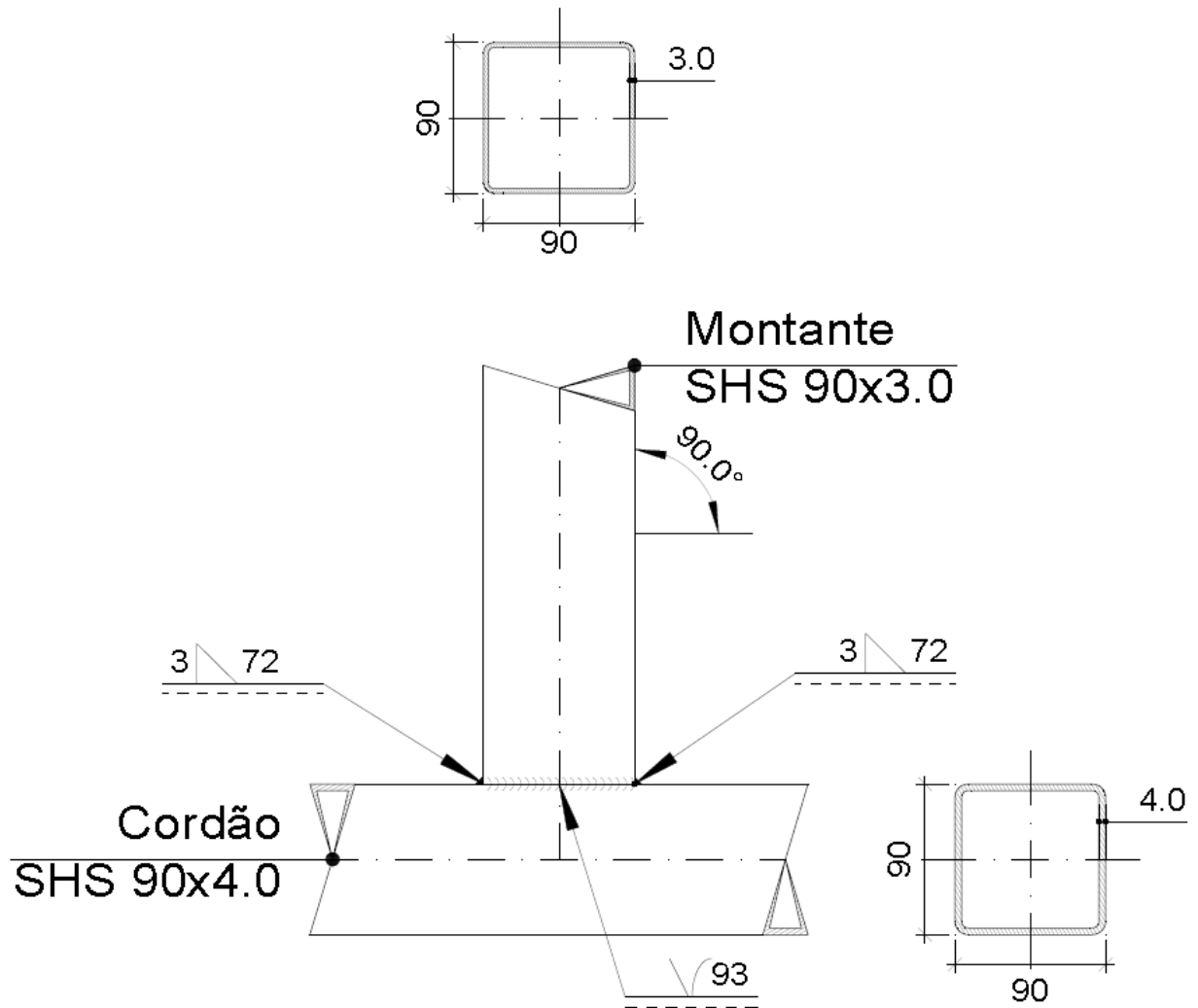
Fonte: Autor do trabalho

Vista A-Tipo 4



Fonte: Autor do trabalho

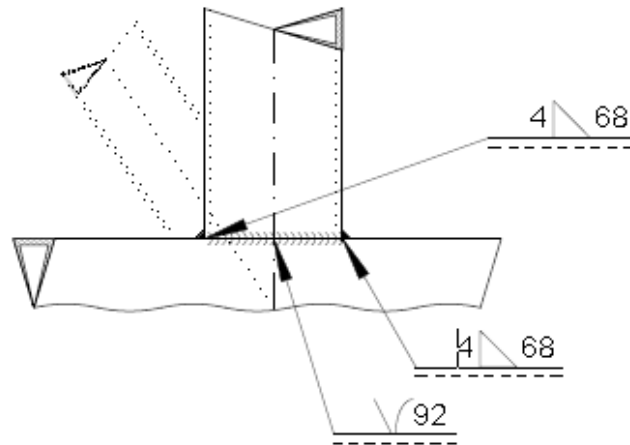
Tipo 5



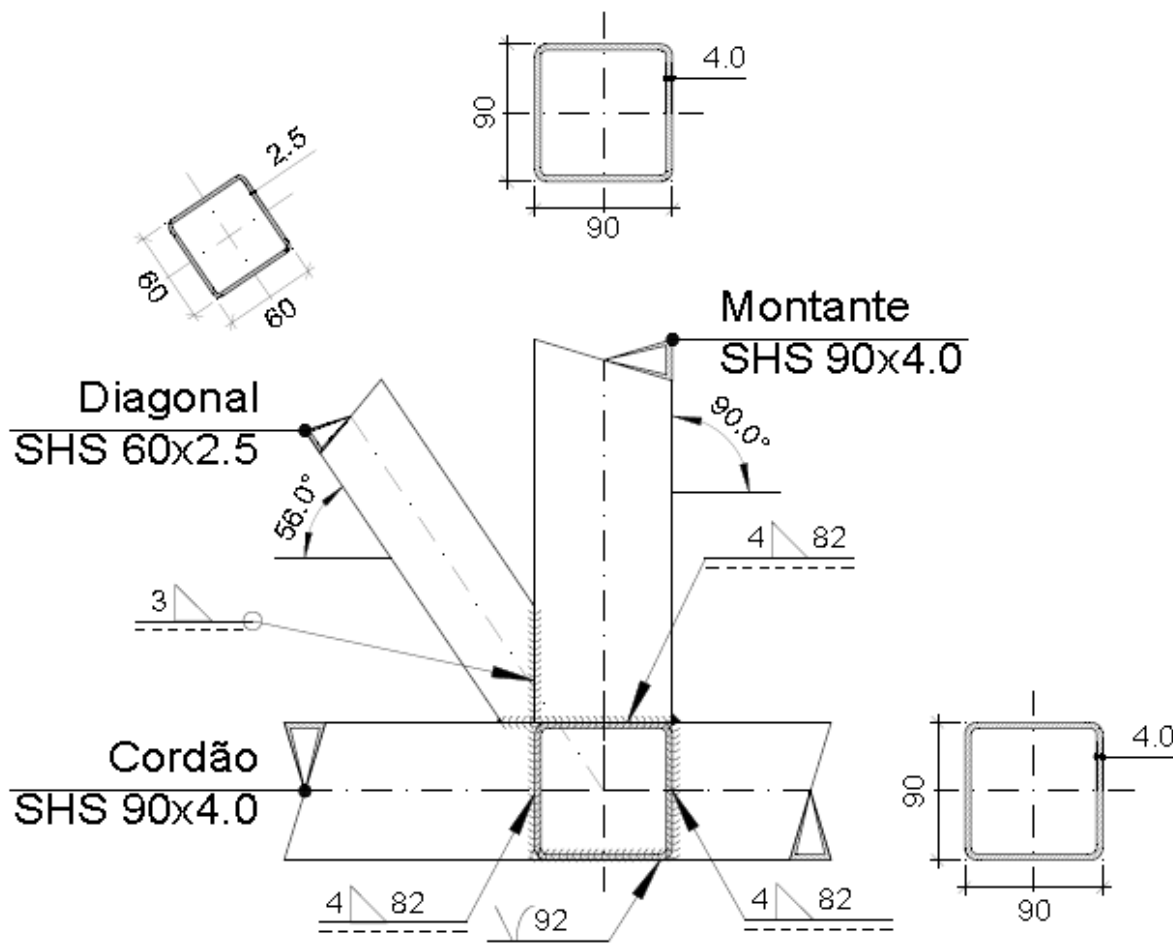
Corte

Fonte: Autor do trabalho

Tipo 6

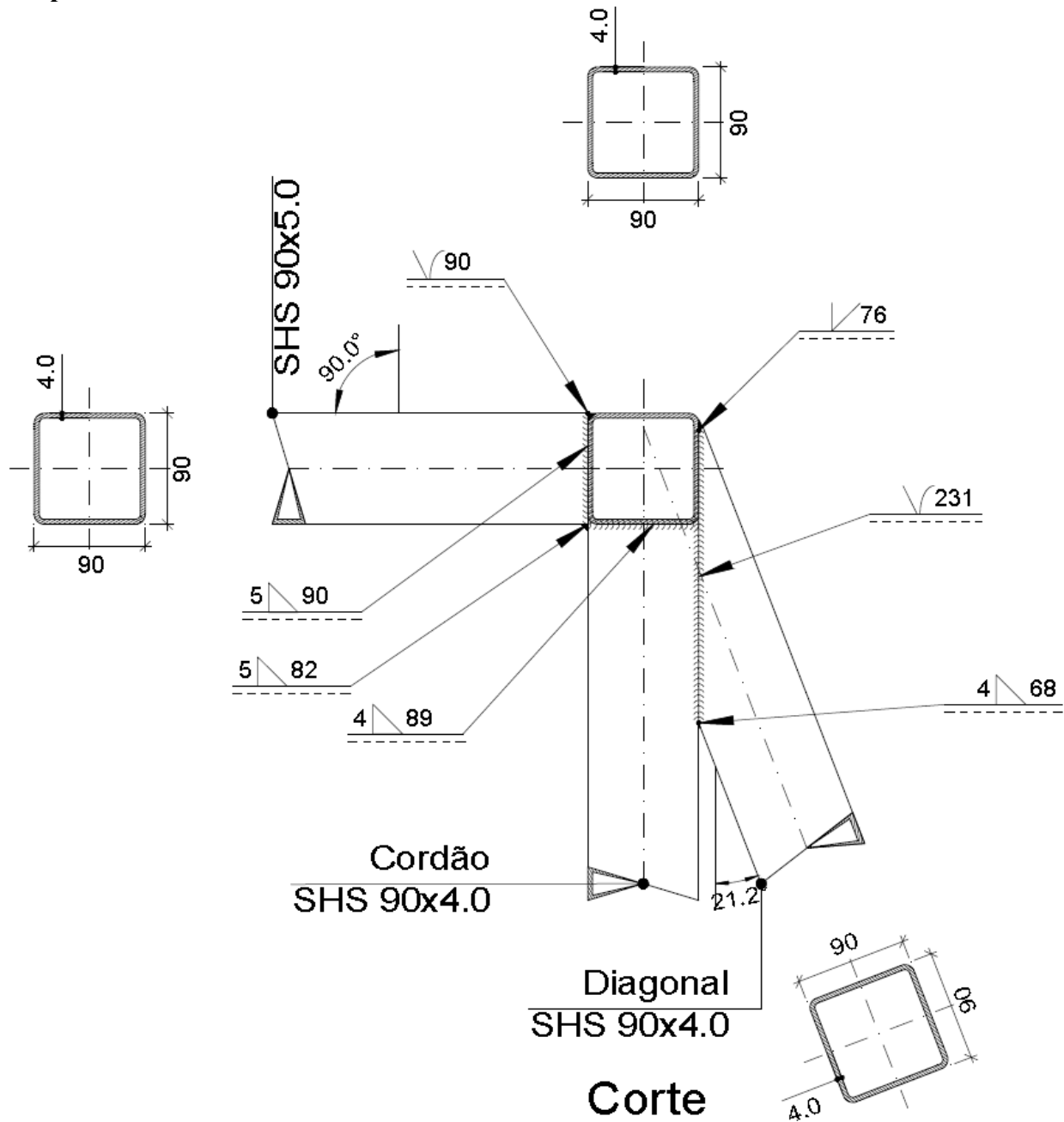


Pormenor de soldaduras: Montante SHS 90x4.0 a Cordão



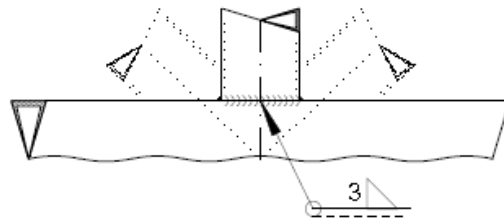
Fonte: Autor do trabalho

Tipo 7

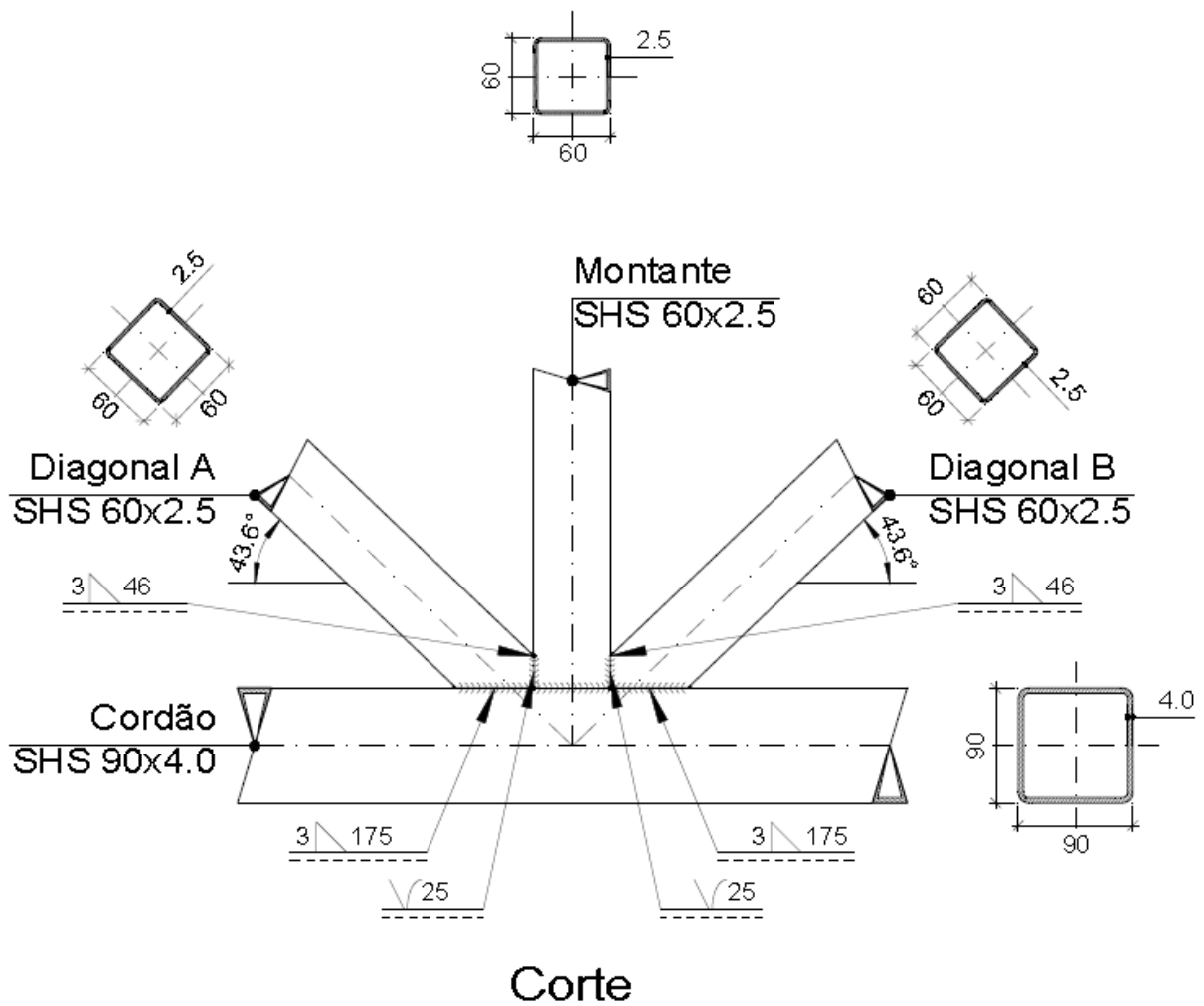


Fonte: Autor do trabalho

Tipo 8



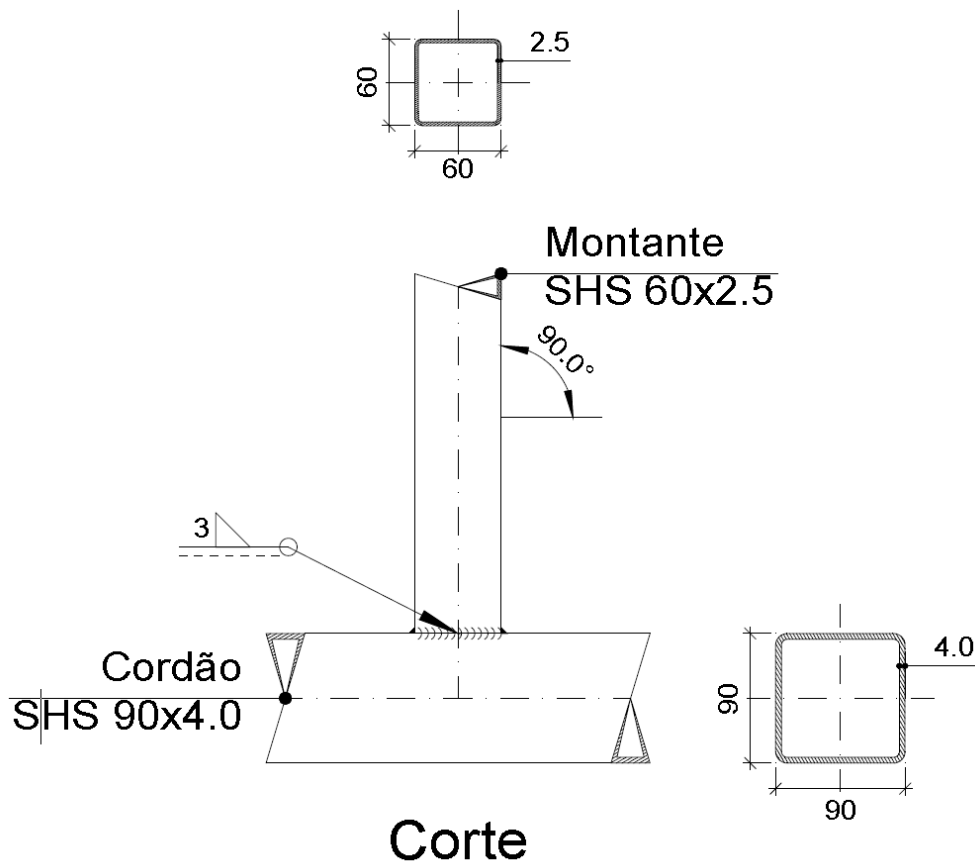
Pormenor de soldaduras: Diagonais a Cordão



Corte

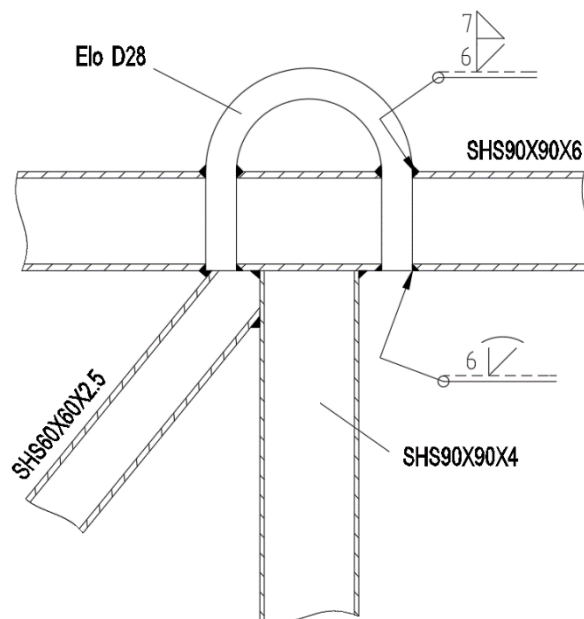
Fonte: Autor do trabalho

Tipo 9



Fonte: Autor do trabalho

Sistema de Içamento da estrutura.



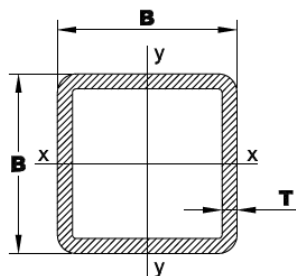
Fonte: Autor do trabalho

ANEXOS

Perfis Ocos Quadrados • EN 10219-1/2

Tubos Cuadrados Estructurales
Square Hollow Sections

S235JRH - S275J0H - S355J2H (EN 10025-2)
Designação do aço - Qualidade do aço - Steel grade

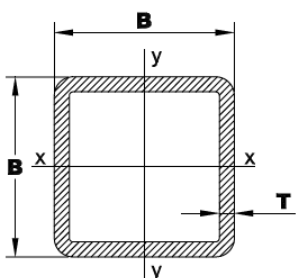


Dimensões Dimensiones (mm)	Espessura Thickness (mm)	Massa Linear Linear Mass (kg/m)	Tubos/Atado Tubos/Pacotes Bunches/Units	Peso/Atado Peso/Pacotes Bunches/Weight	Secção Section (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	i (cm)
B	T			(kg)				
60	5,0	8,13	36	1756	10,40	50,50	16,80	2,21
60	6,0	9,45	30	1701	12,00	56,10	18,70	2,16
60	6,3	9,55	30	1719	12,20	54,40	18,10	2,11
70	2,5	5,17	49	1520	6,59	49,40	14,10	2,74
70	3,0	6,26	42	1577	7,81	57,50	16,40	2,71
70	4,0	8,26	42	2081	10,10	72,10	20,60	2,67
70	5,0	9,70	30	1746	12,40	84,60	24,20	2,62
70	6,0	11,30	24	1627	14,40	95,20	27,20	2,57
70	6,3	11,50	24	1656	14,70	93,80	26,80	2,53
80	3,0	7,17	36	1549	9,01	87,80	22,00	3,12
80	4,0	9,80	36	2217	11,70	111,00	27,80	3,07
80	5,0	11,30	25	1695	14,40	131,00	32,00	3,03
80	6,0	13,20	25	1980	16,80	149,00	37,30	2,98
80	6,3	13,50	25	2025	17,20	149,00	37,10	2,94
80	8,0	16,40	15	1476	20,80	168,00	42,10	2,84
90	3,0	8,01	30	1442	10,20	127,00	28,30	3,53
90	4,0	10,50	30	1890	13,30	162,00	36,00	3,48
90	5,0	12,80	25	1920	16,40	193,00	42,90	3,43
90	6,0	15,10	20	1812	19,20	220,00	49,00	3,39
90	6,3	15,50	20	1860	19,70	221,00	49,10	3,35
90	8,0	18,90	15	1701	24,00	255,00	56,60	3,25
100	3,0	9,67	25	1451	11,40	177,00	35,40	3,94
100	4,0	11,20	25	1680	14,90	226,00	45,30	3,89
100	5,0	15,11	20	1813	18,40	271,00	54,20	3,84
100	6,0	17,90	20	2148	21,60	311,00	62,30	3,79
100	6,3	17,50	20	2100	22,20	314,00	62,80	3,76
100	7,0	19,12	16	1836	24,35	337,03	67,41	3,72

Perfis Ocos Quadrados • EN 10219-1/2

Tubos Cuadrados Estructurales
Square Hollow Sections

S235JRH - S275J0H - S355J2H (EN 10025-2)
Designação do aço - Qualidade do aço - Steel grade

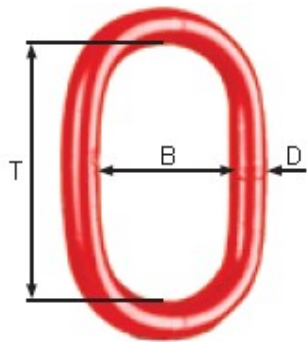


Dimensões Dimensiones (mm)	Espessura Thickness (mm)	Massa Linear Linear Mass (kg/m)	Tubos/Atado Tubos/Pacotes Bunches/Units	Peso/Atado Peso/Pacotes Bunches/Weight	Secção Section (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	i (cm)
B	T			(kg)				
20	2,0	1,05	225	1418	1,34	0,69	0,69	0,72
25	2,0	1,36	196	1599	1,74	1,48	1,19	0,92
25	2,5	1,64	196	1929	2,09	1,69	1,35	0,90
25	3,0	1,89	196	2223	2,41	1,84	1,47	0,87
30	2,0	1,68	169	1704	2,14	2,72	1,81	1,13
30	2,5	2,03	169	2058	2,59	3,16	2,10	1,10
30	3,0	2,36	121	2393	3,01	3,50	2,34	1,08
30	4,0	2,94	121	2134	3,75	3,97	2,64	1,03
35	3,0	2,83	121	2055	3,61	5,95	3,40	1,28
38	3,0	3,12	121	2265	3,97	7,85	4,13	1,41
40	2,0	2,31	121	1677	2,94	6,94	3,47	1,54
40	2,5	2,82	121	2047	3,59	8,22	4,11	1,51
40	3,0	3,30	121	2563	4,21	9,32	4,66	1,49
40	4,0	4,20	64	1613	5,35	11,10	5,54	1,44
40	5,0	4,99	64	2280	6,36	12,26	6,13	1,39
45	3,0	3,80	100	2280	4,81	13,80	6,12	1,69
45	4,0	4,83	64	1855	6,15	16,60	7,38	1,64
50	2,0	2,93	81	1424	3,74	14,10	5,66	1,95
50	2,5	3,60	81	1750	4,59	16,90	6,78	1,92
50	3,0	4,25	64	1632	5,41	19,50	7,79	1,90
50	4,0	5,45	64	2093	6,95	23,70	9,49	1,85
50	5,0	6,56	42	1653	8,36	27,00	10,80	1,80
50	6,0	7,56	42	1905	9,63	29,50	11,80	1,75
60	2,0	3,56	64	1367	4,54	25,10	8,38	2,35
60	2,5	4,39	64	1686	5,59	30,30	10,10	2,33
60	3,0	5,35	42	1348	6,61	35,10	11,70	2,31
60	4,0	6,71	42	1852	8,55	43,60	14,50	2,26

Figura A.2 – Catálogo de matérias

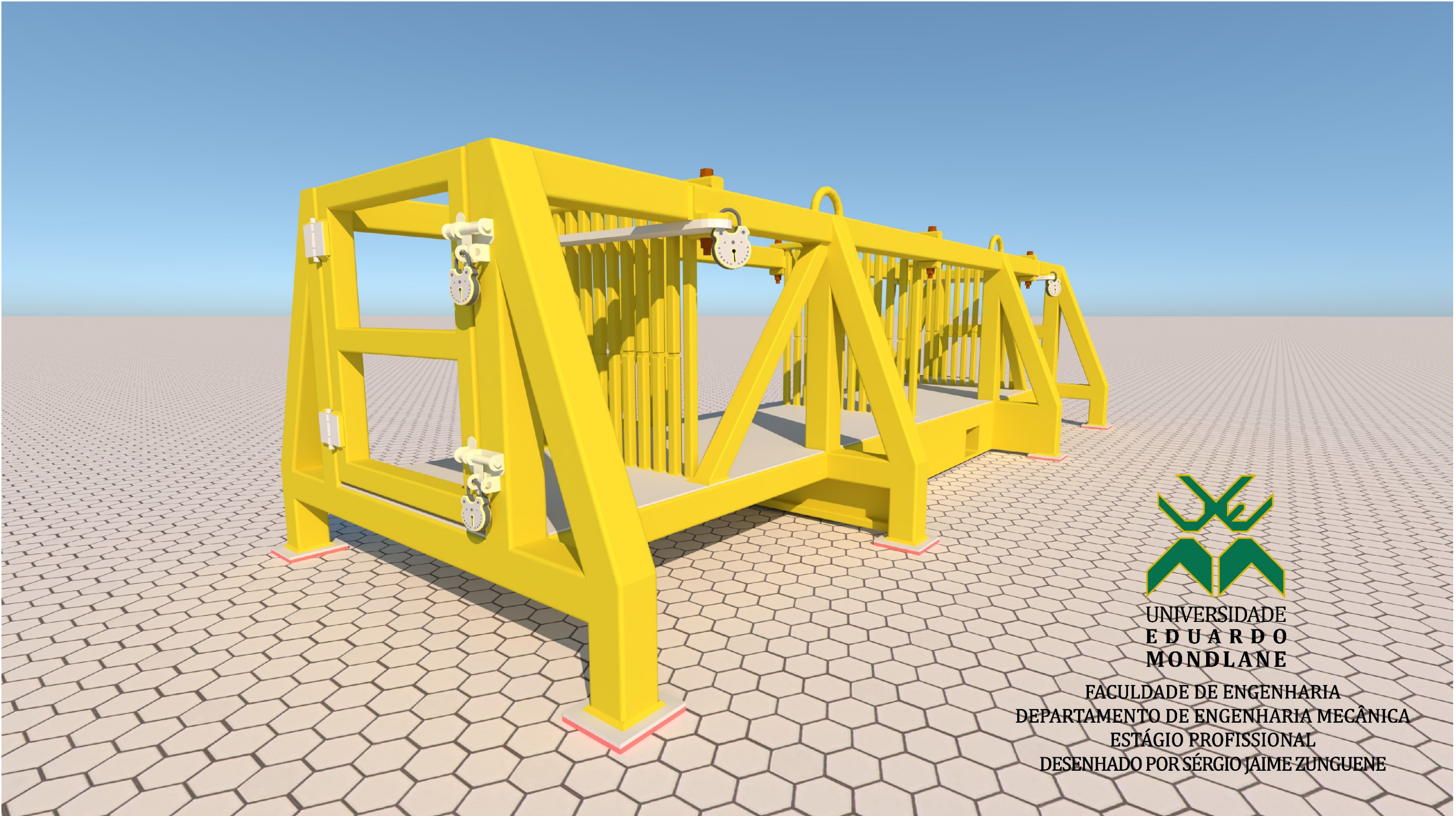
Fonte: Catálogo do grupo Ferpinta

ANEXO B- Características do elo utilizado para o içamento da estrutura



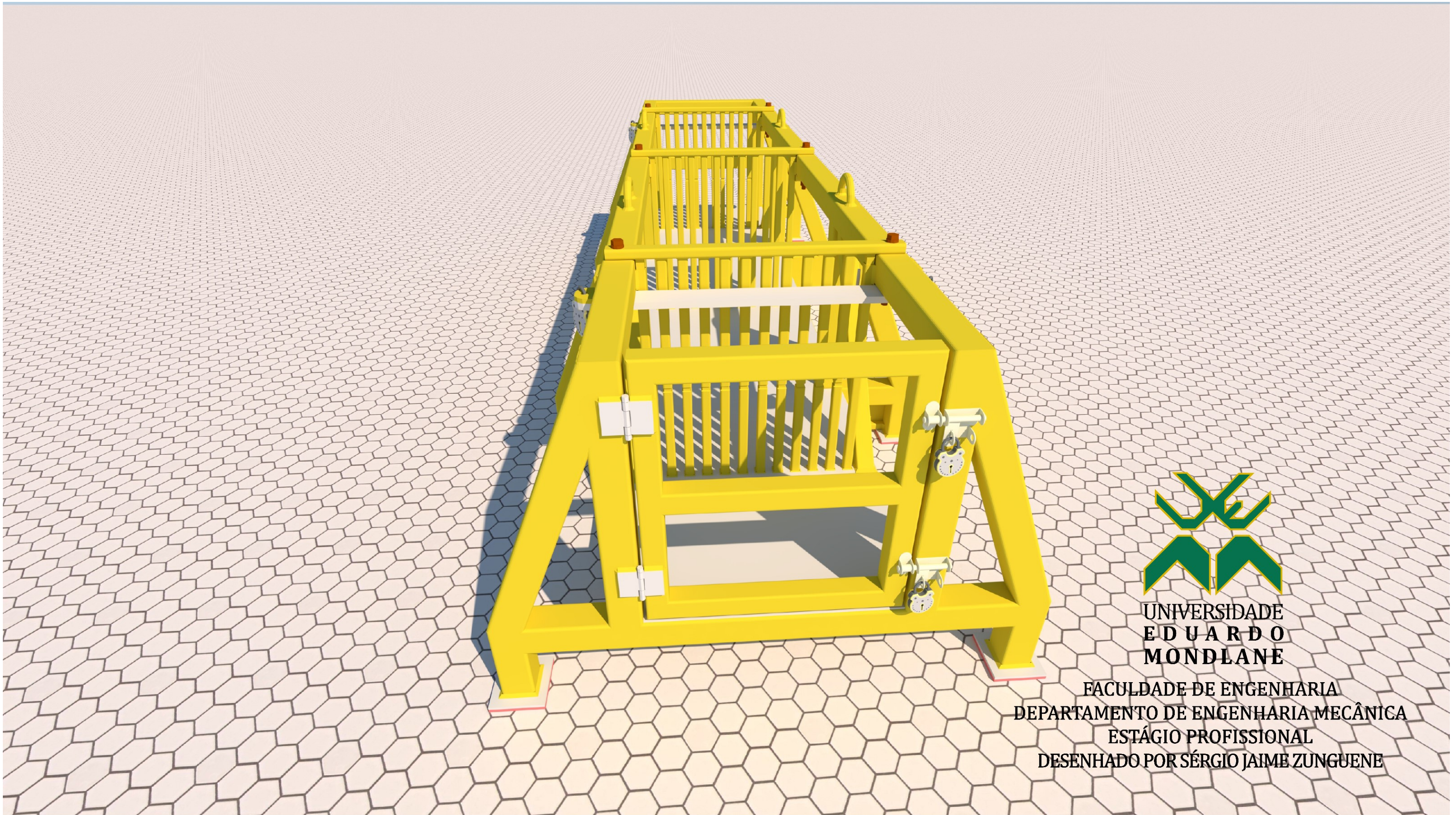
Descrição do Item	CMT (kg) ($\beta=0-45^\circ$)		1 ramal corrente (mm)	2 ramais corrente (mm)	Dimensões (mm)			Peso kg/pç	Compatível DIN 15401
	4:1	5:1			D	B	T		
ES-13	1600	1280	6	6	13	50	90	0,30	Nº 2.5
ES-16	2360	1900	8	-	16	60	110	0,53	Nº 2.5
ES-18	3200	2500	10	8	18	70	130	0,80	Nº 5
ES-22	5300	4200	13	10	22	90	160	1,50	Nº 6
ES-26	8000	6500	16	13	26	100	180	2,30	Nº 8
ES-32	12500	10000	19	16	32	125	230	4,40	Nº 10
ES-36	16000	13000	22	19	36	140	250	6,20	Nº 16
ES-40	18000	14500	-	-	40	160	290	8,80	Nº 25
ES-45	25000	20000	26	22	45	175	320	12,0	Nº 25
ES-50	35000	28000	32	26	50	190	340	16,0	Nº 32
ES-56	45000	36000	36	32	56	200	350	20,50	Nº 40
ES-60	55000	45000	-	-	60	220	430	28,80	Nº 50
ES-70	70000	57000	-	36	70	250	400	39,40	Nº 63

Fonte: Catálogo empresa RUD- Edição 30



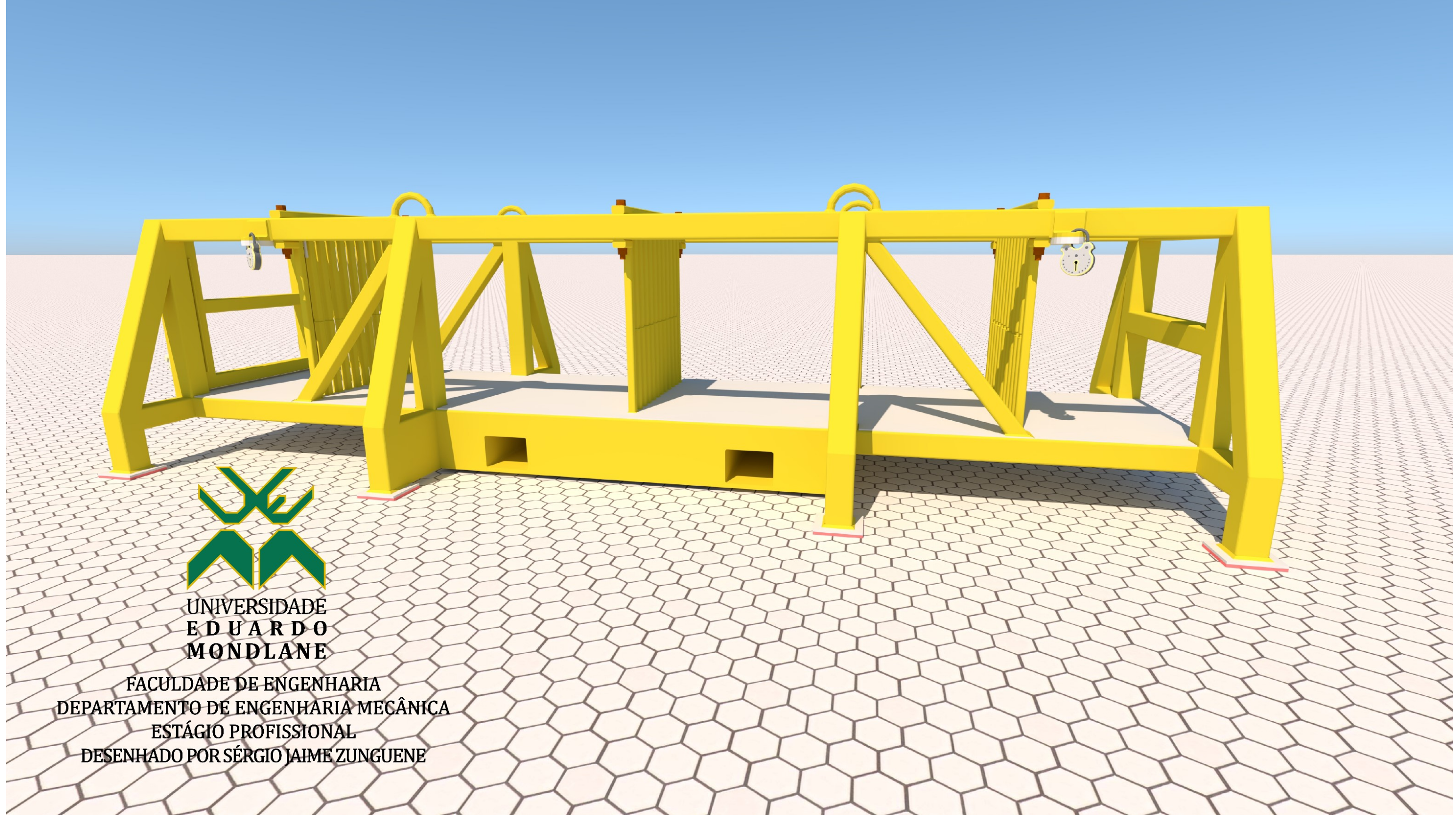
UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



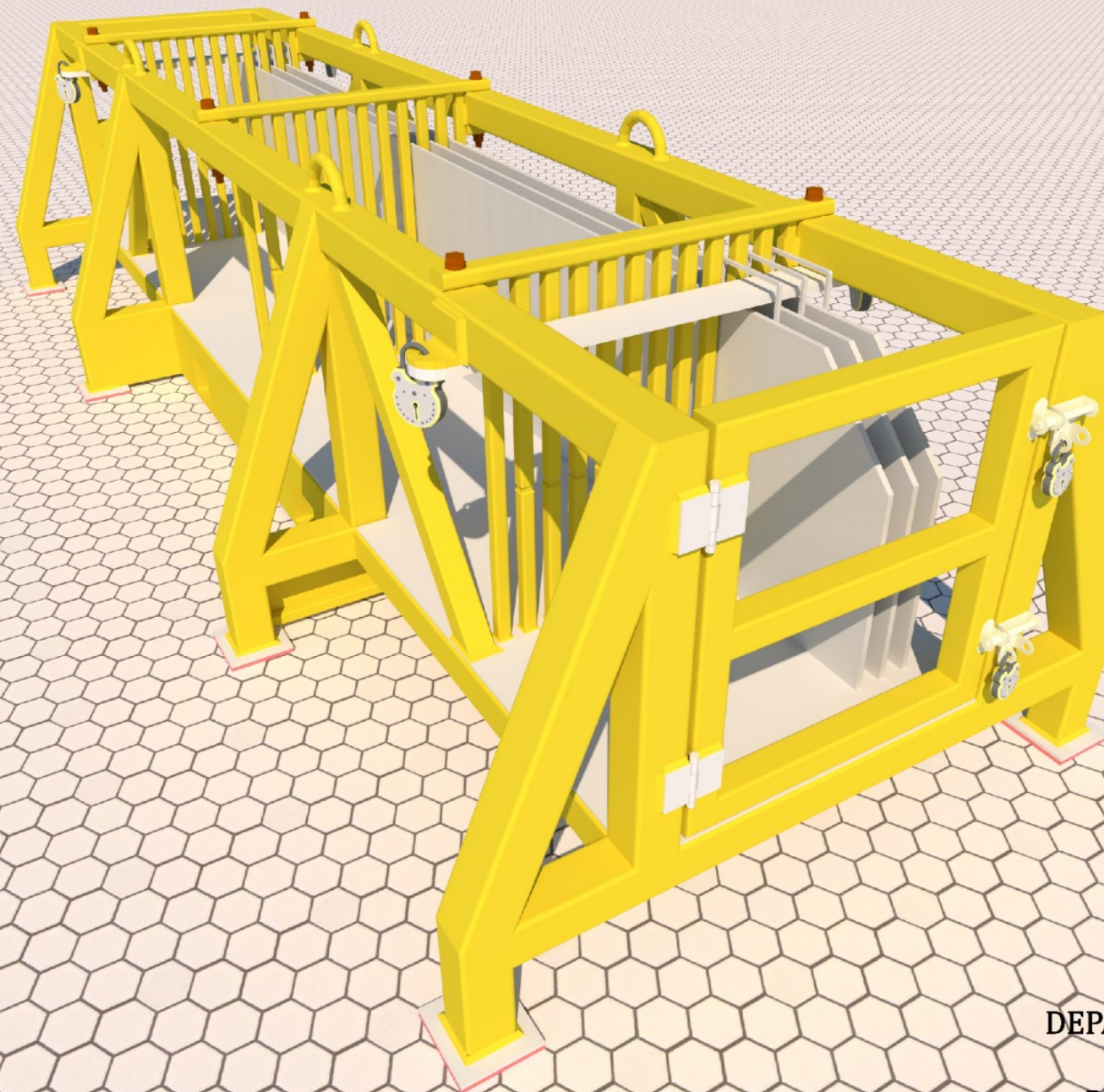
UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



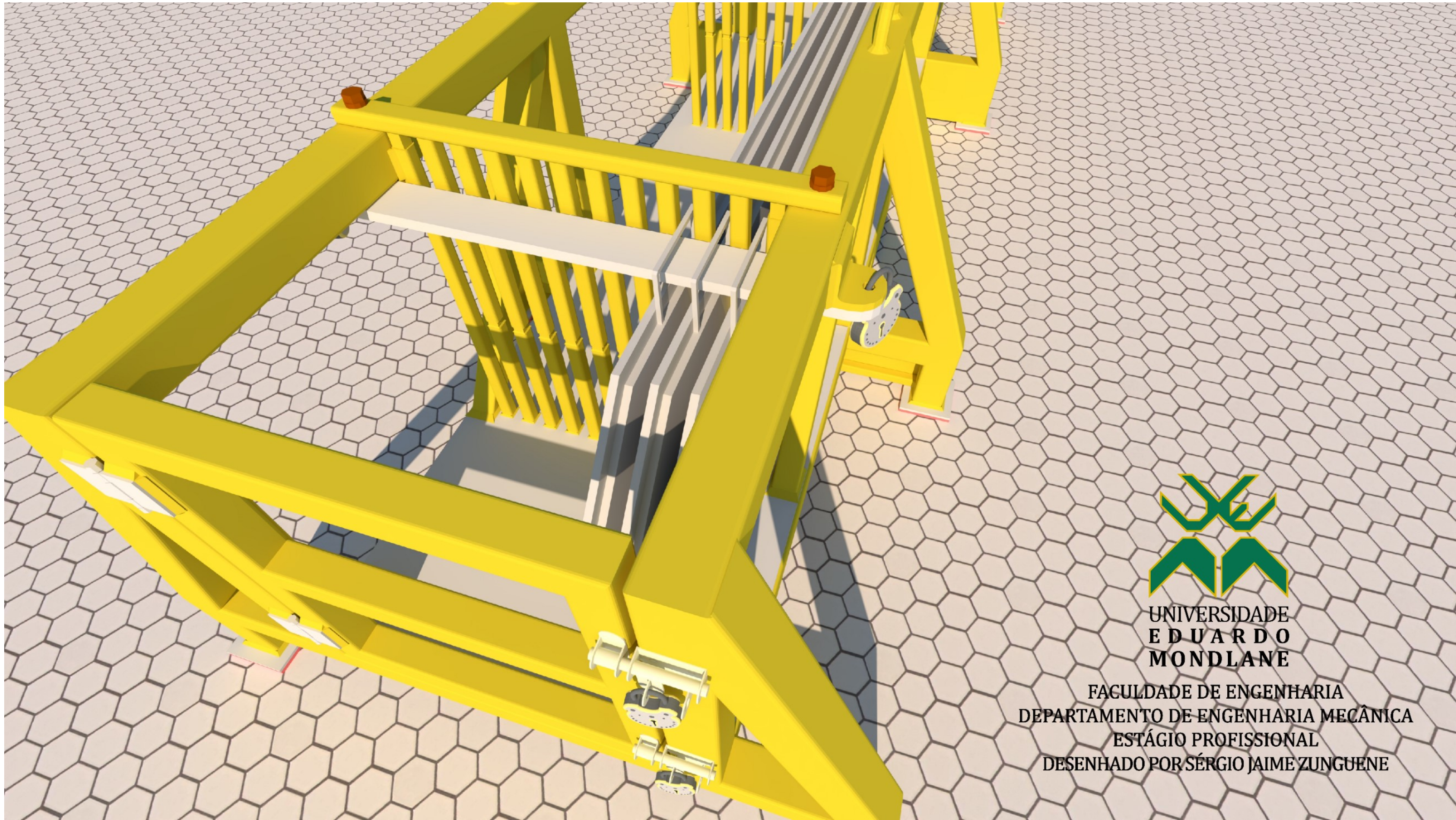
**UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE**



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



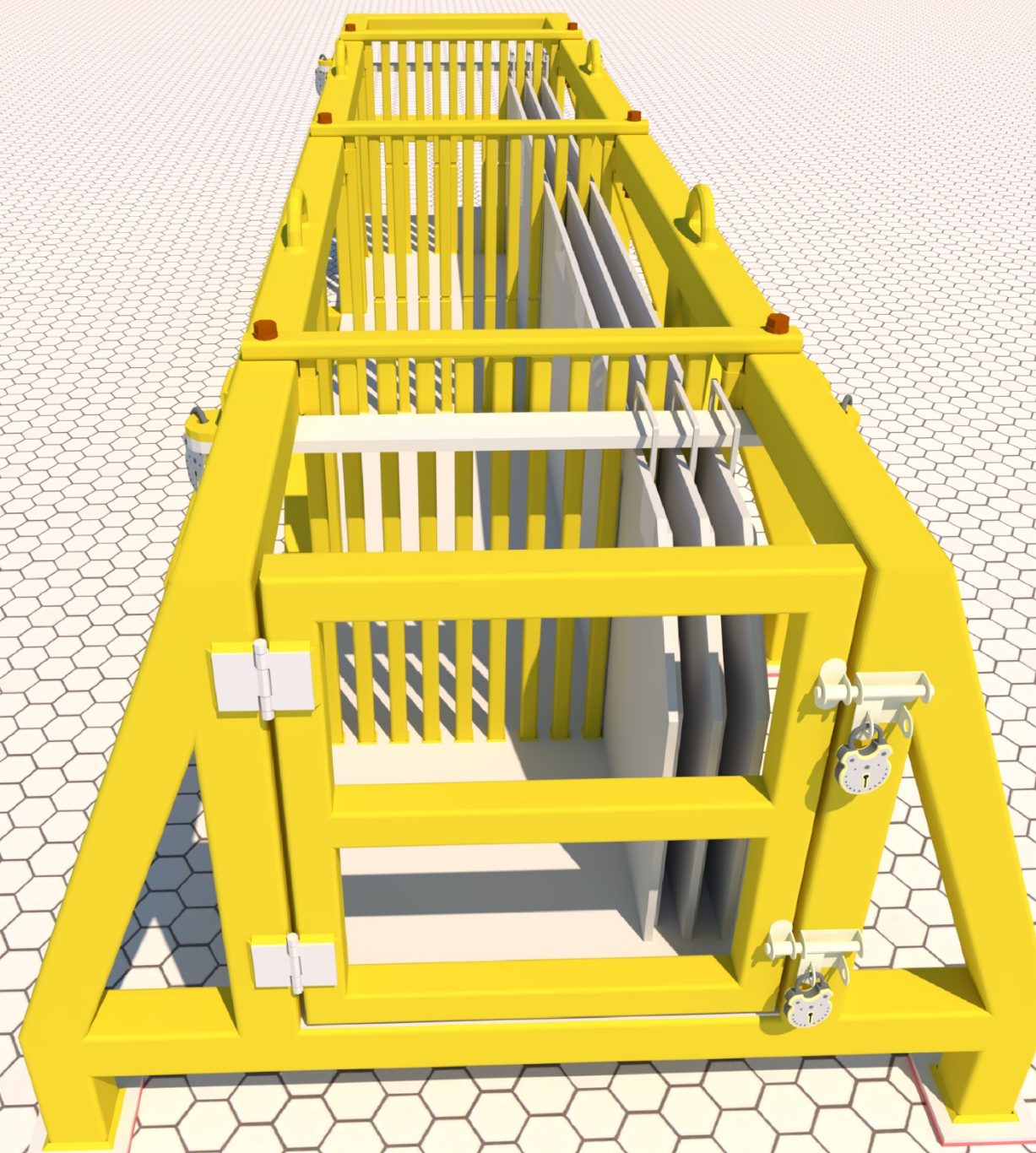
UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

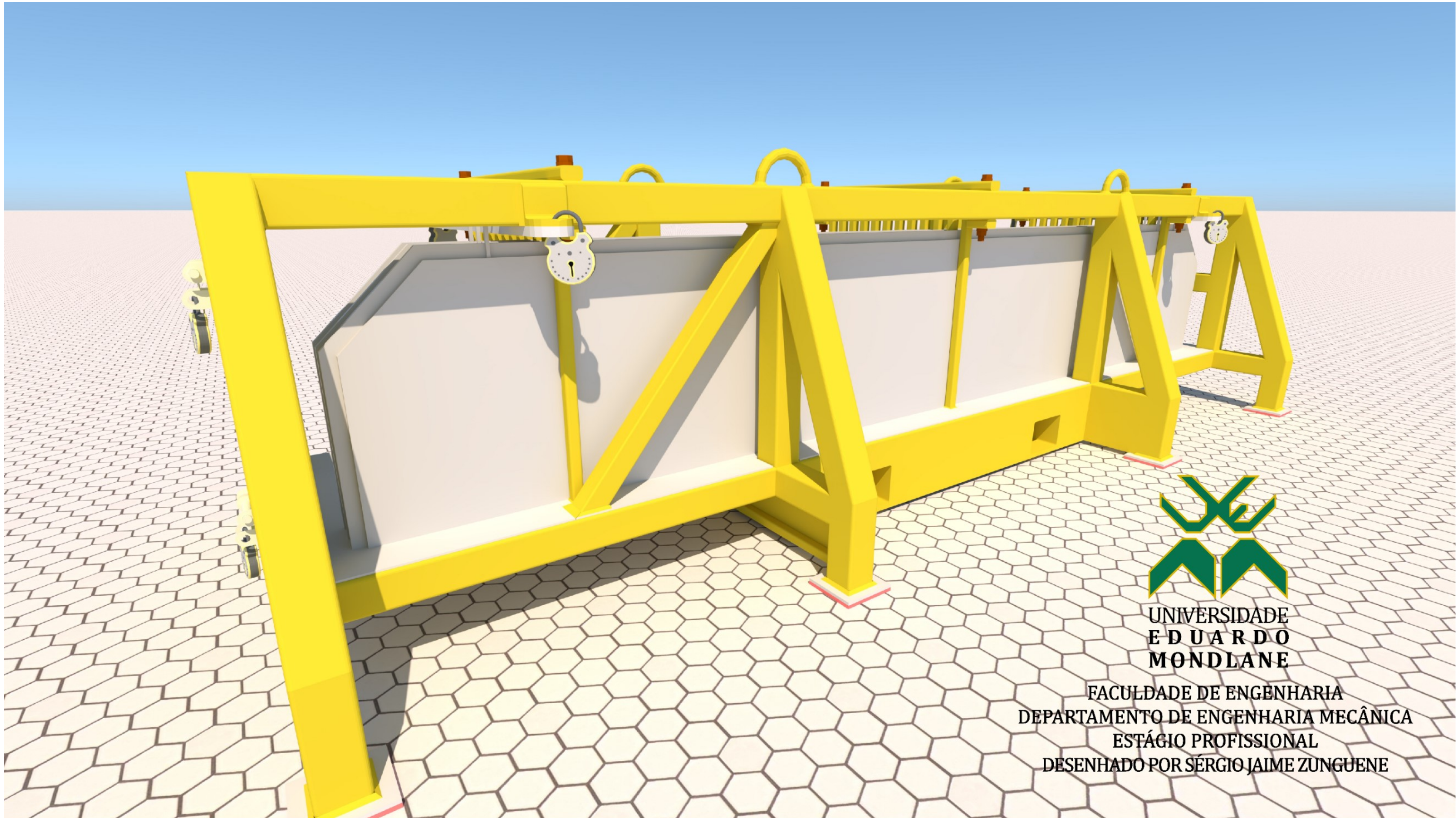
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE

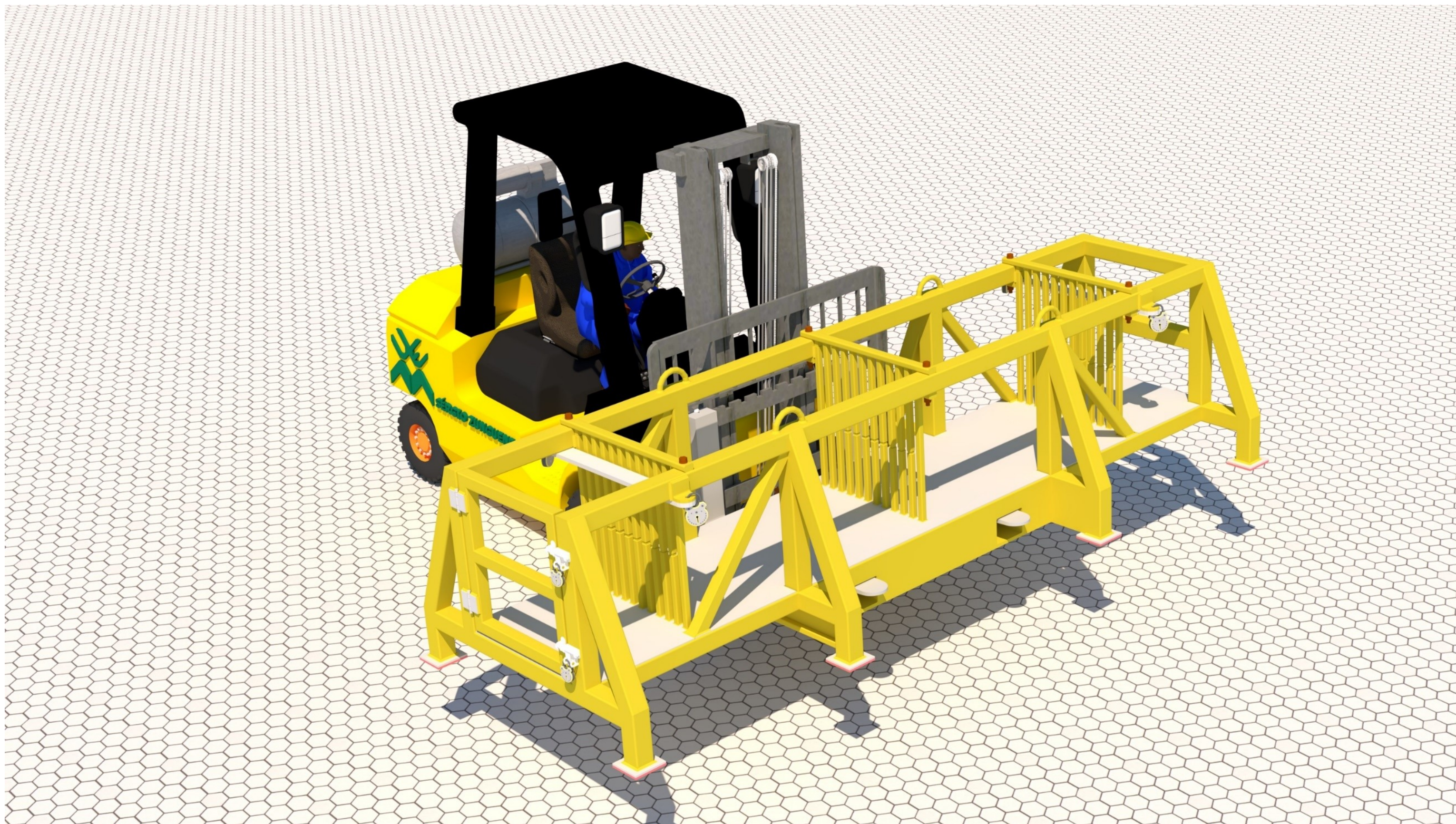


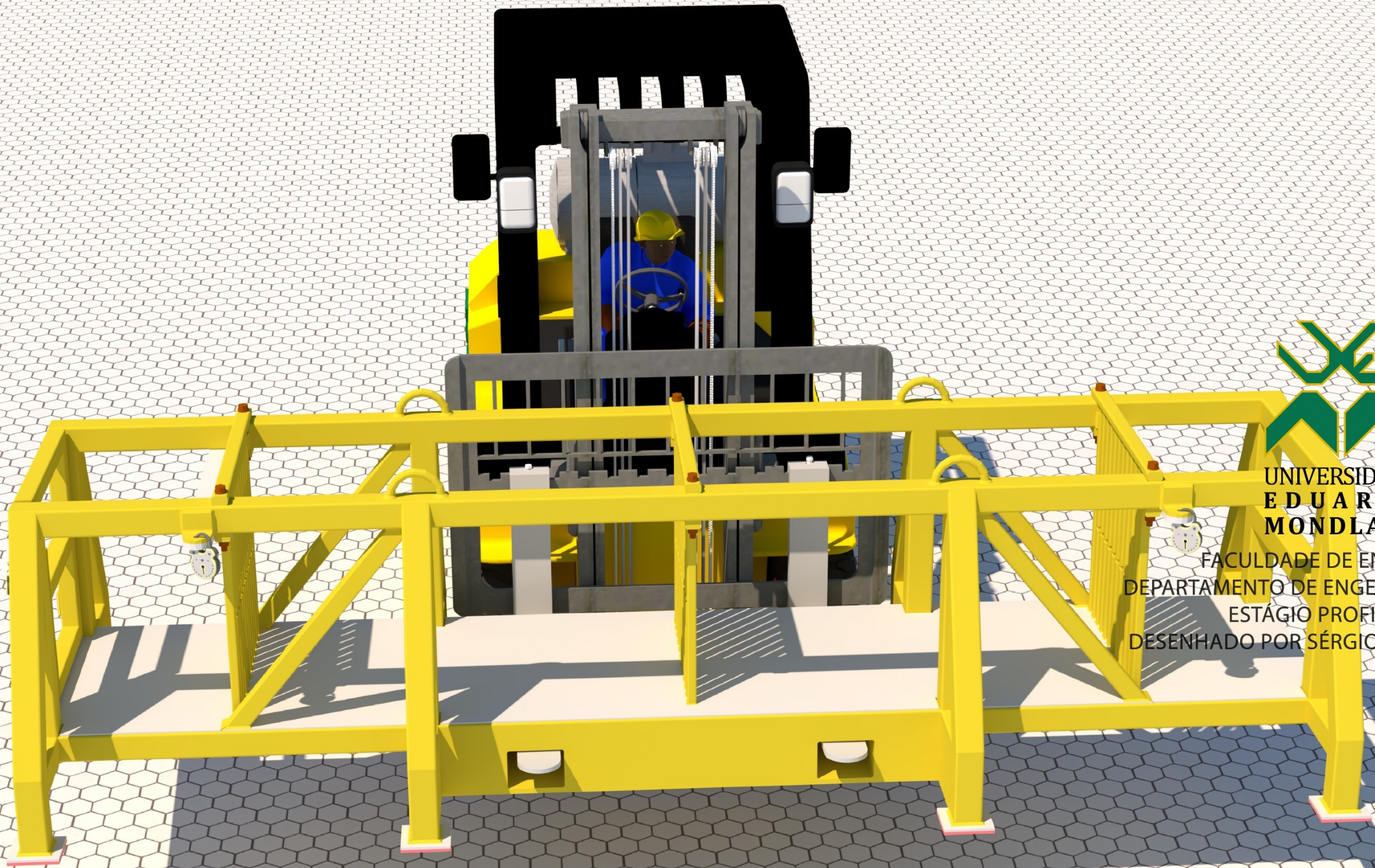
UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE

itel
SHOT ON A35

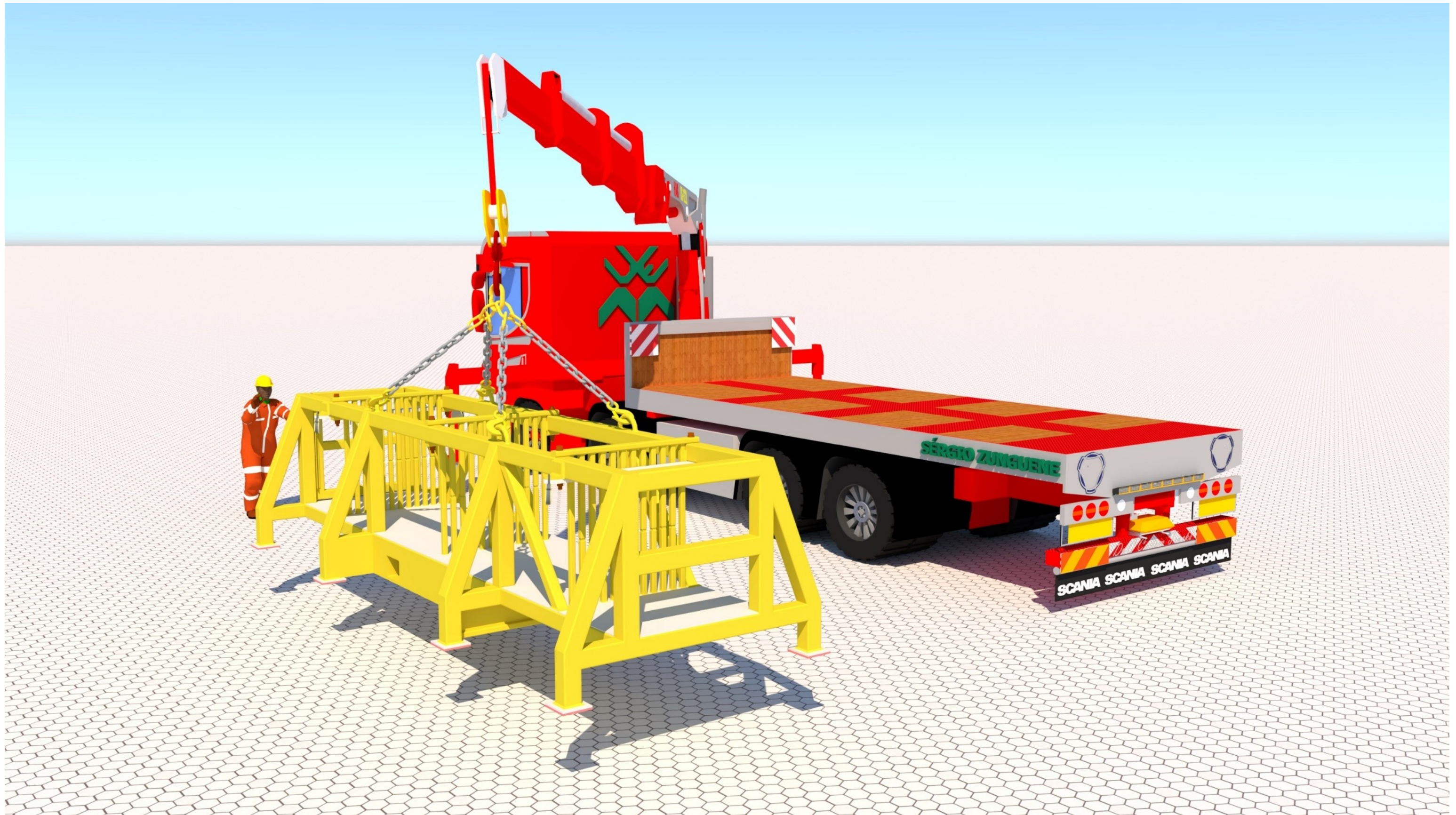


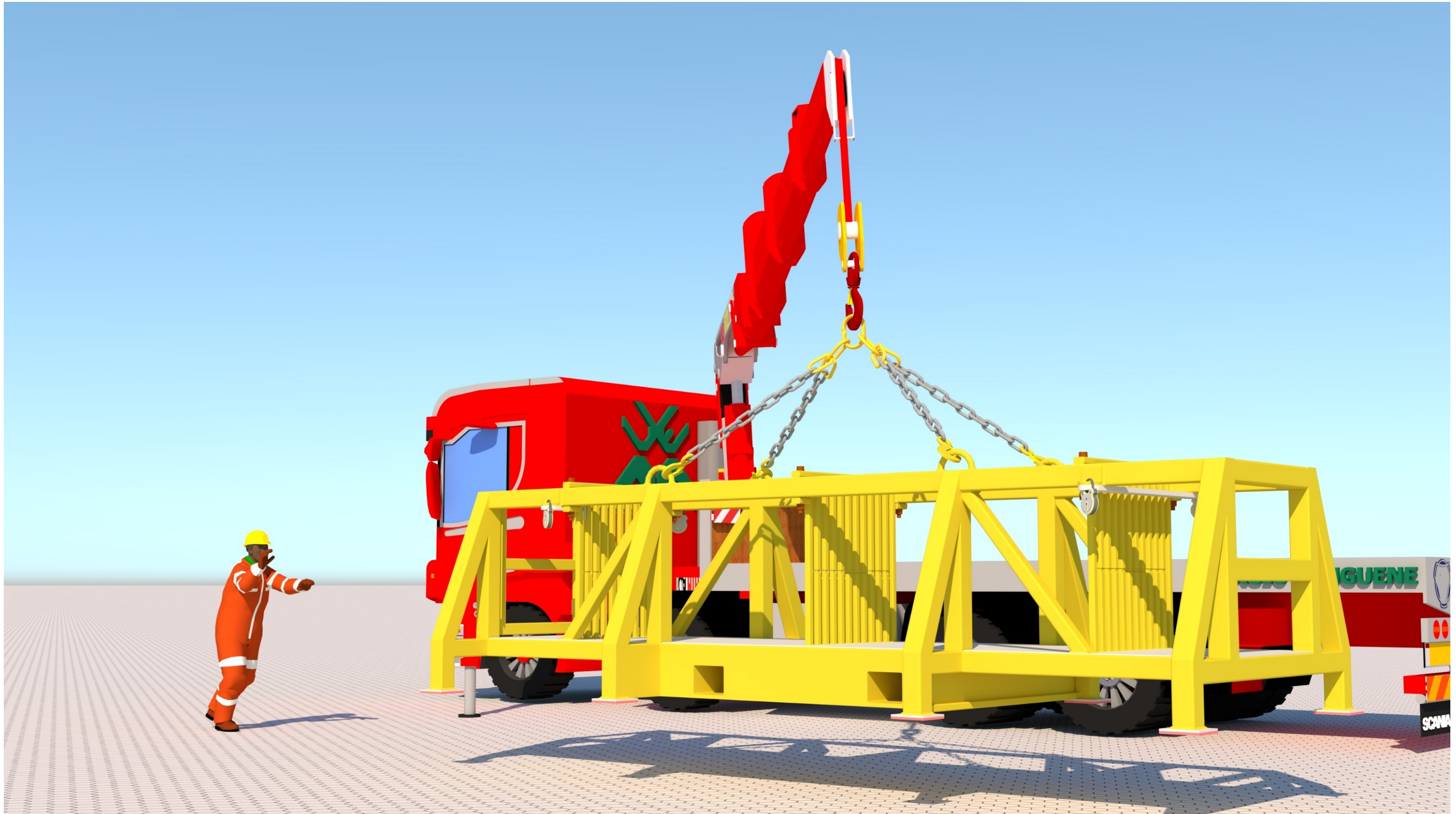


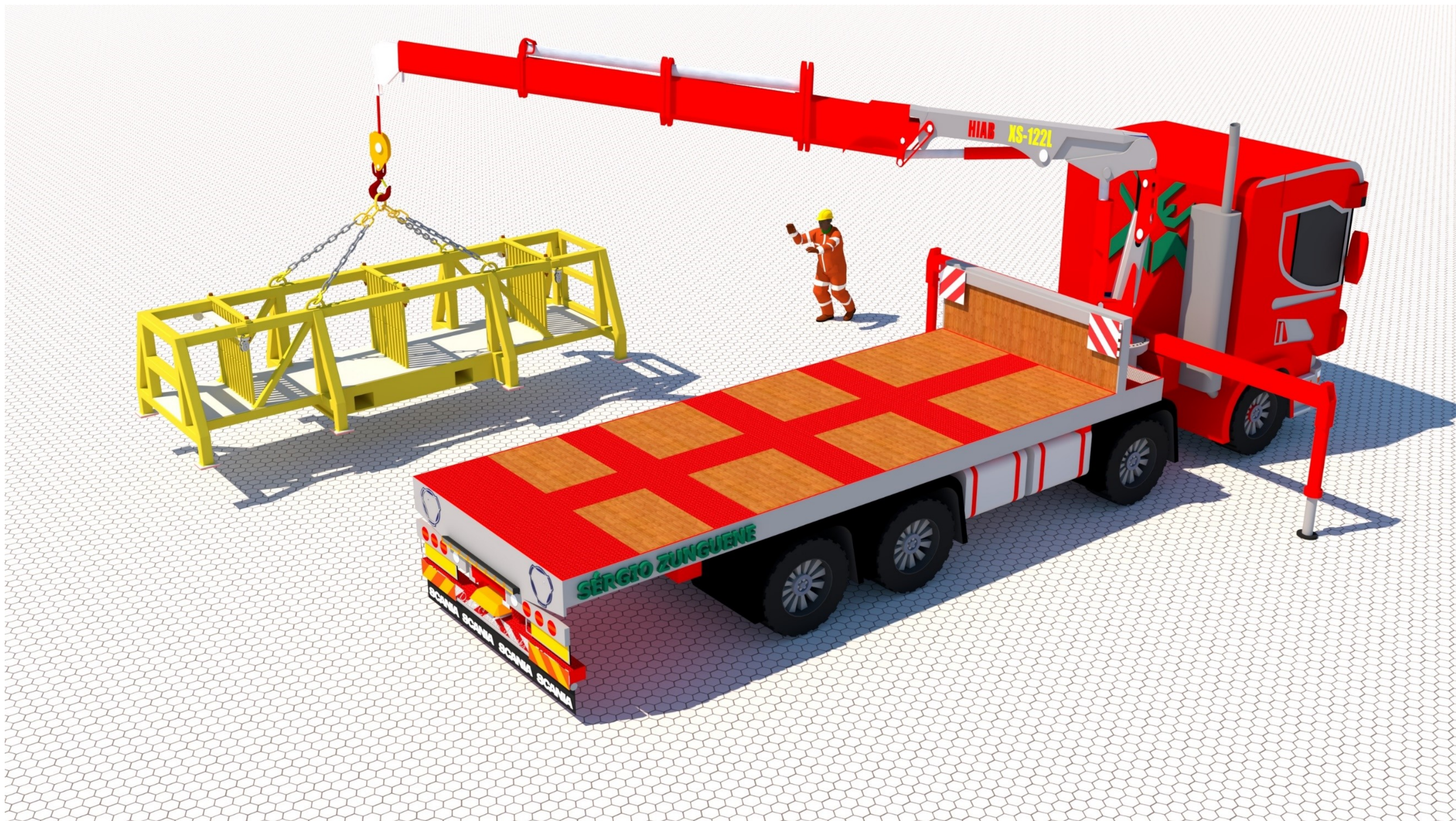


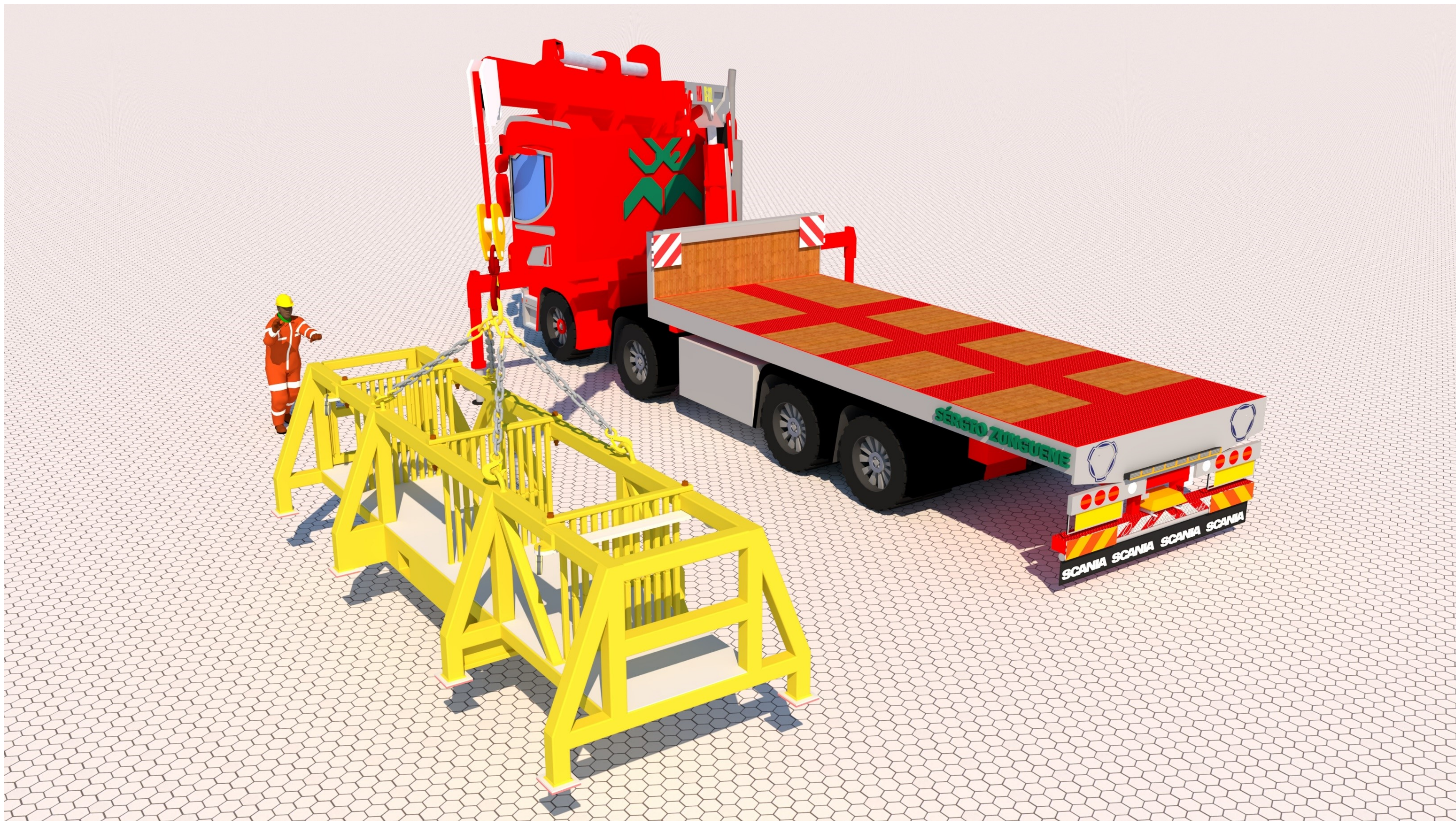
UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





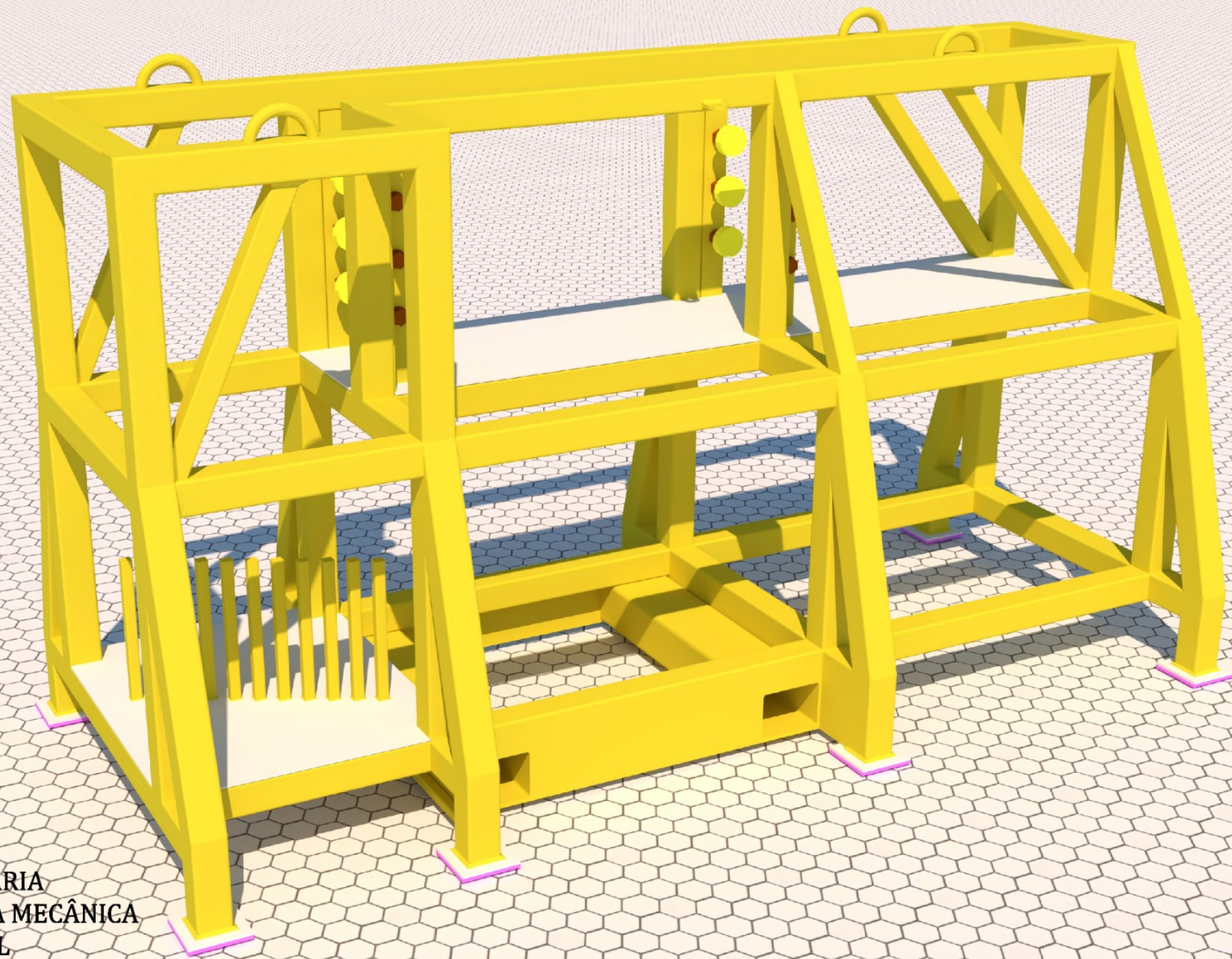






UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

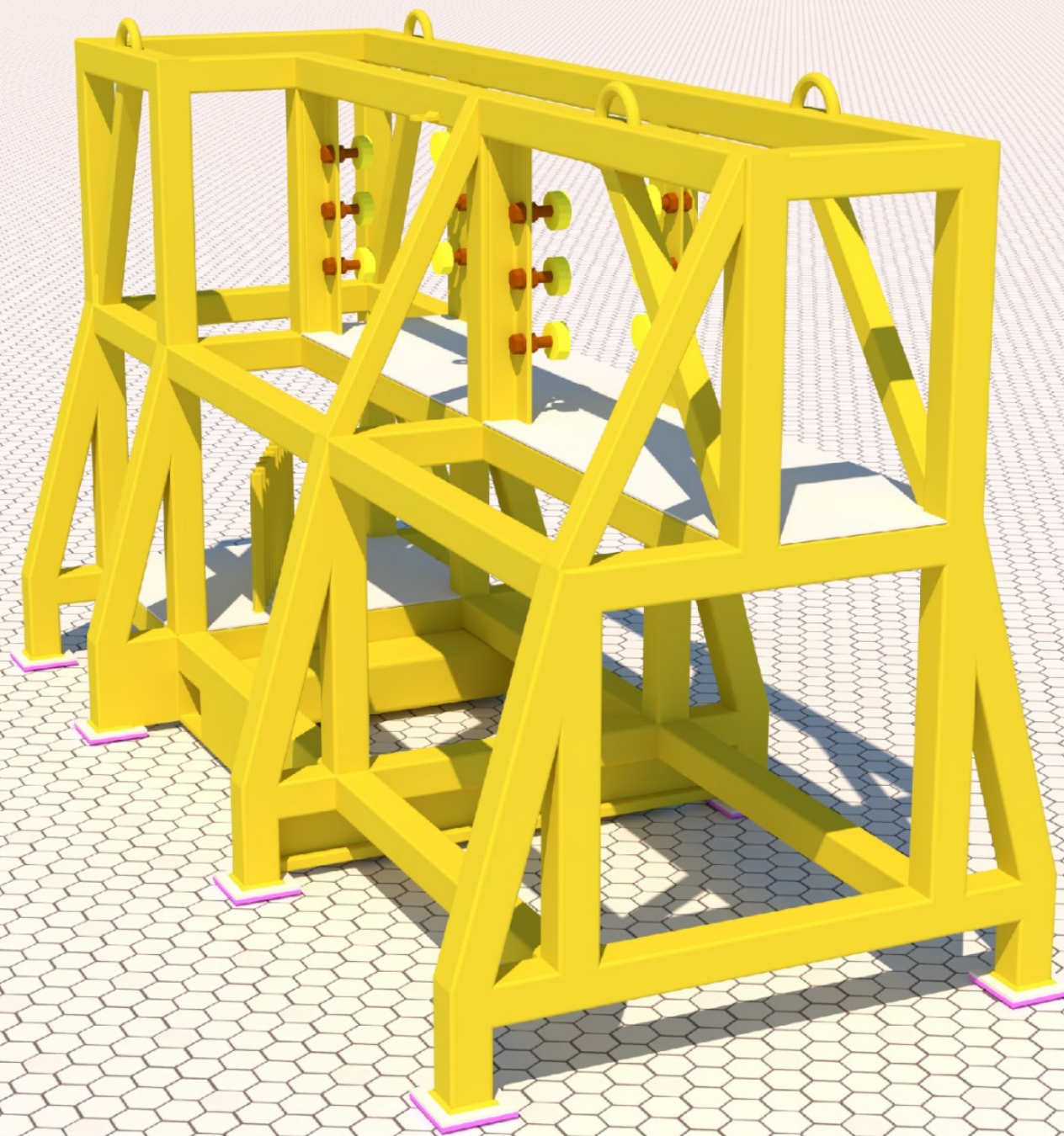
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





**UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE**

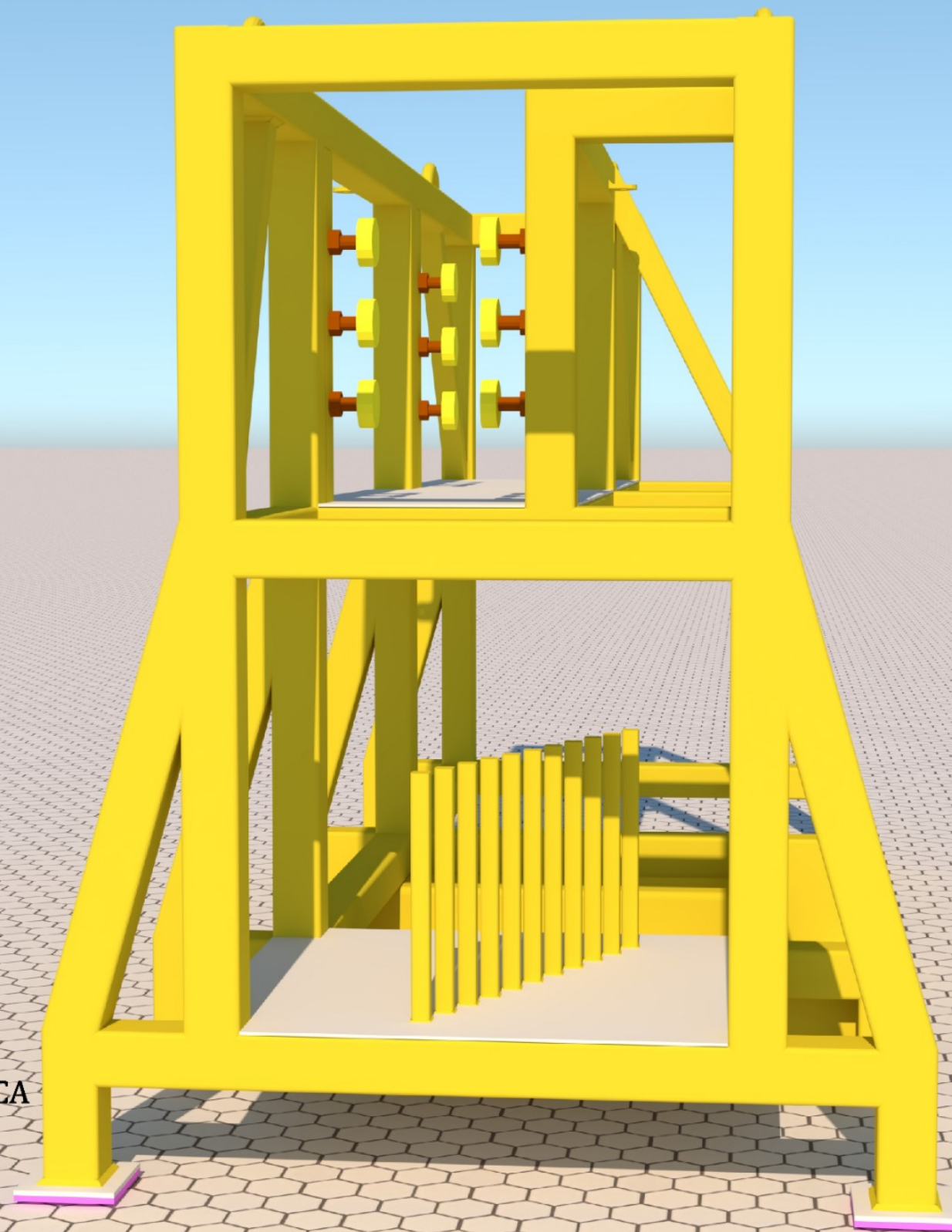
**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE**





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

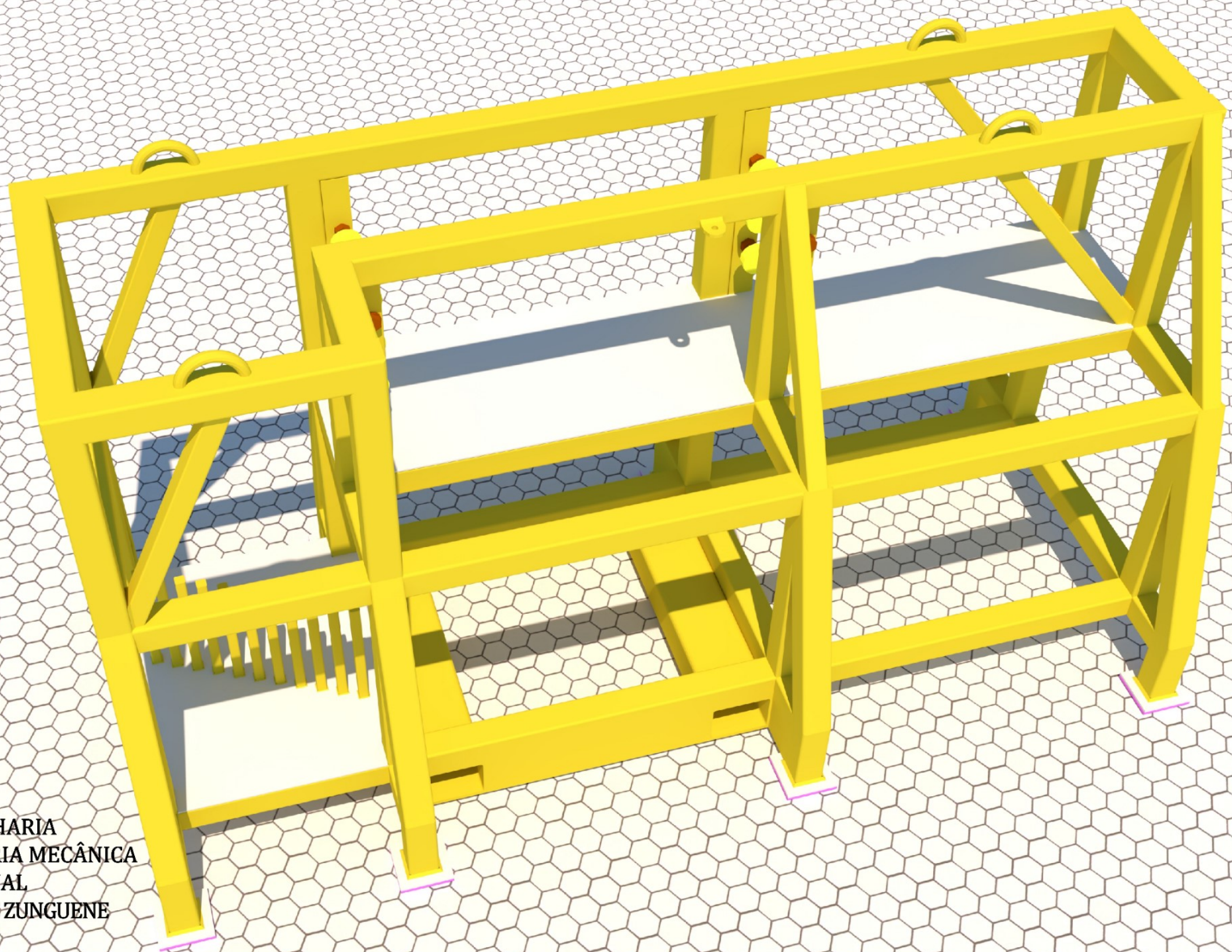
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

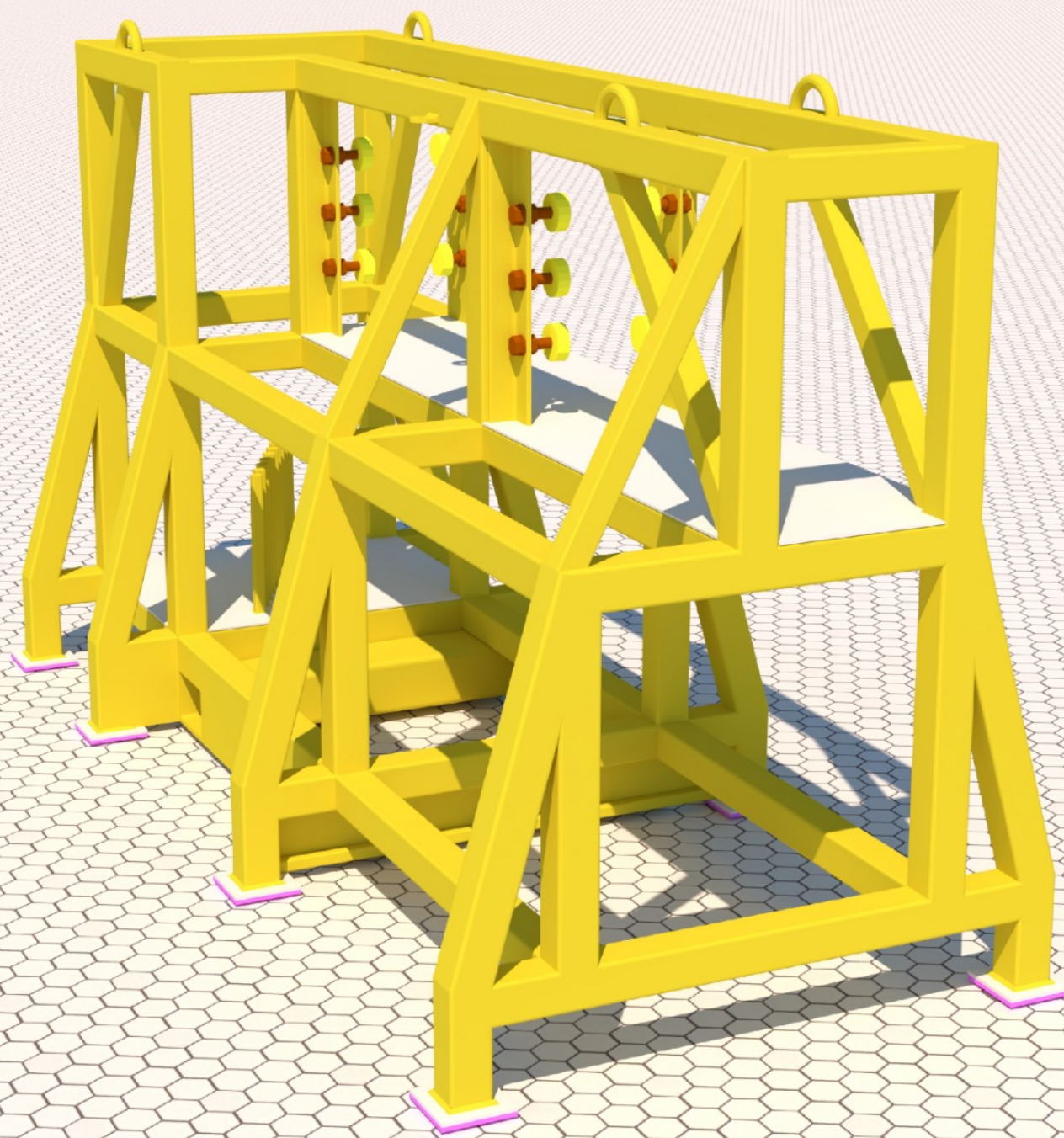
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE





UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

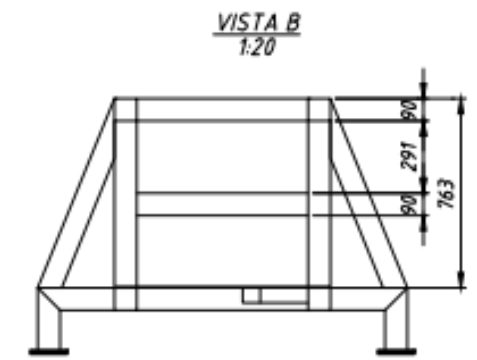
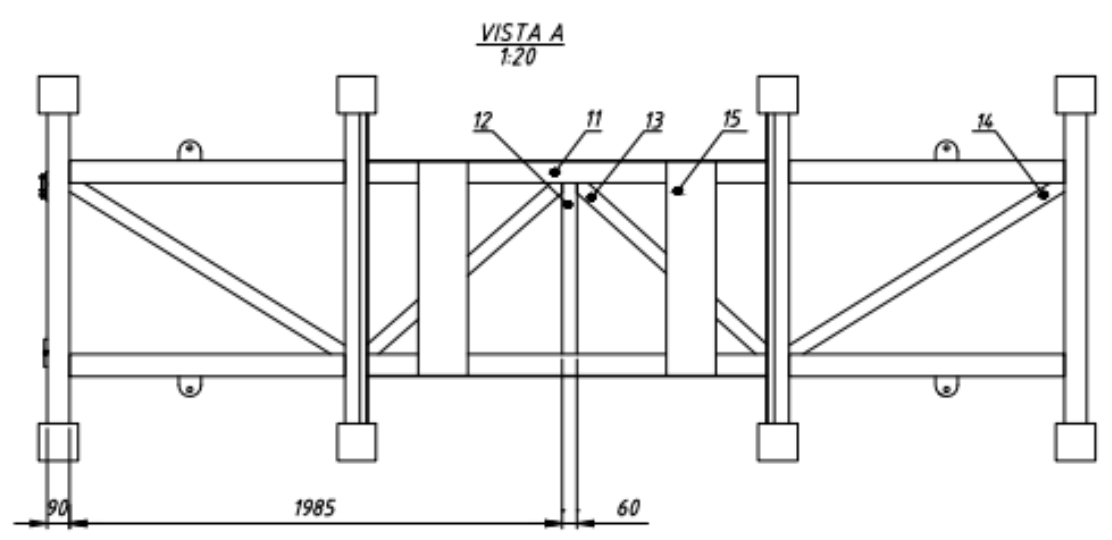
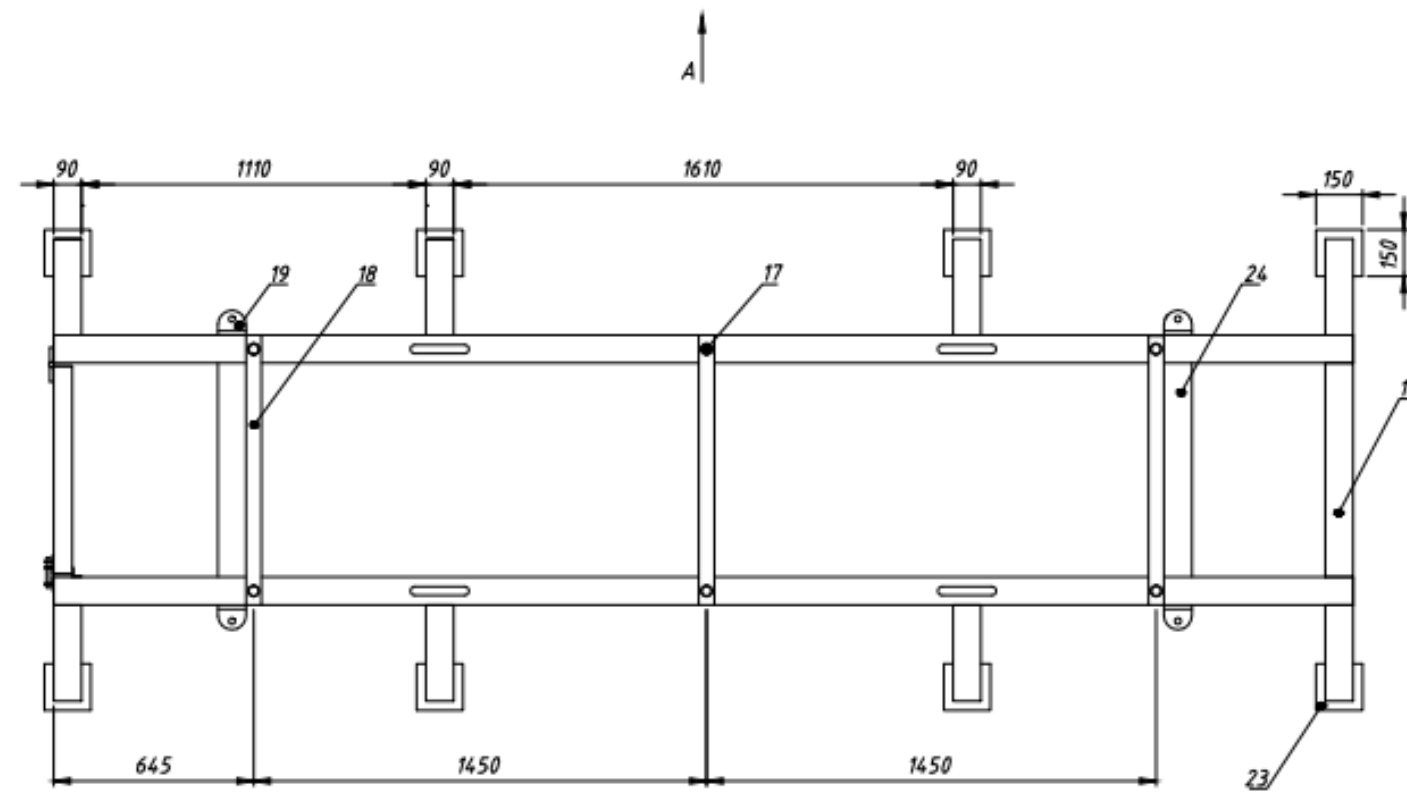
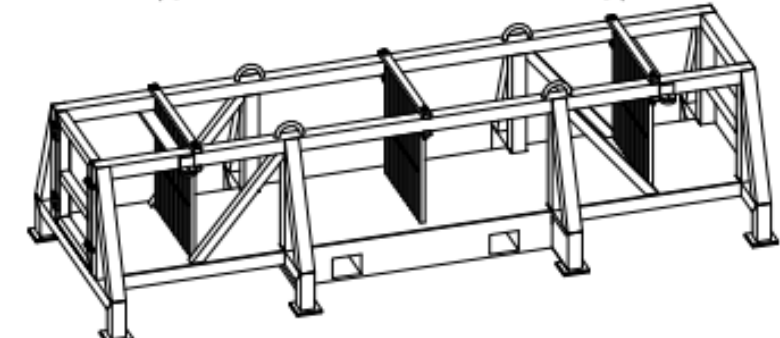
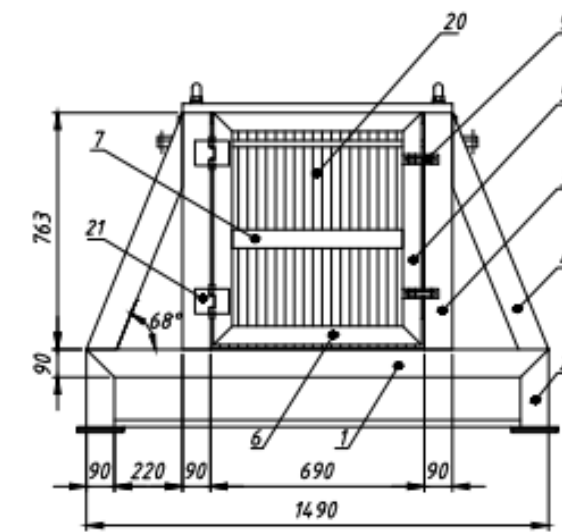
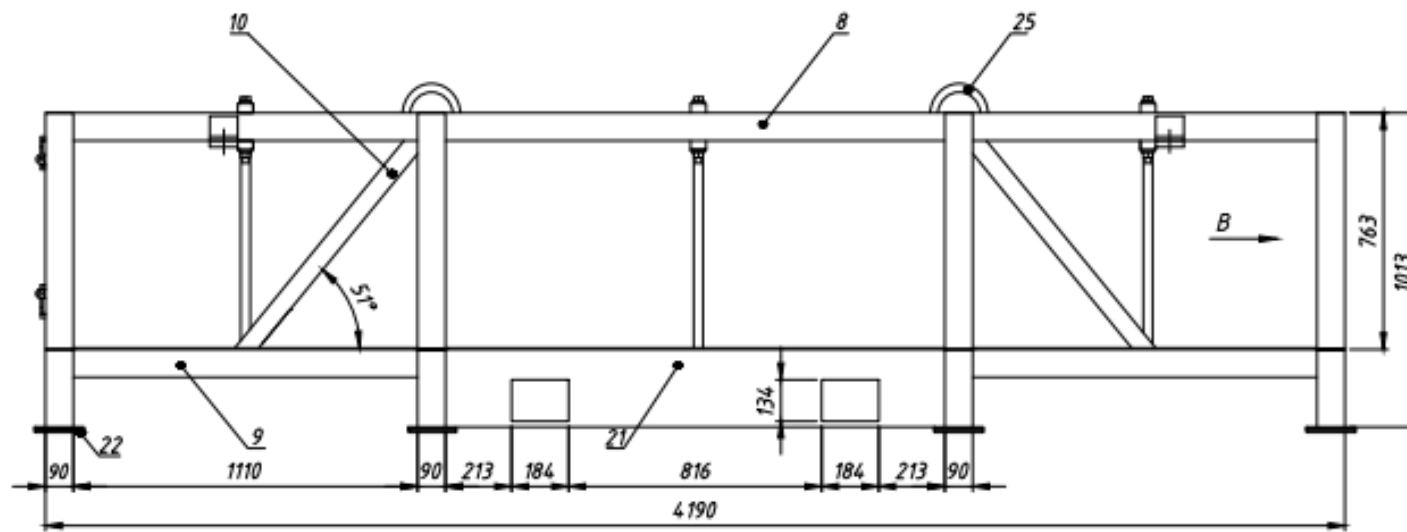
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
DESENHADO POR SÉRGIO JAIME ZUNGUENE

itel
SHOT ON A35



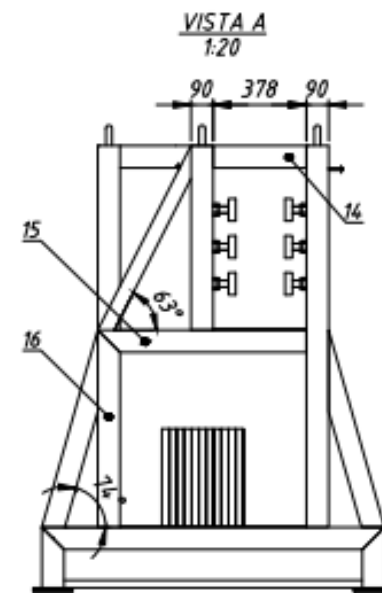
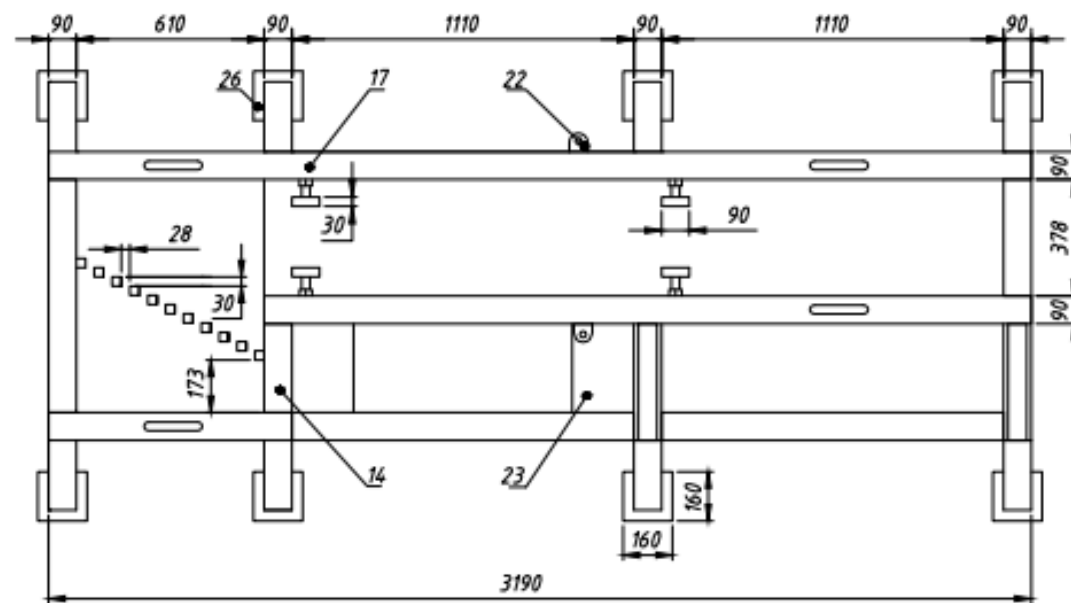
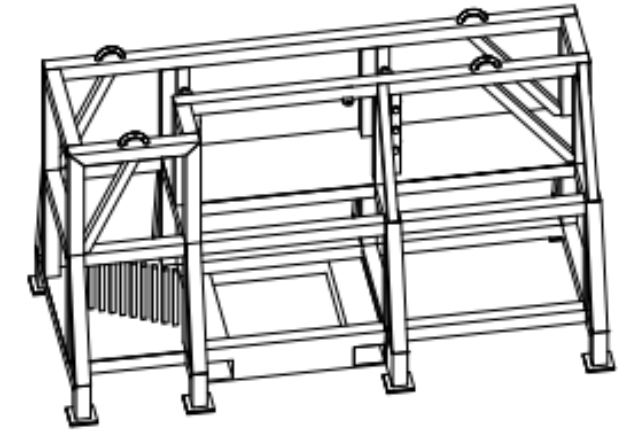
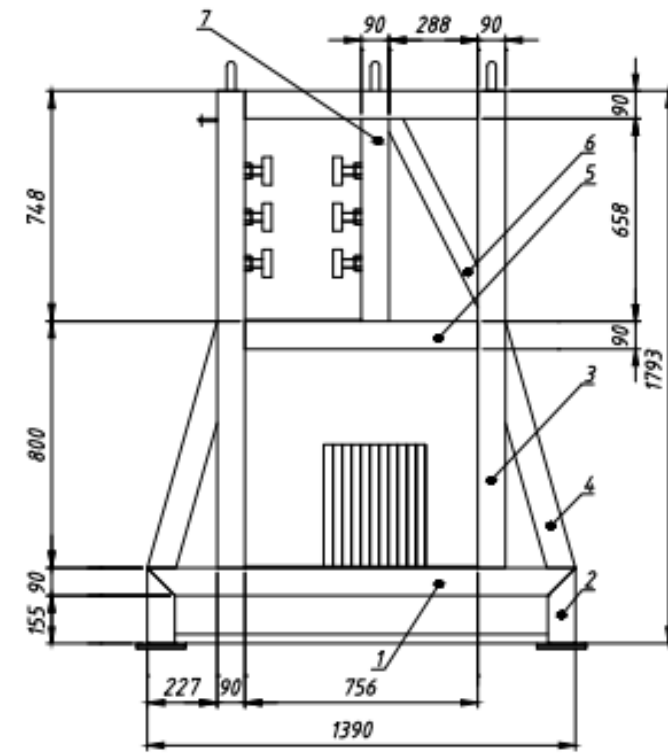
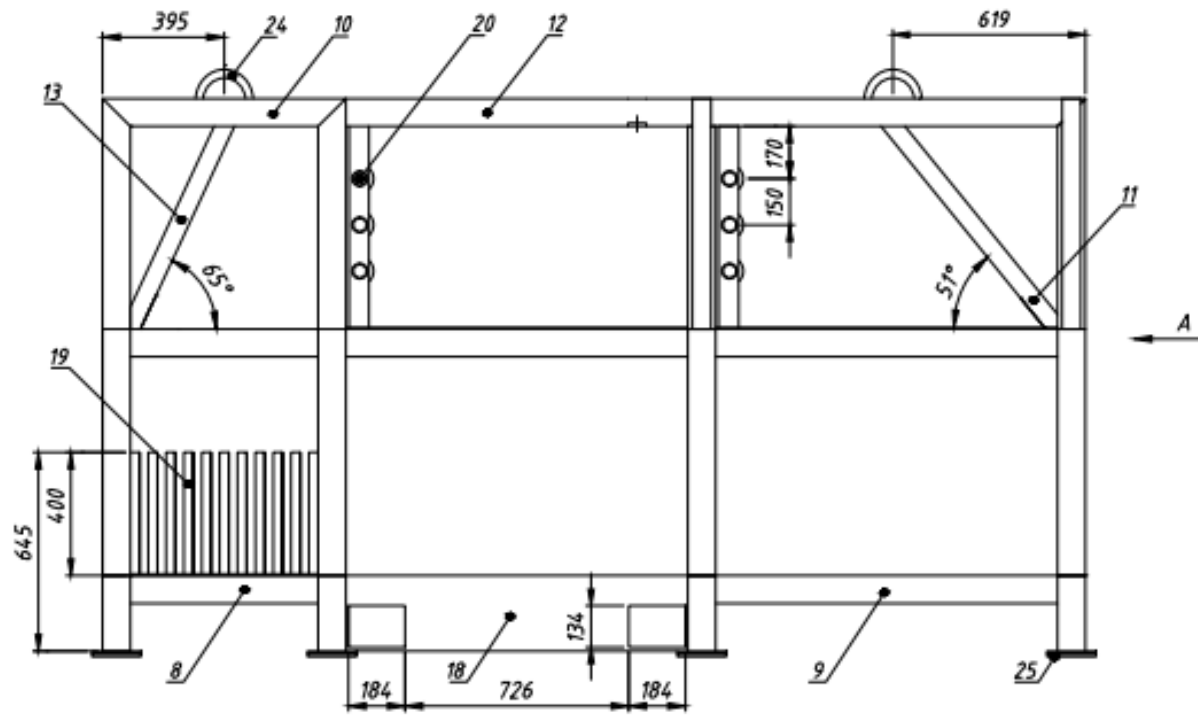
**UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL
SÉRGIO JAIME ZUNGUENE**



25	Elo de ligação	4				
24	Barra de bloqueio	2				
23	Chapa de base	8				
22	Isolamento electrico	8				
21	Dobradiça	2				
20	Tubo Separador	32				
19	Cantoneira de bloqueio	4				
18	Tubo divisor do separador	3				
17	Parafuso M20x200	6				
16	Travessa Secundaria	2				
15	Balsa para empilhadeira	2				
14	Reforço horizontal	2				
13	Sistema de ligação	4				
12	Montante horizontal	1				
11	Travessa central	4				
10	Reforço vertical	4				
9	Tranqueta	2				
8	Travessa Superior	2				
7	Travessa divisora	1				
6	Travessa principal-porta	2				
5	Montante principal-porta	2				
4	Reforço Lateral	8				
3	Montante	8				
2	Perna de apoio	8				
1	Travessa	4				
Format	Zone	Item	Part Number	Description	Qty	Comments

UEM-FE-DEMA-ESTÁGIO-PROFISSIONAL-2022						
Rev	Sheet	Document No.	Sign	Date	Scale	
Author	ZUNGUENE	SERGIO			1:16	
Checked	ENER-MACOMODUE					
					Sheet	Sheets
					UEM-FE-DEMA	



Forma	Zone	Item	Part Number	Description	Qty	Comments
		26		Chapa de base	8	
		25		Isolamento Electrico	8	
		24		Elo de ligação	4	
		23		Balsa para empilhadeira	2	
		22		Chapa de bloqueio	4	
		21		Dispositivo de Aperto	12	
		20		Parafuso M20x200	12	
		19		Barra Separadora	11	
		18		Chapa frontal balsa	2	
		17		Travessa superior	1	
		16		Montante secundaria	2	
		15		Travessa secundaria 2	3	
		14		Travessa transversal 2	1	
		13		Diagonal vertical 2	4	
		12		Travessa principal 2	1	
		11		Diagonal vertical 1	4	
		10		Travessa principal 1	2	
		9		Travessa Transversal 2	2	
		8		Travessa Transversal 1	2	
		7		Montante secundaria	3	
		6		Reforço Vertical	2	
		5		Travessa secundaria 1	2	
		4		Reforço Lateral	8	
		3		Montante principal	8	
		2		Perna de apoio	8	
		1		Travessa	4	

Rev	Sheet	Document No.	Sign	Date	UEM-FE-DEMA-ESTÁGIO-PROFISSIONAL-2022		
Author		ZUNGUENE	SERGIO		RACK METÁLICO INDUSTRIAL PARA CHAPAS DE ALUMÍNIO EM L		
Checked		ENGR-MIXCOMOUE			Lit	Mass	Scale
							1:16
					Sheet	Sheets	
					UEM-FE-DEMA		