



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL



Relatório de Estágio Profissional

**Dimensionamento e execução de torre metálica para
a sustentação de quatro depósitos de água de
10 000 litros**

Autor: Mabota, Tomás Félix Matonga

Supervisor: Engº. Francisco Ricardo

Co-Supervisor: Prof. Doutor Carlos Quadros

Maputo, Março de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL



Relatório de Estágio Profissional

Dimensionamento e execução de torre metálica para a sustentação de quatro depósitos de água de 10 000 litros

Autor: Mabota, Tomás Félix Matonga

Supervisor: Engº. Francisco Ricardo

Co-Supervisor: Prof. Doutor Carlos Quadros

Maputo, Março de 2022

Dimensionamento e execução de torre metálica para a sustentação de quatro depósitos de água de 10 000 litros

Relatório de Estágio Profissional, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do **Grau de Licenciado em Engenharia Civil**.

Autor:

(Mabota, Tomás Félix Matonga)

Supervisor:

(Eng^o. Francisco Ricardo)

Co-Supervisor:

(Prof. Doutor Carlos Quadros)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais **Félix Mabota** e **Josefina Machanguana** pela doação e sacrifício para que a minha formação académica se concretizasse.*

*Aos meus irmãos **David** (2016) e **Albertina** (2021) em memória.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a **Deus** pelo dom da vida, pela saúde, por todas graças e força concedida ao longo da formação.

Aos meus pais, **Félix Mabota** e **Josefina Machanguana**, que de forma incansável estiveram sempre comigo, pelo apoio incondicional e pelas lições de vida.

A Geodrill por ter-me acolhido e ajudado nesta fase de culminação do curso. A todos colaboradores pelos momentos de partilha e aprendizado.

Aos meus supervisores, o Prof. Doutor Carlos Quadros e o Eng^o. Francisco Ricardo pela orientação e pelos conselhos que tornaram possível a elaboração deste relatório.

Aos meus Irmãos e amigos que sempre me acompanharam e ajudaram nas diferentes situações ao longo da formação.

A todos que fizeram parte da minha caminhada académica.

Muito obrigado.

RESUMO

O presente documento refere-se ao relatório do estágio profissional realizado na empresa GEODRILL,LDA – Sondagens e Obras Geotécnicas, localizada na Av. 25 de Setembro, nº 2526,1º andar-Cidade de Maputo. Este estágio insere-se no plano curricular vigente na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como forma de culminação do curso para a obtenção do grau de licenciado em Engenharia Civil.

É apresentado neste relatório o **dimensionamento e a execução de uma torre metálica** para a sustentação de quatro depósitos de água de 10 m³ cada, de aproximadamente 15,60 m de altura ao nível da base dos depósitos para o Sistema de Abastecimento de Água da Vila de Mopeia - Província da Zambézia.

A estrutura metálica é composta basicamente por duas partes: a **plataforma**, que é a base que recebe os depósitos de água, constituída por grelhas metálicas, vigas principais e secundárias em perfis I e a **base de sustentação da plataforma** formando treliça e materializada por cantoneiras de abas iguais. As ligações entre os diferentes elementos são realizadas por parafusos tornando a sua montagem simples e rápida quando comparada com as soldaduras.

O processo de fabricação compreende duas fases: o **corte** e a **furação** baseados nos desenhos de execução. Sendo uma estrutura com ligações aparafusadas há uma necessidade de proceder a pré-montagem no estaleiro de modo a verificar-se a compatibilidade dos furos e proceder o seu ajuste caso seja necessário bem como a marcação das peças e suas posições o que facilita o processo de montagem.

A montagem consiste no posicionamento e fixação das peças nos respectivos lugares em obra. Este processo foi realizado recorrendo a um sistema de roldas.

Não foi possível apresentar a execução completa da torre devido as dificuldades encontradas no local, isto é, a alteração do local previamente indicado pra a implantação da estrutura e as condições climatéricas, o que levou ao prolongamento do período de execução da obra.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Apresentação da empresa	2
1.3. Objectivos	3
1.4. Metodologia.....	3
1.5. Organização do trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Introdução	4
2.2. Propriedades Mecânicas do Aço Estrutural	5
2.3. Estruturas metálicas.....	6
2.4. Ligações em estruturas metálicas.....	7
2.4.1. Ligações rebitadas	8
2.4.2. Ligações aparafusadas.....	8
2.4.3. Ligações soldadas.....	9
2.5. Bases de pilares metálicos	10
2.6. Fundações de torres metálicas	11
2.7. Dimensionamento de Estruturas de Aço.....	12
2.8. Acções	13
2.8.1. Acções permanentes	13
2.8.2. Acções variáveis.....	13
2.9. Combinação de acções.....	14
2.9.1. Combinações fundamentais	14
3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA TORRE METÁLICA	14
3.1. Descrição da torre.....	14
3.1.1. Elementos principais	14
3.1.2. Elementos secundários	14
3.2. Dimensionamento da Plataforma da torre.....	15
3.2.1. Vigas secundárias externas.....	16
3.2.2. Vigas secundárias internas.....	16
3.2.3. Vigas principais	17
3.3. Dimensionamento da estrutura de sustentação (torre)	17
3.3.1. Quantificação da acção do vento	18
3.3.2. Esforços axiais máximos nos elementos que compõem a estrutura	19
3.3.3. Dimensionamento dos elementos da torre	20

3.4.	Verificação da estabilidade da estrutura (EC3)	21
3.4.1.	Análise dos efeitos de 2ª ordem	21
3.4.2.	Classificação das secções transversais dos elementos estruturais	21
3.4.3.	Verificação da resistência à encurvadura	21
3.5.	Dimensionamento das ligações aparafusadas e soldadas	23
3.6.	Dimensionamento de chumbadores.....	24
3.6.1.	Verificação de segurança	24
3.6.2.	Comprimento de ancoragem	25
3.6.3.	Dimensionamento da chapa de base	25
3.6.4.	Espessura da chapa	25
3.6.5.	Ligação chapa – pilar	25
3.7.	Dimensionamento das fundações	26
3.7.1.	Dimensões em planta	26
3.7.2.	Espessura da sapata	26
3.7.3.	Verificação ao punçoamento	26
3.7.4.	Dimensionamento à flexão	27
3.7.5.	Verificação da fundação ao levantamento.....	27
3.7.6.	Armaduras do pilar de arranque	28
4.	FABRICAÇÃO E MONTAGEM	31
4.1.	Fabricação	31
4.1.1.	Corte.....	31
4.1.2.	Furação	31
4.1.3.	Limpeza.....	32
4.1.4.	Armação (pré-montagem).....	33
4.1.5.	Soldadura	33
4.1.6.	Tratamento superficial por Metalização.....	34
4.2.	Montagem	34
4.2.1.	Fundações.....	34
4.2.2.	Montagem da estrutura metálica	37
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	40
5.1.	Conclusões	40
5.2.	Recomendações	40
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
Anexos	A

Lista de Símbolos

E - Módulo de elasticidade

ν - Coeficiente de Poisson

G - Módulo de distorção

σ_{sd} - Valor de cálculo da tensão normal actuante

τ_{sd} - Valor de cálculo da tensão tangencial actuante

σ_{rd} - Valor de cálculo da tensão normal resistente

τ_{rd} - Valor de cálculo da tensão tangencial resistente

f_{yd} - Valor de cálculo da tensão de cedência ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%.

S_d - Valor de cálculo do esforço actuante

S_{Gik} - Esforço resultante da acção permanente, tomada com o seu valor característico

S_{Q1k} - Esforço resultante da acção variável considerada como acção de base na combinação, tomada com o seu valor característico (S_{Ek} no caso da acção sísmica)

γ_{gi} - Coeficiente de segurança relativo às acções permanentes

γ_q - Coeficiente de segurança relativo às acções variáveis

Ψ_{0j} - Coeficiente Ψ correspondente à acção variável de ordem j

w - Módulo de flexão

M_{sd} - Valor de cálculo do momento flector actuante

N_{sd} - Valor de cálculo do esforço axial actuante

A_{ef} - Área efectiva

A_{br} - Área bruta

C_t - Factor de arrastamento

q_h - Pressão dinâmica

ρ - Massa específica

G_q - factor de resposta da estrutura à solicitação do vento

G_t - factor de ressonância estrutural

A – área de uma secção transversal

h - altura de uma secção transversal

b - largura de uma secção transversal

t - espessura

I - momento de inércia

N_{Ed} - valor de cálculo do esforço axial de compressão

$N_{b,Rd}$ – valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento comprimido

f_y – valor de cálculo da tensão resistente

γ_{M1} – valor parcial de segurança para a resistência dos elementos em relação a fenómenos de encurvadura, avaliada através de verificações individuais de cada elemento

χ – coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante

ϕ – valor para determinar o coeficiente de redução χ

α – factor de imperfeição

$\bar{\lambda}$ – esbelteza normalizada

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

Le – comprimento de encurvadura

$F_{W,Ed}$ – valor de cálculo do esforço actuante na soldadura por unidade do comprimento

$F_{W,Rd}$ – valor de cálculo do esforço resistente na soldadura por unidade do comprimento

β_w – factor de correlação para soldaduras de ângulo

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

σ_{Adm} – valor da tensão admissível do solo

f_{ck} – valor característico da tensão de resistência do betão à compressão aos 28 dias de idade

μ – momento reduzido

ω – percentagem mecânica de armadura

Φ – diâmetro do varão

Lista de siglas

AIAS - Administração de Infra-Estruturas de Água e Saneamento

ELU - Estado Limite Último

ELS - Estado Limite de Serviço

REAE - Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios

REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado

RSAEEP - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

EC3 – Eurocódigo 3

NP – Norma portuguesa

EN – Norma europeia

Lista de figuras

Figura 1: Parafuso e porca.....	8	
Figura 2: Esforços actuantes em bases de pilares metálicos (Fonte: Martins, 2006)	11	
Figura 3: Composição de uma ligação de base de pilares (Fonte: Marques, 2013)	11	
Figura 4: Plataforma da torre (Fonte: o autor)	15	
Figura 5: Sistema estático e carregamento no pavimento metálico.....	15	
Figura 6: Sistema estático e carregamento nas vigas secundárias externas.....	16	
Figura 7: Sistema estático e carregamento nas vigas secundárias internas.....	16	
Figura 8: Sistema estático e carregamento nas vigas principais	17	
Figura 9: Sistema estático da estrutura de sustentação	17	
Figura 10: Sistema estático (à esquerda), discretização dos nós (ao meio) e discretização das barras da estrutura (à direita).....	23	
Figura 11: Peças cortadas	Figura 12: Disco de corte.....	31
Figura 13: Máquina de furação e brocas.....	32	
Figura 14: Disco de limar	32	
Figura 15: Pré-montagem em fábrica.....	33	
Figura 16: Soldadura em fábrica	Figura 17: Soldadura em obra	33
Figura 18: Antes e depois do tratamento superficial.....	34	
Figura 19: Betão de limpeza	35	
Figura 20: Cofragem da sapata	Figura 21: vibração do betão.....	35
Figura 22: Sapata betonada	Figura 23: Descofragem da sapata.....	36
Figura 24: Pilar betonado e descofrado.....	36	
Figura 25: Chapas de ligação e chumbadores	36	
Figura 26: a) Montagem dos pilares e travessas, b) montagem das diagonais	38	
Figura 27: Montagem dos primeiros 6 metros e 9 metros, respectivamente.....	38	
Figura 28: a) Estrutura de sustentação concluída, b) colocação das vigas principais.....	39	

Lista de tabelas

Tabela 1: Valores de cálculo das tensões resistentes.....	13
Tabela 2: Descrição dos elementos da torre.....	14
Tabela 3: Esforços axiais máximos.....	19
Tabela 4: Combinações de acções consideradas para esforços de cálculo	20
Tabela 5: Agrupamento das ligações.....	24
Tabela 6: Resumo dos elementos constituintes da torre.....	29
Tabela 7: Elementos substituídos em função da disponibilidade dos materiais no mercado	30

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O presente documento refere-se ao relatório do estágio profissional realizado na empresa **GEODRILL,LDA – Sondagens e Obras Geotécnicas**, localizada na Av. 25 de Setembro, nº 2526,1º andar-Cidade de Maputo. O estágio teve a duração de 6 meses com objectivo de integração e desenvolvimento de competências na área profissional.

Durante o período de estágio foram realizadas diversas actividades com maior enfoque no projecto da AIAS (Administração de Infra-Estruturas de Água e Saneamento) que consiste na construção de uma torre metálica para a sustentação de quatro depósitos de água de 10 m³ cada, de aproximadamente 15,60 m de altura ao nível da base dos depósitos para o Sistema de Abastecimento de Água da Vila de Mopeia - Província da Zambézia.

O Projecto é da autoria da empresa COLLINS sistemas de água, lda, sendo que a Geodrill,lda é responsável pela execução. No entanto, ao longo do estágio desenvolveu-se o projecto estrutural da torre com a finalidade de verificar a sua estabilidade.

1.2. Apresentação da empresa

A Geodrill,lda - Sondagens e Obras Geotécnicas,lda é uma empresa moçambicana que desde a sua fundação, aposta nos mercados exigentes e competitivos na área de Mineração, Hidrogeologia, da Geotecnia, fundações especiais e construção de Pequenos Sistemas de Abastecimento de Água, oferecendo assim todo seu conhecimento adquirido ao longo de dezenas de anos pelos seus colaboradores.

Tendo como missão primordial a satisfação dos seus clientes, assente na qualidade dos serviços prestados, fazendo dessa a sua maior publicidade, a Geodrill,lda reúne nos seus quadros profissionais com larga experiência nas vertentes de projecto e execução, que pautam a sua actuação pelo rigor, pela transparência, segurança e higiene no trabalho, meio ambiente e um elevado sentido ético.

Detentora de um vasto leque de equipamento, em permanente actualização, acompanhando a inovação dos vários tipos de sistemas de perfuração. A geodrill,lda distingue-se pelo esforço contínuo na implantação de novas tecnologias e nos domínios onde opera, sendo prova disso o pioneirismo na aplicação de novos sistemas de perfuração em Moçambique, e no desenvolvimento das próprias inovações.

A Geodrill,lda tem como visão ser uma empresa líder do mercado nas sondagens mineiras e obras geotécnicas em Moçambique.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- ✓ Descrever o processo de dimensionamento e execução de uma torre metálica destinada à sustentação de quatro depósitos de água

1.3.2. Objectivos específicos

- ✓ Dimensionar a estrutura da torre com base no projecto existente;
- ✓ Apresentar as etapas de fabricação e montagem da torre;
- ✓ Consolidar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso e confrontar com a realidade;
- ✓ Familiarizar-se com a dinâmica da vida profissional.

1.4. Metodologia

O trabalho apresenta um levantamento bibliográfico sobre estruturas metálicas, com a finalidade de apresentar para o leitor informações relacionadas à concepção e dimensionamento deste tipo de estruturas. O dimensionamento foi realizado obedecendo as disposições normativas de acordo com os seguintes dispositivos:

- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP)
- Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE)
- Norma EN50341-1
- Eurocódigo 3 (EC3)
- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP)

Também fez-se o uso de *softwares* tais como:

- *Ftool*,
- *Robot Structural Analysis*
- *ArchiCad*

1.5. Organização do trabalho

Capítulo 1: Revisão bibliográfica, onde apresenta-se os principais aspectos sobre as estruturas metálicas tais como: propriedades do aço, ligações em estruturas metálicas, base de pilares metálicos, etc.

Capítulo 2: Dimensionamento da estrutura, neste capítulo faz-se a quantificação das acções, definição dos sistemas estáticos e o dimensionamento dos diferentes elementos da estrutura de modo a garantir a sua estabilidade durante a vida útil.

Capítulo 3: Fabricação e montagem, neste capítulo descreve-se o processo de fabricação das peças que compõem a estrutura bem como a sua montagem em obra.

Capítulo 4: Conclusões e recomendações, apresenta-se as principais observações e considerações finais inerentes à experiência adquirida durante o estágio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias actuais, o aço tem possibilitado aos arquitectos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade.

A utilização de estruturas metálicas no século XVIII revolucionou a engenharia civil dando um grande passo para o desenvolvimento de métodos construtivos em aço. Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), a primeira obra importante foi a ponte sobre Severn em Coalbrookdale, em 1779 na Inglaterra, construída por Abraham Darby com vão de 30m, depois foram construídos edifícios industriais e estações de comboios, apesar disto o ferro ainda continuava sendo mais restrito a pontes. Apenas na revolução Industrial o uso do aço começou a ser generalizado (Rossatto, 2015).

O aço pode ser definido como uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono (0,002% até 2%, sendo que na construção civil o teor fica entre 0,18% e 0,25%) com propriedades específicas, sobretudo de resistência e ductilidade. Pode-se resumir o processo de fabricação do aço em 4 grandes etapas:

- Preparação das matérias-primas (coqueria e sintetização);
- Produção da gusa (alto-forno);
- Produção do aço (aciaria);

- Conformação mecânica (laminação).

Para a obtenção do aço são necessárias basicamente (2) duas matérias-primas: o minério de ferro e o carvão mineral. Os mesmos, não são encontrados puros, sendo necessário um preparo prévio com o objectivo de aumentar a eficiência de operação do alto-forno e da aciaria, bem como reduzir o consumo de energia.

2.2. Propriedades Mecânicas do Aço Estrutural

As **propriedades mecânicas** definem o comportamento do aço quando sujeito a esforços mecânicos e determinam sua capacidade de resistir e transmitir estes esforços sem que rompam e sofram deformações excessivas (Rossatto, 2015).

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 estricção, 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 elevadas. As vigas de aços dúcteis sofrem grandes deformações antes de se romper, o que na prática constitui um aviso da presença de tensões elevadas. Um material não-dúctil, o ferro fundido, por exemplo, não se deforma plasticamente antes da ruptura. Diz-se, no caso, que o material é de comportamento frágil, ou seja, apresenta ruptura frágil.

Tenacidade – é a capacidade que têm os materiais de absorver energia, com deformações elásticas e plásticas. É representada pela área total do diagrama σ - ϵ . Um

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

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 acção de diversos agentes, como baixas temperaturas, efeitos térmicos locais causados por soldaduras, etc...É muito perigoso, pois os materiais frágeis rompem sem aviso prévio.

2.3. Estruturas metálicas

Estruturas metálicas é um método construtivo que oferece várias vantagens: são soluções econômicas e resistentes; sua execução é em curto prazo, além de ser um método de construção sustentável. Para que este modelo de construção garanta tais vantagens, este deve ser executado em seguinte a um projecto estrutural bem elaborado e detalhado, em benefício a segurança, conforto e economia. Em conjunto com o detalhamento da estrutura estão as ligações, são elas responsáveis por garantir o equilíbrio da estrutura.

São várias as vantagens na utilização do aço, uma delas e talvez a mais procurada pelos clientes se refere às facilidades construtivas, que aumentam a rapidez da execução do empreendimento, assim satisfazendo as necessidades dos clientes (Lemes, 2019).

Segundo Rossatto (2015), com a percepção das vantagens das estruturas de aço como maior resistência, menor peso da estrutura, capacidade de suportar maiores vãos, perfis estruturais mais esbeltos e, conseqüentemente, maior área útil, esse método construtivo foi tornando-se usual.

Os elementos das estruturas metálicas como: parafusos, conexões e membros estruturais podem ser desmontados, substituídos com facilidade e reutilizados, implicando em uma reciclagem de quase 100%, sem perda de resistência mecânica quando a reutilização. Também tem possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção, eles podem ser vendidos sem a necessidade de qualquer tratamento de reaproveitamento. Outro aspecto importante associado à construção em estrutura metálica é seu carácter menos agressivo ao meio ambiente, actualmente 30% do aço produzido no mundo é procedente de reciclagem, o que torna o aço um aliado à sustentabilidade (Lemes, 2019).

2.4. Ligações em estruturas metálicas

As ligações numa estrutura têm como função realizar uniões de diferentes naturezas tais como as que decorrem da necessidade de mudança de direcção, como as ligações viga-pilar, viga-viga e entre barras adjacentes. Existem zonas onde ocorrem uniões de elementos lineares que apresentam um comprimento limitado devido à necessidade de transporte e montagem, designadamente as emendas de vigas e pilares. Outras ligações que têm lugar são as que produzem alteração de componente, o que inclui a união da estrutura de aço com outras partes do edifício, como as bases de pilar, uniões a estruturas de betão armado como por exemplo paredes, lajes e coberturas (Marques, 2013).

Ligação é a união entre duas ou mais peças e é de fundamental importância por se responsabilizar pela segurança na construção, tem o objectivo de distribuir de forma equilibrada os esforços na estrutura. Para que o sistema de ligações em uma estrutura metálica contribua para o bom desempenho da mesma, cada ligação deve ser executada mediante um projecto estrutural onde o dimensionamento seja em prol de um sistema económico e seguro (Lemes, 2019).

As ligações apresentam grandes influências no comportamento das estruturas metálicas, é através delas que se definem os mecanismos de transmissão de esforços entre os elementos conectados, ou seja, a escolha do tipo de ligação provoca considerações de projecto que influencia no dimensionamento da estrutura como um todo. Facto que favorece escolher sistemas de ligações favorecendo a economia e segurança (Bergamasco, 2012).

As ligações podem representar um custo elevado dependendo da sua complexidade. O tipo de ligação deve ser elaborado levando em conta principalmente o tipo de montagem que será realizado, pois a dificuldade de ajuste em obra pode gerar atrasos e provocar acidentes durante o processo de união das partes (Goecks, 2011).

De acordo com o Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE) existem três tipos de ligações, nomeadamente:

- ❖ Ligações rebitadas;
- ❖ Ligações aparafusadas;
- ❖ Ligações soldadas.

2.4.1. Ligações rebitadas

A rebiteagem é a união de peças metálicas por meio de rebites. Consiste, basicamente, em percutir ou pressionar fortemente a cabeça do rebite fazendo com que este se encaixe e forme uma nova cabeça na outra extremidade, para a qual se aplica uma contramatriz. Isto é, realiza-se um recalçamento com a finalidade de unir com forte pressão várias peças metálicas, aprisionando-as entre a cabeça primitiva do rebite e a nova cabeça que se origina.

As rebiteagens podem efectuar-se a frio ou a quente. Se é a quente, introduz-se no orifício o rebite aquecido ao rubro. Uma vez rebitado, arrefece, produzindo-se uma contração, a qual provoca um forte aperto sobre as peças ligadas, aumentando assim a resistência ao deslizamento destas.

As ligações rebitadas, com o passar do tempo caíram em desuso, sendo que actualmente as ligações aparafusadas e soldadas são as amplamente utilizadas em estruturas metálicas.

2.4.2. Ligações aparafusadas

As ligações aparafusadas são empregadas em grande escala em uniões de partes de estruturas, principalmente nas montagens finais de campo. Os parafusos são formados pela cabeça, pela espiga e pela rosca conforme ilustra a figura 1.

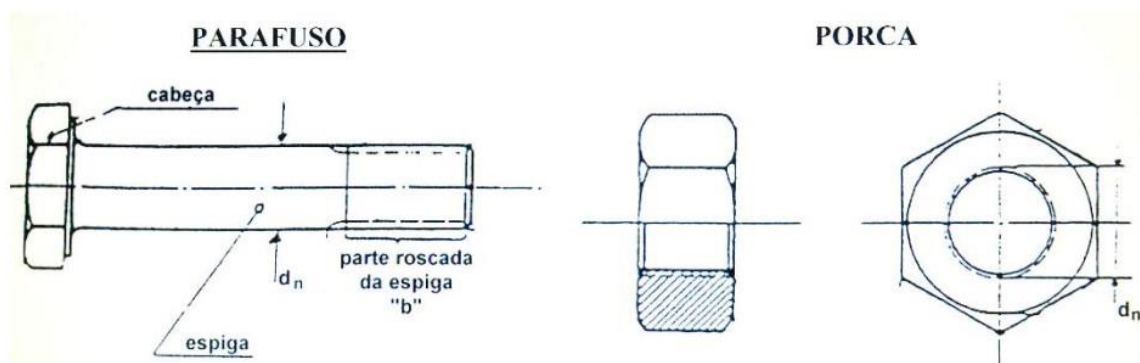


Figura 1: Parafuso e porca

Existem dois tipos de parafusos utilizados na ligação de elementos de estruturas de aço: o primeiro tipo, parafusos comuns ou ordinários, é utilizado em estruturas ligeiras sujeitas a cargas estáticas ou para ligação de elementos secundários. São feitos a partir de aços com baixo teor de carbono. Este é o tipo de ligação mais barato. O segundo tipo, parafusos de alta resistência, são feitos de aços com teores médios de carbono,

laminados a quente e têm resistências à tração maiores que as dos parafusos ordinários.

A ligação aparafusada pode ser uma ligação aparafusada corrente ou ligação aparafusada pré-esforçada. Na ligação aparafusada corrente não se tira partido da resistência por atrito que se consegue mobilizar entre as faces em contacto das superfícies a ligar. Na segunda, o parafuso é pré-esforçado, em geral por controlo do momento de aperto utilizando por exemplo uma chave dinamométrica.

Vantagens

- a) Economia no consumo de energia, pois, não há a necessidade de equipamentos eléctricos;
- b) Rapidez na fabricação das peças;
- c) Necessidade de poucos montadores sem grandes qualificações;
- d) Melhor resposta às tensões de fadiga;
- e) Rapidez de execução das ligações de campo;
- f) A mão-de-obra utilizada para instalação e inspeção dos parafusos não precisa ser especializada como a utilizada em ligações soldadas.

Desvantagens

- a) Os furos enfraquecem as peças conectadas e, algumas vezes, pode ser necessário reforçar as mesmas;
- b) As ligações são mais complexas do que as ligações soldadas e exigem um trabalho maior de cálculo, detalhamento e fabricação;
- c) Eventual realização de pré-montagem em fábrica para verificação dos furos.

2.4.3. Ligações soldadas

A ligação por soldadura, consiste em fundir as partes em contacto de modo a provocar coalescência das mesmas, proporcionando entre elas a continuidade do material e conseqüentemente as características mecânicas e químicas, de mesma forma os esforços os quais a ligação está sujeita.

A utilização de soldadura para ligações metálicas é um processo dentre os outros tipos de ligações, mais simples e leve. Porém essas ligações devem, preferencialmente, serem executadas em fábricas, para que união de materiais com geometrias complexas

e para que a perfeita continuidade entre estes elementos seja precisa. Quando houver a impossibilidade que todas as soldaduras sejam feitas em fábrica, as que forem executadas em campo devem ter um maior controle e cuidado no momento de execução, pois, um problema na soldagem é irreversível podendo resultar em desaprumos, falta de alinhamento e perda de qualidade da ligação (Lemes, 2019).

Vantagens

- a) Economia de material, em algumas estruturas é possível economizar de 15% ou mais de peso do aço;
- b) Estruturas soldadas são mais rígidas, porque os membros estão geralmente soldados directamente um no outro, ao contrário das ligações aparafusadas que são invariavelmente feitas por chapas de ligação ou cantoneiras;
- c) Facilidade de se realizar modificações nos desenhos das peças e de corrigir erros durante a montagem;
- d) Usa uma quantidade menor de peças, e com isso utilizando menor tempo de detalhe e fabricação.

Desvantagens

- a) Redução que a mesma sofre no comprimento devido aos efeitos cumulativos de retracção;
- b) Insuficiência de energia eléctrica no local da montagem para acionar máquinas de soldar;
- c) Exigência de maior análise de fadiga do que as estruturas aparafusadas, podendo reduzir as tensões admissíveis a níveis muito baixos;
- d) Tempo maior de montagem das peças em obra.

2.5. Bases de pilares metálicos

Segundo Martins (2006), em geral, as fundações de pilares ou torres em estrutura metálica podem estar submetidas a acções estáticas ou dinâmicas, que solicitam as ancoragens com esforços normais, esforços cortantes e com esforços combinados (normal, cortante e momento flector).

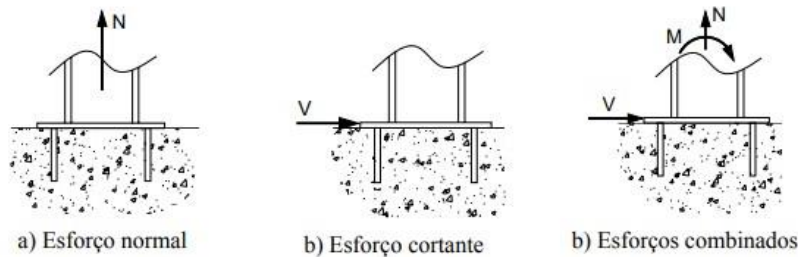


Figura 2: Esforços actuantes em bases de pilares metálicos (Fonte: Martins, 2006)

Os elementos que concretizam a ligação são compostos por diferentes materiais, ou seja, os chumbadores, a chapa de base e a secção transversal do pilar são em aço enquanto a fundação e a camada de argamassa de selagem são constituídos por betão e argamassa, respectivamente (Marques, 2013).

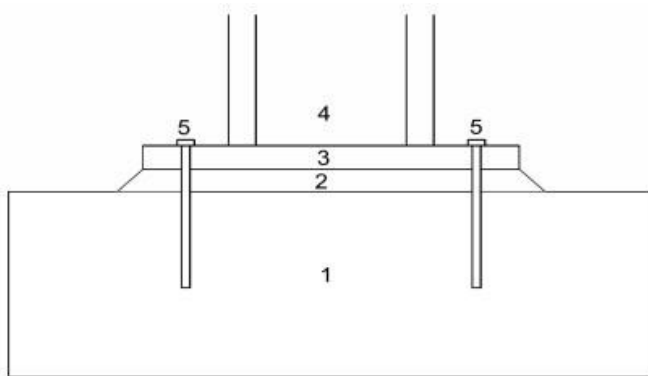


Figura 3: Composição de uma ligação de base de pilares (Fonte: Marques, 2013)

Legenda:

- 1- Fundação
- 2 - Argamassa de selagem
- 3 - Chapa de base
- 4 - Perfil do pilar
- 5 – Chumbadores

2.6. Fundações de torres metálicas

Em torres autoportantes os esforços de compressão não são os únicos factores determinantes para o dimensionamento das fundações. Como exemplo, em uma torre de base quadrada, das quatro fundações, necessariamente duas se mantêm tracionadas enquanto duas estão comprimidas. Devido à aleatoriedade da direcção dos ventos em

algum momento da vida útil da estrutura todas as fundações serão solicitadas à tracção. A fim de manter as torres estáveis no solo as fundações devem ser projectadas de modo a resistir aos esforços que as estruturas estão submetidas. O vento que incide na estrutura gera momentos que tendem a derrubar a torre, ocasionando solicitações de tração nas fundações (Zin, 2014).

2.7. Dimensionamento de Estruturas de Aço

Para realizar o projecto estrutural deve ser efectuada uma análise do projecto arquitectónico, fazendo a escolha dos tipos de perfis que serão utilizados e do tipo de ligação que os elementos terão entre si. Deve-se ter muito cuidado com esta fase do projecto, pois algum erro pode causar um prejuízo económico (Rossatto, 2015).

Segundo o REAE, os perfis e chapas a utilizar nos elementos estruturais devem satisfazer as condições estabelecidas nas respectivas normas portuguesas e os aços que os constituem devem, em geral, ser dos tipos *Fe 360*, *Fe 430* e *Fe 510* cujos valores característicos da tensão de cedência a adoptar são: *235 MPa*, *275 MPa* e *355 MPa*, respectivamente.

Os valores das constantes elásticas a considerar para o aço são:

- ❖ Módulo de elasticidade: $E = 2,06 \times 10^5$ MPa
- ❖ Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$
- ❖ Módulo de distorção: $G = 0,8 \times 10^5$ MPa

O dimensionamento deve considerar o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço (ELS). Os estados limites últimos relacionam a segurança da estrutura sujeita as combinações mais desfavoráveis previstas durante sua vida útil, e os estados limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de serviço, ou seja, condições de aparência e conforto.

Para a verificação da estrutura, pelo estado limite último, a resistência de cálculo de cada componente da estrutura deve ser igual ou superior a solicitação de cálculo, ou seja:

$$\sigma_{sd} \leq \sigma_{rd} \text{ para as tensões normais;}$$

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd} \text{ para as tensões tangenciais;}$$

Em que:

σ_{sd}, τ_{sd} - valores de cálculo das tensões actuantes;

σ_{rd}, τ_{rd} - valores de cálculo das tensões resistentes;

Os valores de cálculo das tensões resistentes são dadas por:

$$\sigma_{rd} = f_{yd} \quad (1)$$

$$\tau_{rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} f_{yd} \quad (2)$$

Em que f_{yd} é o valor de cálculo da tensão de cedência (ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%)

Tabela 1: Valores de cálculo das tensões resistentes

Tipo de aço	f_{yd} [MPa]	$\frac{1}{\sqrt{3}} f_{yd}$ [MPa]
Fe 360	235	135
Fe 430	275	160
Fe 510	355	205

2.8. Acções

O processo de identificação e quantificação de acções actuantes constitui uma fase determinante no projecto de qualquer estrutura. Para uma adequada definição das situações de projecto, e combinações de acções associadas, é fundamental uma correcta classificação das acções.

As acções podem ser classificadas de acordo com a sua variação no tempo em:

2.8.1. Acções permanentes

Para o aço e betão de inertes correntes podem adoptar-se os seguintes valores de pesos volúmicos:

Aço	77 kN/m ³
Betão simples	24 kN/m ³
Betão armado e pré-esforçado	25 kN/m ³

2.8.2. Acções variáveis

- Sobrecargas de utilização
- Vento
- Sismo

2.9. Combinação de acções

2.9.1. Combinações fundamentais

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q [S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} S_{Qjk}] \quad (3)$$

Em que:

S_d - valor de cálculo do esforço actuante;

S_{Gik} - esforço resultante da acção permanente, tomada com o seu valor característico;

S_{Q1k} - esforço resultante da acção variável considerada como acção de base na combinação, tomada com o seu valor característico (S_{Ek} no caso da acção sísmica);

γ_{gi} - coeficiente de segurança relativo às acções permanentes;

γ_q - coeficiente de segurança relativo às acções variáveis;

Ψ_{0j} - coeficiente Ψ correspondente à acção variável de ordem j .

3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA TORRE METÁLICA

3.1. Descrição da torre

A torre será executada em perfis metálicos de aço laminado, conforme a descrição a seguir.

3.1.1. Elementos principais

Tabela 2: Descrição dos elementos da torre

Elemento da torre	Vigas		Pilares	Travamentos	
	Principais	Secundárias		Transversais	Diagonais
Perfil do elemento	INP	INP	LNP	LNP	LNP

3.1.2. Elementos secundários

Guarda-corpos:

Montantes: LNP 60x5

Corrimão: Perfil tubular Ø26,9x3,2

Escada de serviço:

Degraus: Perfil tubular Ø26,9x3,2

Suportes/lanços de escada: Perfil tubular 75x50x5

Protectores/guarda-corpos: barras de ferro 50x5

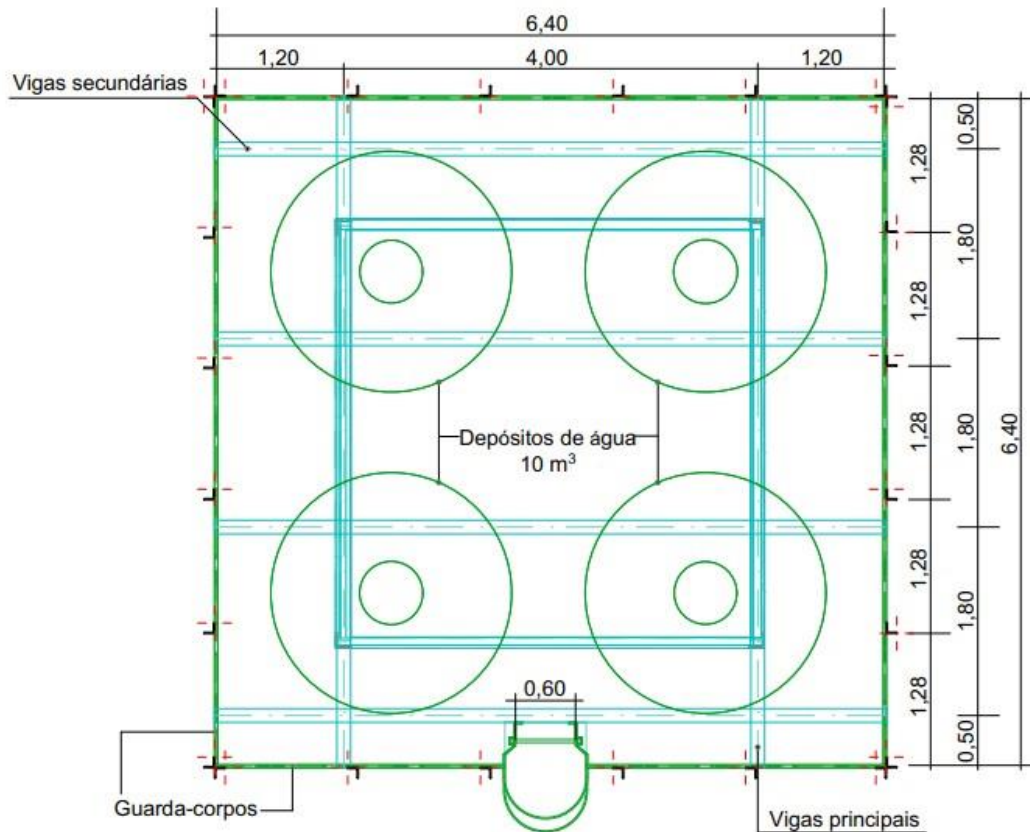


Figura 4: Plataforma da torre (Fonte: o autor)

3.2. Dimensionamento da Plataforma da torre

Acções:

- Peso do pavimento metálico = $0,39 \text{ kN/m}^2$ (aço gradeado losango 2 300)
- Peso da água = $9,8 * 3 = 29,40 \text{ kN/m}^2$
- Peso dos reservatórios = $0,24 \text{ kN/m}^2$
- Sobrecarga de utilização, $s_c = 2,00 \text{ kN/m}^2$

$$q = 0,39 + 29,40 + 0,24 + 2,00 = 32,02 \text{ kN/m}^2$$

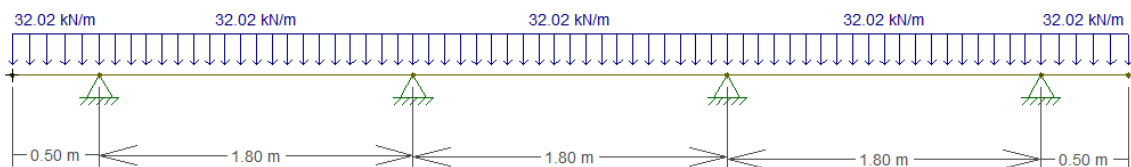


Figura 5: Sistema estático e carregamento no pavimento metálico

Esforços máximos: $T = 31,9 \text{ kN/m}$ e $M = 9,6 \text{ kNm/m}$

3.2.1. Vigas secundárias externas

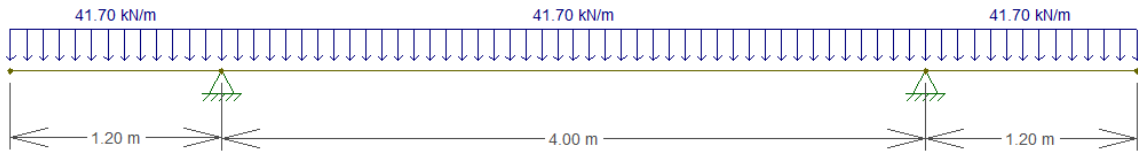


Figura 6: Sistema estático e carregamento nas vigas secundárias externas

Esforços máximos: $T = 83,4 \text{ kN/m}$ e $M = 53,4 \text{ kNm/m}$

Dimensionamento:

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{sd}}{w} = \frac{1,35 \times 53,4}{w} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$W \geq 306,77 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{INP 240}$$

3.2.2. Vigas secundárias internas

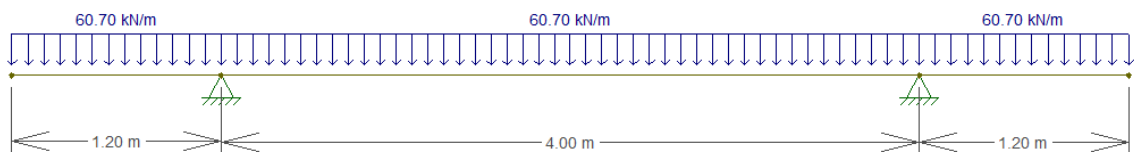


Figura 7: Sistema estático e carregamento nas vigas secundárias internas

Esforços máximos: $T = 121,4 \text{ kN/m}$ e $M = 77,7 \text{ kNm/m}$

Dimensionamento:

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{sd}}{w} = \frac{1,35 \times 77,7}{w} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$W \geq 446,36 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{INP 280}$$

Nota: De modo a uniformizar as vigas secundárias adopta-se o perfil **INP 280**.

3.2.3. Vigas principais

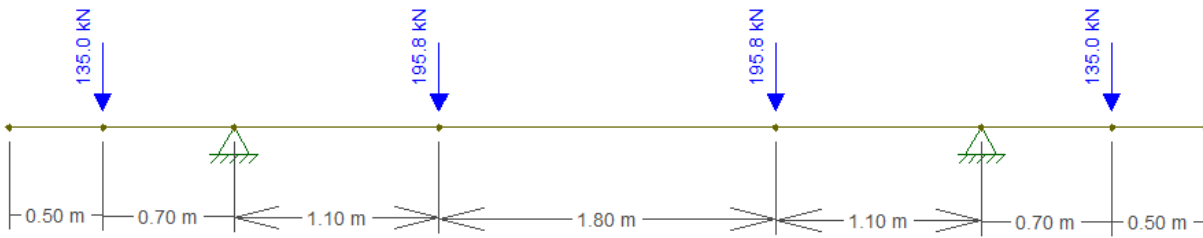


Figura 8: Sistema estático e carregamento nas vigas principais

Esforços máximos: $T = 195,8 \text{ kN/m}$ e $M = 120,9 \text{ kNm/m}$

Dimensionamento:

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{sd}}{W} = \frac{1,35 \times 120,9}{W} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$W \geq 694,53 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{INP 320}$$

3.3. Dimensionamento da estrutura de sustentação (torre)

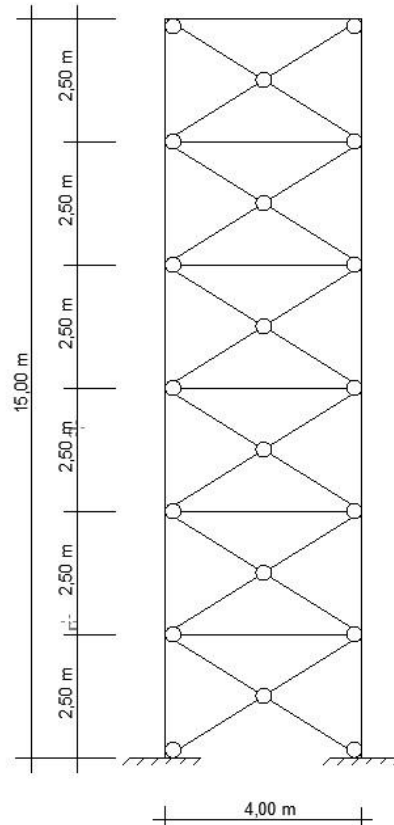


Figura 9: Sistema estático da estrutura de sustentação

Acções sobre a torre:

- Carga mobilizada pela plataforma = 2 * 332,8 kN
- Peso próprio da torre (peso específico = 78 kN/m³)
- Acção do vento – esta acção será determinada com base nos pressupostos do RSA e da norma EN50341-1.

3.3.1. Quantificação da acção do vento

A obtenção das forças sobre a torre obedece os seguintes pressupostos e procedimentos de cálculo:

- A acção do vento incide sobre os nós da estrutura, uma vez que a torre não apresenta uma superfície regular, sendo constituída por barras verticais, horizontais e oblíquas;
- O valor da acção do vento será obtido pelo método descrito na norma EN50341-1, com a seguinte correção:
 - A área a ser considerada será tomada como o somatório das áreas dos elementos metálicos dentro do plano em que se considera acção do vento.
- Zona B
- Rugosidade aerodinâmica do solo: tipo II
- Altura da torre: 15 m

Adopta-se inicialmente para os montantes perfis LNP 100 x 10 e para as diagonais e travessas perfis LNP 80 x 8, o que resulta em uma área exposta (área efectiva) ao vento de 9,45 m². A área bruta é de 60 m².

$$\chi = \frac{A_{ef}}{A_{br}} = \frac{9,45}{60} = 0,1575$$

Factor de arrastamento (Ct)

$$Ct = 3,2 - 2,8\chi = 2,75 \quad (\text{elementos de secção em L})$$

Pressão dinâmica (q_h)

$$q_h = 0,5\rho \cdot 33^2 \left(\frac{h}{10}\right)^{0,4} \quad (\text{Zona B})$$

$$q_h = 0,5 \times 1,225 \times 33^{2 \times \left(\frac{7,5}{10}\right)^{0,4}} = 5,95 \text{ kN/m}^2$$

ρ - densidade do ar (a 15°C e a uma pressão de 1 013 hPa é igual a 1,225 kg/m³)

h é a distância do centro de massa do painel ao solo.

Força do vento (Q_{wt})

$$Q_{wt} = q_h \cdot G_q \cdot G_t \cdot A_{ef} \cdot C_t \text{ (na direcção normal ao plano da estrutura)}$$

$$Q_{wt} = q_h \cdot A_{ef} \cdot C_t \text{ (na direcção perpendicular ao plano da estrutura)}$$

G_q - factor de resposta da estrutura à solicitação do vento (considerado igual a 1.0)

G_t - factor de ressonância estrutural, o qual se toma igual a 1.05 para estruturas treliçadas até 60 m de altura.

$$Q_{wt} = q_h \cdot G_q \cdot G_t \cdot A_{ef} \cdot C_t = 5,95 \times 1.0 \times 1.05 \times 9,45 \times 2,75 = 162,36 \text{ kN}$$

$$F = \frac{162,36}{20} = 8,12 \text{ kN/nó (direcção normal ao plano da estrutura)}$$

$$Q_{wt} = q_h \cdot A_{ef} \cdot C_t = 5,95 \times 9,45 \times 2,75 = 154,63 \text{ kN}$$

$$F = \frac{154,63}{20} = 7,73 \text{ kN/nó (direcção perpendicular ao plano da estrutura)}$$

3.3.2. Esforços axiais máximos nos elementos que compõem a estrutura

Tabela 3: Esforços axiais máximos

Acção	Montantes	Diagonais	Travessas
G (kN)	- 313,5	- 56,7	+ 78,9
Wx (kN)	± 258,2	± 86,0	0
Wy (kN)	± 245,4	± 81,7	0

Foram efectuadas quatro combinações de acções, cuja tabela é apresentada a seguir.

Tabela 4: Combinações de acções consideradas para esforços de cálculo

Combinações de acções	Montantes	Diagonais	Travessas
Comb.1: 1,35(Gk + wx) [kN]	- 771,80	-192,65	+106,52
Comb.2: 1,35(Gk + wy) [kN]	-754,52	-186,84	+106,52
Comb.3: 1,0Gk + 1,35wx [kN]	-662,07	-172,80	+78,90
Comb.4: 1,0Gk + 1,35wy [kN]	-644,79	-167,00	+78,90

3.3.3. Dimensionamento dos elementos da torre

A. Montantes

$$N_{sd} = - 771,8 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{771,8}{A} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$A \geq 32,84 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{LNP } 120 \times 15$$

B. Diagonais

$$N_{sd} = - 192,65 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{192,65}{A} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$A \geq 8,20 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{LNP } 55 \times 8$$

C. Travessas

$$N_{sd} = + 106,52 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{106,52}{A} \leq \sigma_{rd} = 235 \text{ Mpa}$$

$$A \geq 4,53 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{LNP } 50 \times 5$$

3.4. Verificação da estabilidade da estrutura (EC3)

3.4.1. Análise dos efeitos de 2ª ordem

$$H_{Ed} = 162,36 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2 \cdot 332,8 = 665,6 \text{ kN}$$

Como $H_{Ed} = 162,36 \text{ kN} > 0,15V_{Ed} = 99,84 \text{ kN}$, a estrutura não está sujeita a efeitos de 2ª ordem.

3.4.2. Classificação das secções transversais dos elementos estruturais

A classificação das secções transversais dos elementos estruturais traduz a forma como a resistência e a capacidade de rotação de uma secção são influenciadas por fenómenos de encurvadura local. Enquanto que numa secção compacta as zonas comprimidas podem plastificar completamente, numa secção esbelta isso pode já não acontecer, devido aos fenómenos de encurvadura local (Simões,2007).

As barras que compõem a estrutura são classificadas como de **classe 3** dado que se cumprem as condições:

$$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon \text{ e } \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon \text{ (} \varepsilon = 1,0 \text{ para Fe 360)}.$$

As secções transversais de **classe 3** são aquelas em que a tensão na fibra extrema comprimida, calculada com base numa distribuição elástica de tensões, pode atingir o valor da tensão de cedência, mas em que a encurvadura local pode impedir que o momento resistente plástico seja atingido.

3.4.3. Verificação da resistência à encurvadura

A verificação da segurança das barras está satisfeita quando se verifica a seguinte condição:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \tag{4}$$

N_{Ed} - valor de cálculo do esforço axial de compressão

$N_{b,Rd}$ – valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento comprimido

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ para secções transversais das classes 1, 2 e 3.} \tag{5}$$

χ – coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante

A – área da secção da barra

f_y – valor de cálculo da tensão resistente

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}}; \chi \leq 1,0 \quad (6)$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2], \quad (7)$$

α –factor de imperfeição, igual a 0,34 no caso de cantoneiras.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (8)$$

Onde:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{Le^2} \quad (9)$$

Montantes: LNP 120 x15 ($A = 33,9 \text{ cm}^2$ e $I = 445 \text{ cm}^4$)

$$N_{Ed} = -771,8 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 604,93 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 1,27 > 1,0 \rightarrow KO$$

Perfil adoptado: **LNP 150 x15** ($A = 42,0 \text{ cm}^2$ e $I = 898 \text{ cm}^4$)

$$N_{b,Rd} = 835,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0,92 < 1,0 \rightarrow OK$$

Diagonais: LNP 55 x 8 ($A = 8,23 \text{ cm}^2$ e $I = 22 \text{ cm}^4$)

$$N_{Ed} = -192,65 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 62,58 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 3,08 > 1,0 \rightarrow KO$$

Perfil adoptado: **LNP 80 x10** ($A = 15,1 \text{ cm}^2$ e $I = 87,5 \text{ cm}^4$)

$$N_{b,Rd} = 199,72 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0,96 < 1,0 \rightarrow OK$$

Travessas: Estas peças estão sujeitas a esforços de tracção pelo que se dispensa a verificação da resistência à encurvadura. Perfil adoptado: **LNP 50 x 5**.

3.5. Dimensionamento das ligações aparafusadas e soldadas

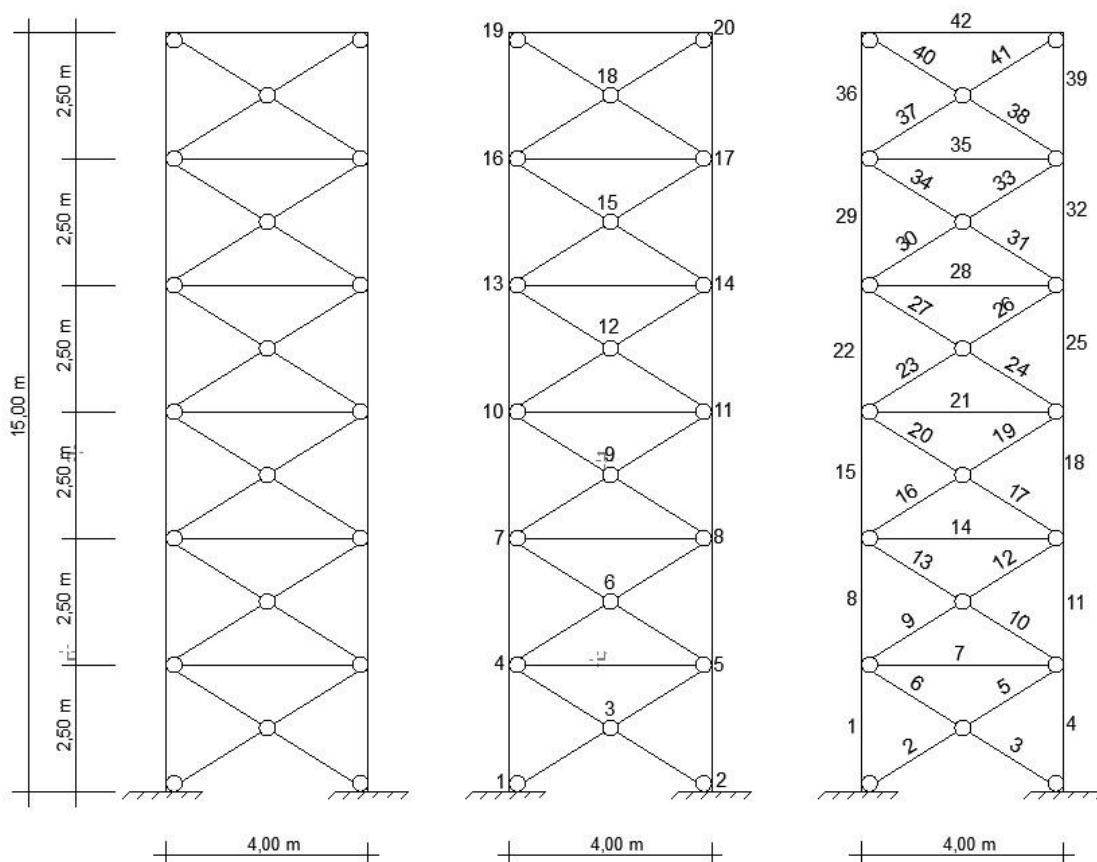


Figura 10: Sistema estático (à esquerda), discretização dos nós (ao meio) e discretização das barras da estrutura (à direita)

As ligações adoptadas para a torre são aparafusadas em todo os nós sendo que as chapas de ligação nos nós extremos serão soldadas junto aos pilares.

Com a criação da NP EN 1993-1-8 (EC3) o dimensionamento de ligações metálicas deixou de se basear apenas em verificações da capacidade resistente e passou a avaliar

também o seu comportamento real, ou seja, a rigidez e capacidade de rotação de ligações aparafusadas e soldadas.

O cálculo das ligações é realizado de acordo com a NP EN 1993-1-8 recorrendo-se ao *software* de cálculo automático *Robot Structural Analysis*, ver **anexos 1,2,3 e 4**.

As ligações são agrupadas em nós da seguinte forma:

Tabela 5: Agrupamento das ligações

Nº ligação	Nós
1	1 e 2
2	3, 6, 9, 12, 15 e 18
3	4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16 e 17
4	19 e 20

3.6. Dimensionamento de chumbadores

Dados:

$$H = 129,1 \text{ kN}$$

$$T = 303,7 \text{ kN}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa (Fe360)}$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa (C16/20)}$$

$$\text{Tracção: } f_t = \frac{T}{A} \tag{10}$$

$$\text{Corte: } f_h = \frac{H}{A} \tag{11}$$

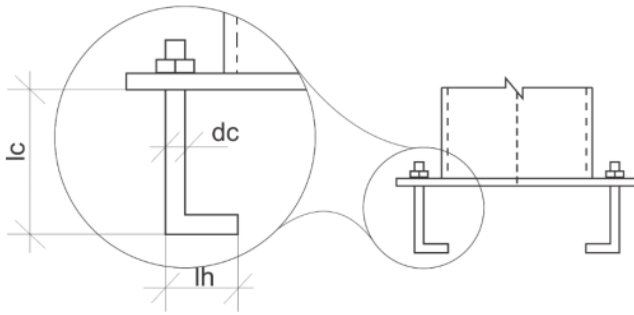
3.6.1. Verificação de segurança

$$f_1 = \sqrt{f_t^2 + 3f_h^2} \leq 0,33 f_u \tag{12}$$

$$f_1 = \sqrt{\left(\frac{303,7}{A}\right)^2 + 3 * \left(\frac{129,1}{A}\right)^2} \leq 0,33 * 360 * 10^3$$

$$A \geq 31,75 \text{ cm}^2 \rightarrow 8 \text{ chumbadores de } 25,4 \text{ mm}$$

3.6.2. Comprimento de ancoragem



$$lc = 12dc = 12 * 25,4 = 305 \text{ mm}$$

$$lh = \frac{1,21 T_1}{f_{ck} \cdot dc} = \frac{1,21 * \left(\frac{303,7}{8}\right)}{20 * 10^3 * 25,4 * 10^{-3}} = 90,2 \text{ mm}$$

Adopta-se $lh = 100 \text{ mm}$

3.6.3. Dimensionamento da chapa de base

$$N_k = 636,5 \text{ kN}$$

$$f_c = \frac{N_k}{A} = \frac{636,5}{A} \leq 0,35 f_{ck} \rightarrow A \geq 909,29 \text{ cm}^2$$

Adoptando-se uma chapa quadrada tem-se: $B = L \geq 30,15 \text{ cm}$.

Seja $B = L = 35 \text{ cm}$

$$\frac{636,5}{0,35 * 0,35} = 5,20 \text{ MPa} \leq 0,35 f_{ck} = 7 \text{ MPa} \rightarrow ok$$

3.6.4. Espessura da chapa

$$t = 2n \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \tag{13}$$

$$n = \frac{l - 0,95h}{2} = \frac{350 - 0,95 * 150}{2} = 103,75 \text{ mm}$$

$$t \geq 30,87 \text{ mm}$$

Adopta-se $t = 35 \text{ mm}$.

3.6.5. Ligação chapa – pilar

$$F_{W,Rd} \geq F_{W,Ed}$$

$$F_{W,Ed} = 859,28 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd} = \frac{fu \cdot a}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 10^3 \cdot a}{\sqrt{3} \times 0,80 \times 1,25} \geq 859,28 \rightarrow a \geq 4,13 \text{ mm}$$

Adopta-se $a = 5 \text{ mm}$

3.7. Dimensionamento das fundações

$$\sigma_{Adm} = 300 \text{ kPa}$$

$$N = 636,5 \text{ kN}$$

Pilar: 40 x 40 cm

Materiais: B20/A400

3.7.1. Dimensões em planta

$$\sigma = \frac{1,1N}{A} = \frac{1,1 \cdot 636,5}{A} \leq \sigma_{Adm} = 300 \text{ kPa} \rightarrow A \geq 2,33 \text{ m}^2$$

Adoptando-se uma sapata quadrada tem-se: $B = L \geq 1,53 \text{ m}$.

Seja $B = L = 1,60 \text{ m}$

3.7.2. Espessura da sapata

$$H \geq \frac{V}{2} = \frac{0,60}{2} = 0,30 \text{ m}$$

Seja $H = 0,30 \text{ m}$, $d = 0,25 \text{ m}$.

3.7.3. Verificação ao punçamento

$$A_i = \frac{1,60 + 0,65}{2} \cdot 0,475 = 0,534 \text{ m}^2$$

$$R_{sd} = 1,5 \cdot \left(\frac{636,5 + 25 \cdot 1,6^2 \cdot 0,3}{1,6^2} \right) \cdot 0,534 = 205,16 \text{ kN}$$

$$\tau_{sd} = \frac{205,16}{0,65 \cdot 0,25} = 1262,52 \text{ kN}$$

$$\tau_{Rd} = (1,6 - d) \cdot \tau_1 = (1,6 - 0,25) \cdot 600 = 810 \text{ kN} < \tau_{sd} = 1262,52 \text{ kN} \rightarrow \text{KO}$$

Secção adoptada considerando um betão de classe **B25: 170x170x40**

$$A_i = \frac{1,70 + 0,75}{2} * 0,475 = 0,582 \text{ m}^2$$

$$R_{sd} = 1,5 * \left(\frac{636,5 + 25 * 1,7^2 * 0,3}{1,7^2} \right) * 0,582 = 201,0 \text{ kN}$$

$$\tau_{sd} = \frac{201,0}{0,75 * 0,35} = 765,71 \text{ kN}$$

$$\tau_{Rd} = (1,6 - d) * \tau_1 = (1,6 - 0,35) * 650 = 812,5 \text{ kN} > \tau_{sd} = 765,71 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

3.7.4. Dimensionamento à flexão

$$l = 0,15 * 0,4 + 0,65 = 0,71 \text{ m}$$

$$M_{sd} = 1,5 * \frac{230,24 * 0,71^2}{2} = 87,05 \text{ kNm/m}$$

$$\mu = \frac{87,05}{1,0 * 0,35^2 * 13,3 * 10^3} = 0,053 \rightarrow \omega = 0,052$$

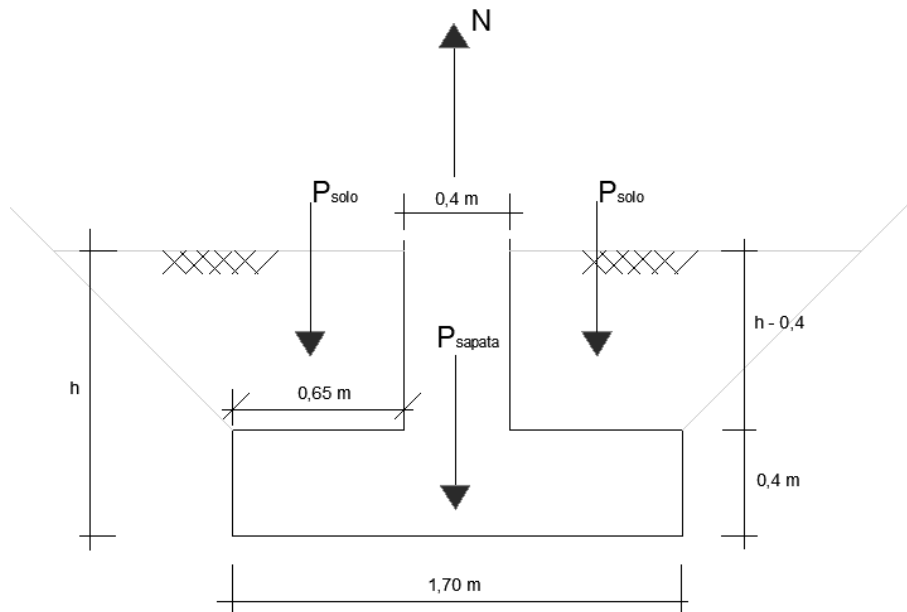
$$A_s = 0,052 * 1,0 * 0,35 * \frac{13,3}{348} = 6,96 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12@15$$

3.7.5. Verificação da fundação ao levantamento

$$N = 153,1 \text{ kN}$$

$$\gamma_{solo} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{betão} = 25 \text{ kN/m}^3$$



$$P_{sapata} + P_{solo} \geq N$$

$$25 \times 1,7^2 \times 0,4 + 18 \times 1,7^2 \times (h - 0,4) \geq 153,1 \rightarrow h \geq 2,79 \text{ m}$$

Considerando a mobilização do impulso passivo a cota da fundação para evitar o levantamento da sapata será de -2,00 m.

3.7.6. Armaduras do pilar de arranque

- Armadura longitudinal: $A_s = A_{s \text{ min}} = 0,6\%A_c = 9,6 \text{ cm}^2 \rightarrow 4\phi 16 + 4\phi 10$
- Armadura transversal: $\phi 6@12$

Tabela 6: Resumo dos elementos constituintes da torre

Tipo de elemento	Descrição	Especificação
Membrana de sustentação dos tanques	Pavimento metálico em aço gradeado losango 2 300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abertura das malhas (cm x cm): 12,5 x 7,5 ▪ Barras que formam as malhas principais (mm x mm): 40 x 3 ▪ Barras que formam as malhas de contraventamento (mm x mm): 25 x 2 ▪ Barras que formam as malhas periféricas (mm x mm): 40 x 3 ▪ Massa (kg/m²): 39
Vigas secundárias	Perfil INP 280	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 280 mm ▪ Largura (b) = 119 mm ▪ Espessura (t) = 10,1 mm
Vigas principais	Perfil INP 320	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 320 mm ▪ Largura (b) = 131 mm ▪ Espessura (t) = 11,5 mm
Pilares (montantes)	Perfil LNP 150x15	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 150 mm ▪ Largura (b) = 150 mm ▪ Espessura (t) = 15 mm
Barras diagonais	Perfil LNP 80x10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 80 mm ▪ Largura (b) = 80 mm ▪ Espessura (t) = 10 mm
Barras transversais	Perfil LNP 50x5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 50 mm ▪ Largura (b) = 50 mm ▪ Espessura (t) = 5 mm
Guarda-Corpos	Montantes: Cantoneiras LNP 60x5 Corrimão: Perfil tubular $\phi 26.9 \times 3,2$	Cantoneira <ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 60 mm ▪ Largura (b) = 60 mm ▪ Espessura (t) = 5 mm
Escada de serviço	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Degraus: perfil tubular $\phi 26.9 \times 3,2$ ▪ Suportes/lanços de escada: perfil tubular 75x50x5 ▪ Protectores/guarda-corpos: barras de ferro 50x5 	

Nota: Devido à indisponibilidade de alguns perfis no mercado houve a necessidade de proceder a substituição sem se descuidar da estabilidade e segurança da estrutura. A seguir é apresentada a tabela dos elementos constituintes da torre em função da disponibilidade dos materiais no mercado.

Tabela 7: Elementos substituídos em função da disponibilidade dos materiais no mercado

Tipo de elemento	Descrição	Especificação
Vigas secundárias	Universal Beam 254x146x43	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 254 mm ▪ Largura (b) = 146 mm ▪ Massa (m) = 43 kg/m
Vigas principais	Universal Beam 356x171x51	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 356 mm ▪ Largura (b) = 171 mm ▪ Massa (m) = 51 kg/m
Barras diagonais	Perfil LNP 100x10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 100 mm ▪ Largura (b) = 100 mm ▪ Espessura (t) = 10 mm
Barras transversais	Perfil LNP 60x5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura (h) = 60 mm ▪ Largura (b) = 60 mm ▪ Espessura (t) = 5 mm

4. FABRICAÇÃO E MONTAGEM

4.1. Fabricação

O fabrico da estrutura realizou-se no estaleiro da Geodrill, seguindo as especificações técnicas e de acordo com os desenhos de execução elaborados.

O fabrico consiste no corte e na furação dos perfis, de acordo com os desenhos de fabrico. O corte e a furação dos perfis realizam-se com as máquinas de corte e furação conforme ilustrado nos itens a seguir.

4.1.1. Corte

O corte de perfis realiza-se conforme os desenhos de corte fornecidos no fabrico.

O corte de perfis executado para ajuste de comprimento foi realizado com disco de corte. O corte das chapas de ligação foi efectuado com discos de corte entretanto, no caso das chapas de base dos pilares devido à sua espessura (20mm) recorreu-se a maçarico.



Figura 11: Peças cortadas



Figura 12: Disco de corte

4.1.2. Furação

A furação das peças metálicas constitui outra etapa do ciclo de produção do fabrico das estruturas metálicas e neste caso utilizou-se a broca, ver figura abaixo.



Figura 13: Máquina de furação e brocas

As dimensões dos furos e a localização destes é informado no desenho de corte enviado para o fabrico.

4.1.3. Limpeza

A limpeza consiste em limpar a zona onde se efetua o corte para a remoção das “rebarbas”. Isto impede ferimentos nos operadores e, no caso de a peça ser pintada nas arestas, zona que por natureza tem menor resistência aos danos mecânicos, evita que fique com menos tinta, fruto da tensão superficial que se gera junto a arestas vivas.



Figura 14: Disco de limar

4.1.4. Armação (pré-montagem)

À medida que os elementos vão sendo cortados e, só depois de um dado conjunto ter todos os elementos disponíveis, inicia-se a armação.

A armação consiste em colocar as peças nos devidos locais de acordo com os desenhos de conjunto e realizar um pingo de solda de modo a fixar as peças, ver figura 5.



Figura 15: Pré-montagem em fábrica

4.1.5. Soldadura

Os processos de soldadura consistem em unir peças de um modo permanente, através da fusão na zona de contacto do metal dos elementos.

Algumas soldaduras realizam-se em fábrica e outras em obra, ver figuras 15 e 16.



Figura 16: Soldadura em fábrica



Figura 17: Soldadura em obra

4.1.6. Tratamento superficial por Metalização

O tratamento superficial é um procedimento que melhora consideravelmente as características e propriedades de uma peça e oferece um excelente custo-benefício que não pode ser obtido por outros procedimentos. Para a estrutura em estudo foi adoptado como tratamento superficial a metalização ou aspersão térmica.

A **metalização** ou **aspersão térmica** consiste de um grupo de processos nos quais partículas finamente divididas de materiais para revestimentos, metálicos ou não metálicos, são depositadas sobre uma superfície previamente preparada, na condição fundida ou semi-fundida, para formar um revestimento. O calor necessário para a operação é gerado numa pistola de metalização e pode vir da queima de um gás combustível através do processo por chama a gás (flame spray) ou por um arco eléctrico (arc spray).



Figura 18: Antes e depois do tratamento superficial

4.2. Montagem

4.2.1. Fundações

A **fundação superficial**, também chamada fundação rasa ou directa, é definida como, elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a sua menor dimensão em planta. Apresentam uma área em planta significativamente superior às áreas das secções transversais dos pilares, paredes e muros.

Como solução para as fundações adoptou-se as sapatas isoladas com uma secção em planta, quadrada.

4.2.1.1. Betão de limpeza

O betão de limpeza é um tipo de betão sem função estrutural, com baixo consumo de cimento, muito agregado e pouca água. É utilizado para a regularização e protecção de superfícies (solo) que posteriormente receberão o betão armado (ex: fundações).



Figura 19: Betão de limpeza

4.2.1.2. Sapatas

São elementos de fundação executadas em betão armado, de altura reduzida em relação às dimensões da base e que se caracterizam principalmente por trabalhar à flexão.



Figura 20: Cofragem da sapata



Figura 21: vibração do betão



Figura 22: Sapata betonada



Figura 23: Descobragem da sapata

4.2.1.3. Pilares de arranque



Figura 24: Pilar betonado e descobrado

4.2.1.4. Chapas de base e chumbadores



Figura 25: Chapas de ligação e chumbadores

4.2.2. Montagem da estrutura metálica

O processo de montagem é a última fase do fabrico e execução de estruturas metálicas. A montagem é realizada de acordo com um plano de montagem previamente elaborado. É essencial ter o material, devidamente arrumado e pronto a montar de acordo com o plano de montagem, evitando perdas de tempo (Santos & Simões da Silva, 2011).

Antes de iniciar a montagem, verifica-se o nivelamento e alinhamento dos chumbadores. Depois da betonagem dos chumbadores e devido à vibração das fundações, podem ocorrer deslocamentos entre os chumbadores, para evitar que isso ocorra utilizam-se chapas *gabarit* que garantem a distância entre eles. É assim recomendável verificar o seu posicionamento antes da montagem, recorrendo a um levantamento topográfico (Santos & Simões da Silva, 2011).

Depois de verificado o nivelamento e alinhamento das bases, deu-se início a montagem dos andaimes.

As peças são elevadas com ajuda de roldanas, posicionados e fixados nos respectivos lugares através do conjunto parafuso-anilha de chapa-anilha de mola-porca. As anilhas de chapa são colocadas junto à cabeça do parafuso, ou seja, na parte externa das cantoneiras.

As primeiras peças a montar são os pilares com comprimento de 6 metros, de seguida as travessas e as diagonais em todas as faces, tornando a parte já montada estável e segura. Procede-se de igual modo nos níveis superiores conforme ilustram as figuras a seguir.



a)



b)

Figura 26: a) Montagem dos pilares e travessas, b) montagem das diagonais



Figura 27: Montagem dos primeiros 6 metros e 9 metros, respectivamente.



a)



b)

Figura 28: a) Estrutura de sustentação concluída, b) colocação das vigas principais

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A realização deste trabalho possibilitou a consolidação dos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da formação e também permitiu ao estagiário familiarizar-se com a dinâmica da vida profissional. Deste trabalho pode concluir-se que:

- ✓ O processo de identificação e quantificação de acções actuantes constitui uma fase determinante no projecto de estruturas e que para uma adequada definição das situações de projecto e combinações de acções associadas, é fundamental uma correcta classificação das acções;
- ✓ Com o acompanhamento das fases de materialização do projecto foi possível conciliar os conhecimentos teóricos com a prática.

5.2. Recomendações

- ✓ Recomenda-se a realização correcta da quantificação das acções e a análise global cuidadosa dos seus efeitos na estrutura;
- ✓ Recomenda-se que no dimensionamento seja tida em consideração a disponibilidade dos materiais no mercado;
- ✓ Recomenda-se ainda que durante as etapas de fabricação e montagem da estrutura se obedeça de forma rigorosa os desenhos de execução fornecidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROSSATTO, Bárbara Maier. **Estudo comparativo de uma edificação em estrutura metálica/concreto armado: estudo de caso.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de Engenharia Civil, Santa Maria, RS, Brasil, Julho, 2015.
- LEMES, Daniela De Jesus Lopes. **Comparativo entre ligações soldadas e parafusadas através de análise estrutural computacional. TCC, Curso de Engenharia Civil,** UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 88p. 2019.
- MARQUES, Silvana Dulce Paiva Moreira. **Dimensionamento de bases rígidas de pilares metálicos segundo o eurocódigo 3.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL - ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.
- BERGAMASCO, Pedro Diego Almeida. **Estudo do comportamento estrutural de ligações parafusadas viga-pilar com chapa de topo estendida:** Análise numérica. São Paulo, 2012.
- GOECKS, Cristiano. **Análise de ligações parafusadas em estruturas metálicas.** Dissertação apresentada ao programa de graduação do curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Rio Grande do Sul, 2011.
- MARTINS, J. D. (2006). **Resistência à tração de chumbadores com placa de ancoragem instalados em concreto.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação: E.DM-001A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 148p.
- ZIN, Ricardo Vinícius. **Fundações para torres metálicas autoportantes de telecomunicações: aspectos técnicos e construtivos.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil, Santa Maria, RS, Brasil, 2014.
- SIMÕES, Rui A.D. (2007). **Manual de dimensionamento de estruturas metálicas,** Coleção Construção Metálica e Mista, cmm Press, Coimbra.

Anexos

Anexo 1



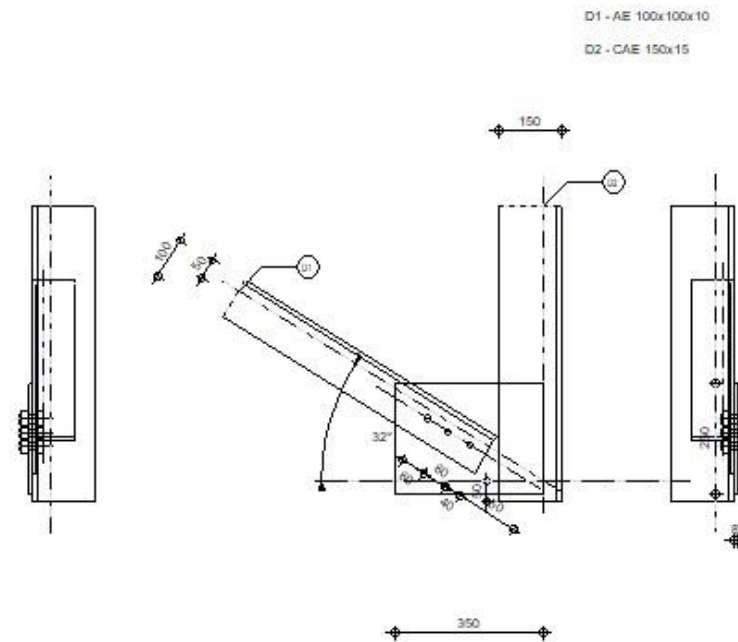
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Cálculos da conexão com a placa de suporte

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Relação
0,99



GERAL

Nº de conexão: 1
Nome da conexão: Placa de suporte: contraventamento
Nó estrutural: 2
Barras estruturais: 1, 2

Anexo 1

GEOMETRIA

BARRAS

		Barra 1	Barra 2			
Barra N° :		2	1			
Seção:		LNP 100x10	LNP 150x15			
	h	100	150			mm
	b _f	100	150			mm
	t _w	10	15			mm
	t _f	10	15			mm
	r	12	16			mm
	A	19,20	43,02			cm ²
Material:		S 235	S 235			
	f _y	235,00	235,00			MPa
	f _u	360,00	360,00			MPa
Ângulo	α	32,0	90,0			Deg
Comprimento	l	2,36	0,00			m

PARAFUSOS

Barra 1

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
d =	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
d ₀ =	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
A _s =	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A _v =	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
f _{yb} =	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
f _{ub} =	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
n =	3		Número de colunas de parafusos

Anexo 1

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	150	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

SOLDAS

Soldas dos membros

Barra 2

$l_1 =$	400	[mm]	Comprimento 1 da solda de concordância longitudinal
$l_2 =$	300	[mm]	Comprimento 2 da solda de concordância longitudinal
$a =$	5	[mm]	Espessura das soldas de concordância longitudinais
$b =$	5	[mm]	Espessura da solda de concordância transversal

PLACA DE SUPORTE

$l_p =$	350	[mm]	Comprimento da placa
$h_p =$	260	[mm]	Altura da placa
$t_p =$	8	[mm]	Espessura da placa

Parâmetros

$h_1 =$	0	[mm]	Corte
$v_1 =$	0	[mm]	Corte
$h_2 =$	0	[mm]	Corte
$v_2 =$	0	[mm]	Corte
$h_3 =$	0	[mm]	Corte
$v_3 =$	0	[mm]	Corte
$h_4 =$	0	[mm]	Corte
$v_4 =$	0	[mm]	Corte

Centro de gravidade da placa referente ao centro de gravidade das barras (-175;100)

Anexo 1

$e_v =$	30	[mm]	Distância vertical da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_H =$	350	[mm]	Distância horizontal da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
Material:	S 235		
$f_y =$	235,00	[MPa]	Resistência

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{b1,Ed} =$	-192,51	[kN]	Força axial
$N_{b2,Ed} =$	-757,35	[kN]	Força axial

RESULTADOS

BARRA 1

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$		$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$		2,50 > 0,00	verificado	

Anexo 1

$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8*(e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	1,00		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			1,00 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	103,68	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	-4,19	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b1,Ed} * e$
$F_{NSd} =$	-64,17	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b1,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	-34,93	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	-64,17	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	-34,93	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	73,06	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

Anexo 1

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	103,68	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			$ -64,17 < 77,76$	verificado (0,83)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			$ -34,93 < 103,68$	verificado (0,34)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			$73,06 < 73,73$	verificado (0,99)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 * t_{f1}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 * A_{net} * f_{u1}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0,9 * A * f_{y1}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$			$ -192,51 < 267,49$	verificado (0,72)
$ N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			$ -192,51 < 406,08$	verificado (0,47)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0,5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$			$ -192,51 < 206,85$	verificado (0,93)

BARRA 2

VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

$e =$	23	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao centroide de um grupo de soldas	
$M_0 =$	-17,73	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b2,Ed} * e$
$A_w =$	42,50	[cm ²]	Área das soldas	
$I_0 =$	8239,39	[cm ⁴]	Momento polar de inércia das soldas	
$\tau_N =$	-178,20	[MPa]	Tensão do componente devido à influência da força longitudinal	$\tau_N = N_{b2,Ed} / A_s$
$\tau_{Mx} =$	-18,64	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo x	$\tau_{Mx} = M_0 * z / I_0$
$\tau_{Mz} =$	-54,52	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo z	$\tau_{Mz} = M_0 * x / I_0$
$\tau =$	204,25	[MPa]	Tensão resultante	$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + \tau_{Mz}^2}$

Anexo 1

$e =$	23	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao centroide de um grupo de soldas	
$\beta_w =$	0,80		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$f_{vw,d} =$	207,85	[MPa]		$f_{vw,d} = f_u / (\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})$
$\tau \leq f_{vRd}$	204,25 < 207,85		verificado	(0,98)

RESISTÊNCIA DA SEÇÃO

$N_{pl,Rd} =$	1011,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	-757,35 < 1011,08		verificado	(0,75)

A conexão está em conformidade com a norma.

Relação 0,99

Anexo 2



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Cálculos da conexão com a placa de suporte

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



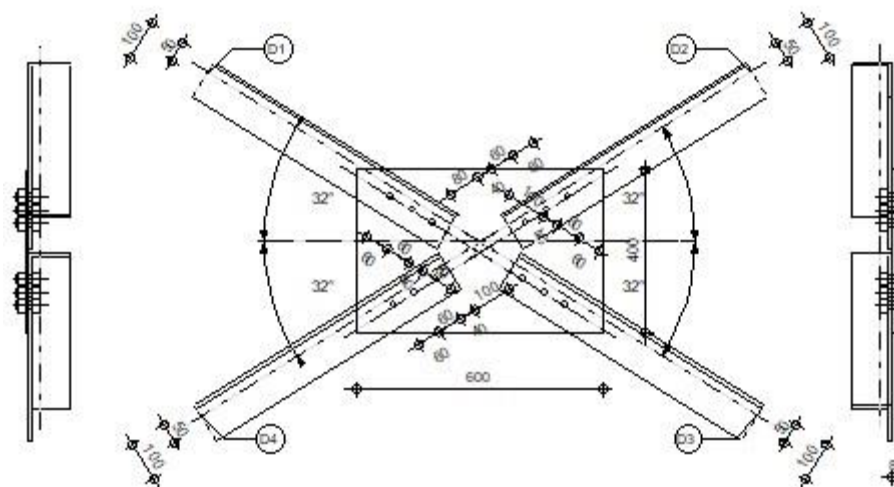
Relação
0,99

D1 - AE 100x100x10

D2 - AE 100x100x10

D3 - AE 100x100x10

D4 - AE 100x100x10



GERAL

Nº de conexão: 2
Nome da conexão: Placa de suporte: contraventamento
Nó estrutural: 3
Barras estruturais: 6, 5, 3, 2

Anexo 2

GEOMETRIA

BARRAS

		Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4		
Barra N°:		6	5	3	2		
Seção:		LNP 100x10	LNP 100x10	LNP 100x10	LNP 100x10		
	h	100	100	100	100		mm
	b _f	100	100	100	100		mm
	t _w	10	10	10	10		mm
	t _f	10	10	10	10		mm
	r	12	12	12	12		mm
	A	19,20	19,20	19,20	19,20		cm ²
Material:		S 235	S 235	S 235	S 235		
	f _y	235,00	235,00	235,00	235,00		MPa
	f _u	360,00	360,00	360,00	360,00		MPa
Ângulo	α	32,0	32,0	32,0	32,0		Deg
Comprimento	l	2,36	2,36	2,36	2,36		m

PARAFUSOS

Barra 1

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
d =	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
d ₀ =	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
A _s =	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A _v =	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
f _{yb} =	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
f _{ub} =	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
n =	3		Número de colunas de parafusos

Anexo 2

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	80	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Barra 2

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
$d =$	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
$d_0 =$	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
$A_s =$	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
$A_v =$	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
$f_{yb} =$	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n =$	3		Número de colunas de parafusos

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	80	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Barra 3

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
$d =$	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
$d_0 =$	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
$A_s =$	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
$A_v =$	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
$f_{yb} =$	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n =$	3		Número de colunas de parafusos

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	100	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Anexo 2

Barra 4

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8,8		Classe do parafuso
d =	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
d ₀ =	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
A _s =	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A _v =	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
f _{yb} =	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
f _{ub} =	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
n =	3		Número de colunas de parafusos
Espaçamento dos parafusos	60; 60	[mm]	
e ₁ =	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
e ₂ =	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
e _c =	100	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

PLACA DE SUPORTE

l _p =	600	[mm]	Comprimento da placa
h _p =	400	[mm]	Altura da placa
t _p =	8	[mm]	Espessura da placa

Parâmetros

h ₁ =	0	[mm]	Corte
v ₁ =	0	[mm]	Corte
h ₂ =	0	[mm]	Corte
v ₂ =	0	[mm]	Corte
h ₃ =	0	[mm]	Corte
v ₃ =	0	[mm]	Corte
h ₄ =	0	[mm]	Corte
v ₄ =	0	[mm]	Corte

Centro de gravidade da placa referente ao centro de gravidade das barras (0; -25)

Anexo 2

$e_v =$	225	[mm]	Distância vertical da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_H =$	300	[mm]	Distância horizontal da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
Material:	S 235		
$f_y =$	235,00	[MPa]	Resistência

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{b1,Ed} =$	-186,17	[kN]	Força axial
$N_{b2,Ed} =$	33,08	[kN]	Força axial
$N_{b3,Ed} =$	-192,51	[kN]	Força axial
$N_{b4,Ed} =$	39,56	[kN]	Força axial

RESULTADOS

BARRA 1

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x

Anexo 2

$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,94		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,94 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	97,40	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	-4,05	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b1,Ed} \cdot e$
$F_{NSd} =$	-62,06	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b1,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	-33,78	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 \cdot X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	-62,06	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$

Anexo 2

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$F_{z,Ed} =$	-33,78	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	70,66	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)}$
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	97,40	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			$ -62,06 < 77,76$	verificado (0,80)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			$ -33,78 < 97,40$	verificado (0,35)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			$70,66 < 73,73$	verificado (0,96)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{f1}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u1}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0,9 \cdot A \cdot f_{y1}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$			$ -186,17 < 267,49$	verificado (0,70)
$ N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			$ -186,17 < 406,08$	verificado (0,46)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$			$ -186,17 < 206,85$	verificado (0,90)

BARRA 2

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2,8 \cdot (e_2/d_0) - 1,7, 2,5]$
$k_{1x} > 0,0$			$2,50 > 0,00$	verificado

Anexo 2

$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,94		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,94 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	97,40	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	0,72	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b2,Ed} * e$
$F_{NSd} =$	11,03	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b2,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	6,00	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	11,03	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	6,00	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	12,55	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

Anexo 2

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	97,40	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	11,03	<	77,76	verificado (0,14)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	6,00	<	97,40	verificado (0,06)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	12,55	<	73,73	verificado (0,17)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_f$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u2}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_{y2}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$	33,08	<	267,49	verificado (0,12)
$ N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	33,08	<	406,08	verificado (0,08)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$	33,08	<	206,85	verificado (0,16)

BARRA 3

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado

Anexo 2

$F_{b,Rd1x} = 86,40$ [kN] Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 2,50$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bz} = 0,83$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $0,83 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd1z} = 108,00$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x

$k_{1x} = 2,50$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_1 = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bx} = 0,75$ Coeficiente determinado pela distância entre os parafusos $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,75 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd2x} = 77,76$ [kN] Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura $F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 2,50$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bz} = 1,00$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $1,00 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd2z} = 103,68$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e = 22$ [mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 = -4,19$ [kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b3,Ed} \cdot e$
$F_{NSd} = -64,17$ [kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b3,Ed} / n$
$F_{MSd} = -34,93$ [kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum x_i^2$
$F_{x,Ed} = -64,17$ [kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = -34,93$ [kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 73,06$ [kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)}$
$F_{Rdx} = 77,76$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 103,68$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

Anexo 2

$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$ -64,17 < 77,76$	verificado	(0,83)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$ -34,93 < 103,68$	verificado	(0,34)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$73,06 < 73,73$	verificado	(0,99)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{f3}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u3}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_{y3}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$ -192,51 < 267,49$			verificado (0,72)
$ N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$ -192,51 < 406,08$			verificado (0,47)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$	$ -192,51 < 206,85$			verificado (0,93)

BARRA 4

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$			verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,67 > 0,00$			verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^* \cdot t / \gamma_{M2}$

Anexo 2

Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_1 = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	1,00		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			1,00 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	103,68	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	0,86	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b4,Ed} \cdot e$
$F_{NSd} =$	13,19	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	7,18	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	13,19	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	7,18	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	15,01	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	103,68	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			13,19 < 77,76	verificado (0,17)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			7,18 < 103,68	verificado (0,07)

Anexo 2

$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$ 13,19 < 77,76$	verificado	(0,17)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$15,01 < 73,73$	verificado	(0,20)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{f4}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u4}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0,9 \cdot A \cdot f_{y4}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$ 39,56 < 267,49$			verificado (0,15)
$ N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$ 39,56 < 406,08$			verificado (0,10)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 39,56 < 206,85$			verificado (0,19)

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,99
--	---------	------

Anexo 3



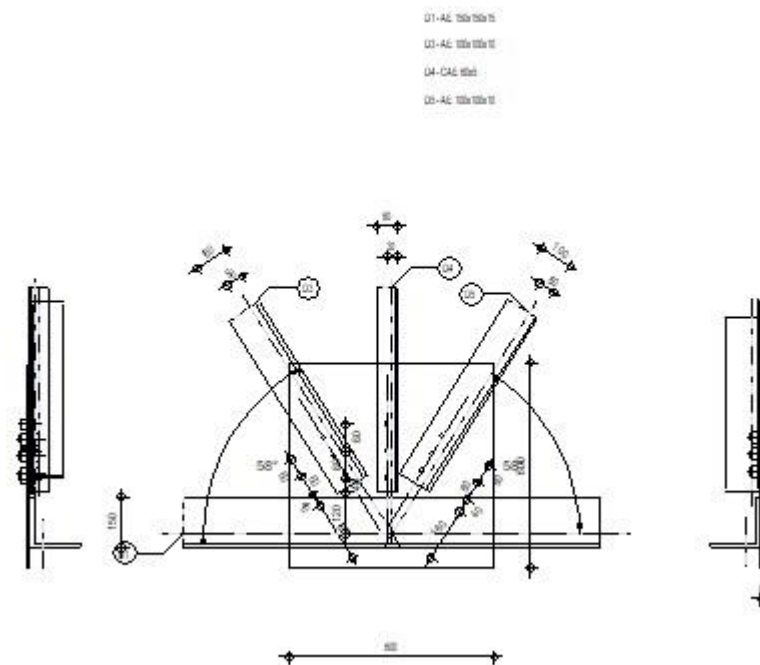
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Cálculos da conexão com a placa de suporte

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Relação
0,96



GERAL

Nº de conexão: 3
Nome da conexão: Placa de suporte: nó de banco da treliça
Nó estrutural: 4
Barras estruturais: 1, 8, 9, 7, 6,

Anexo 3

GEOMETRIA

BARRAS

		Barra 1-2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	
Barra N°:		1,8	9	7	6	
Seção:		LNP 150x15	LNP 100x10	LNP 60x5	LNP 100x10	
	h	150	100	60	100	mm
	b _f	150	100	60	100	mm
	t _w	15	10	5	10	mm
	t _f	15	10	5	10	mm
	r	16	12	8	12	mm
	A	43,00	19,20	5,82	19,20	cm ²
Material:		S 235	S 235	S 355	S 235	
	f _y	235,00	235,00	355,00	235,00	MPa
	f _u	360,00	360,00	470,00	360,00	MPa
Ângulo	α	0,0	58,0	90,0	58,0	Deg
Comprimento	l	2,50	2,36	4,00	2,36	m

PARAFUSOS

Barra 3

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
d =	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
d ₀ =	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
A _s =	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A _v =	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
f _{yb} =	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
f _{ub} =	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
n =	3		Número de colunas de parafusos

Anexo 3

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	180	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Barra 4

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
$d =$	14	[mm]	Diâmetro do parafuso
$d_0 =$	15	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
$A_s =$	1,15	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
$A_v =$	1,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
$f_{yb} =$	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n =$	3		Número de colunas de parafusos

Espaçamento dos parafusos 80;80 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	30	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	120	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Barra 5

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
$d =$	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
$d_0 =$	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
$A_s =$	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
$A_v =$	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
$f_{yb} =$	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n =$	3		Número de colunas de parafusos

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	160	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Anexo 3

SOLDAS

Soldas dos membros

Barra 1-2

$l_1 =$	150	[mm]	Comprimento 1 da solda de concordância longitudinal
$l_2 =$	0	[mm]	Comprimento 2 da solda de concordância longitudinal
$a =$	5	[mm]	Espessura das soldas de concordância longitudinais

PLACA DE SUPORTE

$l_p =$	600	[mm]	Comprimento da placa
$h_p =$	600	[mm]	Altura da placa
$t_p =$	8	[mm]	Espessura da placa

Parâmetros

$h_1 =$	0	[mm]	Corte
$v_1 =$	0	[mm]	Corte
$h_2 =$	0	[mm]	Corte
$v_2 =$	0	[mm]	Corte
$h_3 =$	0	[mm]	Corte
$v_3 =$	0	[mm]	Corte
$h_4 =$	0	[mm]	Corte
$v_4 =$	0	[mm]	Corte

Centro de gravidade da placa referente ao centro de gravidade das barras (0;200)

$e_v =$	100	[mm]	Distância vertical da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_H =$	300	[mm]	Distância horizontal da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_0 =$	0	[mm]	Distância ao eixo do banzo (horiz.)
Material: S 235			
$f_y =$	235,00	[MPa]	Resistência

Anexo 3

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{b1,Ed} =$	-662,45	[kN]	Força axial
$N_{b2,Ed} =$	-757,35	[kN]	Força axial
$N_{b3,Ed} =$	47,52	[kN]	Força axial
$N_{b4,Ed} =$	106,52	[kN]	Força axial
$N_{b5,Ed} =$	-186,17	[kN]	Força axial

RESULTADOS

BARRA 1-2

VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

$e =$	16	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao centroide de um grupo de soldas	
$M_0 =$	1,51	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b1,Ed} * e$
$A_w =$	12,00	[cm ²]	Área das soldas	
$I_0 =$	558,71	[cm ⁴]	Momento polar de inércia das soldas	
$\tau_N =$	79,08	[MPa]	Tensão do componente devido à influência da força longitudinal	$\tau_N = N_{b1,Ed} / A_s$
$\tau_{Mx} =$	34,04	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo x	$\tau_{Mx} = M_0 * z / I_0$
$\tau_{Mz} =$	28,02	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo z	$\tau_{Mz} = M_0 * x / I_0$
$\tau =$	116,54	[MPa]	Tensão resultante	$\tau = \sqrt{[(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + \tau_{Mz}^2]}$
$\beta_w =$	0,80		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]

Anexo 3

$e =$	16	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao centroide de um grupo de soldas	
$f_{vw,d} =$	207,85	[MPa]		$f_{vw,d} = f_u / (\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})$
$\tau \leq f_{vRd}$			116,54 < 207,85	verificado (0,56)

RESISTÊNCIA DA SEÇÃO

$N_{pl,Rd} =$	1010,50	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$
$ N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			94,90 < 1010,50	verificado (0,09)

BARRA 3

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^* t_i / \gamma_{M2}$

Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^* t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

Anexo 3

$k_{1x} > 0.0$	2,50	> 0,00	verificado	
$\alpha_{bx} =$	0,75			Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	0,75	> 0,00	verificado	
$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]		Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura $F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50			Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	2,50	> 0,00	verificado	
$\alpha_{bz} =$	1,00			Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	1,00	> 0,00	verificado	
$F_{b,Rd2z} =$	103,68	[kN]		Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	1,03	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b3,Ed} * e$
$F_{NSd} =$	15,84	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b3,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	8,62	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	15,84	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	8,62	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	18,04	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	103,68	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	15,84	< 77,76	verificado	(0,20)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	8,62	< 103,68	verificado	(0,08)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	18,04	< 73,73	verificado	(0,24)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 * t_{r3}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 * A_{net} * f_{u3}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y3}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$	47,52	< 267,49	verificado	(0,18)
$ N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	47,52	< 406,08	verificado	(0,12)

Anexo 3

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$ (0,23)
$ N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$			47,52 < 206,85	verificado

BARRA 4

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	44,16	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x

$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,89		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,89 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	58,49	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 t / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,67		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	43,87	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 t / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x

$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	1,00		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

Anexo 3

$\alpha_{bx} > 0.0$			$1,00 > 0,00$	verificado	
$F_{b,Rd2x} =$	80,64	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura		$F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
Direção z					
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$		$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			$2,50 > 0,00$	verificado	
$\alpha_{bz} =$	1,00		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$		$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			$1,00 > 0,00$	verificado	
$F_{b,Rd2z} =$	80,64	[kN]	Resistência portante de um único parafuso		$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	14	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso		
$M_0 =$	1,44	[kN*m]	Momento fletor real		$M_0 = N_{b4,Ed} \cdot e$
$F_{NSd} =$	35,51	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal		$F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	9,03	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento		$F_{MSd} = M_0 \cdot X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	35,51	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x		$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	9,03	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z		$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	36,64	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso		$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	58,49	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x		$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	43,87	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z		$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			$ 35,51 < 58,49$	verificado	(0,61)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			$ 9,03 < 43,87$	verificado	(0,21)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			$36,64 < 44,16$	verificado	(0,83)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,70		Coefficiente de redução		[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	5,07	[cm ²]	Área da seção transversal líquida		$A_{net} = A - d_0 \cdot t_f$
$N_{u,Rd} =$	133,41	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida		$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	185,91	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta		$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M2}$
$ N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$			$ 106,52 < 133,41$	verificado	(0,80)
$ N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			$ 106,52 < 185,91$	verificado	(0,57)

Anexo 3

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	1,12	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	8,12	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	187,68	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$ (0,57)
$ N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$			106,52 < 187,68	verificado

BARRA 5

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_s * m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_1 = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado

Anexo 3

$F_{b,Rd2x} =$	77,76	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	1,00		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			1,00 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	103,68	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	22	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	$M_0 = N_{b5,Ed} \cdot e$
$M_0 =$	-4,05	[kN*m]	Momento fletor real	$F_{NSd} = N_{b5,Ed} / n$
$F_{NSd} =$	-62,06	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum X_i^2$
$F_{MSd} =$	-33,78	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{x,Ed} =$	-62,06	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{z,Ed} =$	-33,78	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Ed} =$	70,66	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdx} =$	77,76	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$F_{Rdz} =$	103,68	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			$ -62,06 < 77,76$	verificado (0,80)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			$ -33,78 < 103,68$	verificado (0,33)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			$70,66 < 73,73$	verificado (0,96)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,54		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	17,20	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{f5}$
$N_{u,Rd} =$	267,49	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u5}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	406,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_{y5}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b5,Ed} \leq N_{u,Rd}$			$ -186,17 < 267,49$	verificado (0,70)
$ N_{b5,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			$ -186,17 < 406,08$	verificado (0,46)

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

Anexo 3

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b5,Ed} \leq V_{effRd}$			$ -186,17 < 206,85$	verificado (0,90)

A conexão está em conformidade com a norma.

Relação 0,96

Anexo 4

GEOMETRIA

BARRAS

		Barra 1	Barra 2	Barra 3		
Barra N°:		36	42	40		
Seção:		LNP 150x15	LNP 60x5	LNP 100x10		
	h	150	60	100		mm
	b _ε	150	60	100		mm
	t _w	15	5	10		mm
	t _ε	15	5	10		mm
	r	16	8	12		mm
	A	43,02	5,82	19,15		cm ²
Material:		S 235	S 235	S 235		
	f _y	235,00	235,00	235,00		MPa
	f _u	360,00	360,00	360,00		MPa
Ângulo	α	90,0	0,0	32,0		Deg
Comprimento	l	2,50	4,00	2,36		m

PARAFUSOS

Barra 2

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
d =	14	[mm]	Diâmetro do parafuso
d ₀ =	15	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
A _s =	1,15	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A _v =	1,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
f _{yb} =	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
f _{ub} =	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
n =	3		Número de colunas de parafusos

Anexo 4

Espaçamento dos parafusos 80;80 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	30	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	115	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

Barra 3

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8		Classe do parafuso
$d =$	18	[mm]	Diâmetro do parafuso
$d_0 =$	20	[mm]	Diâmetro da abertura do parafuso
$A_s =$	1,92	[cm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
$A_v =$	2,54	[cm ²]	Área de seção do parafuso
$f_{yb} =$	640,00	[MPa]	Ponto limite de elasticidade
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n =$	3		Número de colunas de parafusos

Espaçamento dos parafusos 60;60 [mm]

$e_1 =$	40	[mm]	Distância do centro de gravidade do primeiro parafuso à extremidade do membro
$e_2 =$	50	[mm]	Distância do eixo dos parafusos à borda do membro
$e_c =$	180	[mm]	Distância da extremidade do membro ao ponto de interseção dos eixos do membro

SOLDAS

Soldas dos membros

Barra 1

$l_1 =$	230	[mm]	Comprimento 1 da solda de concordância longitudinal
$l_2 =$	90	[mm]	Comprimento 2 da solda de concordância longitudinal
$a =$	5	[mm]	Espessura das soldas de concordância longitudinais
$b =$	5	[mm]	Espessura da solda de concordância transversal

Anexo 4

PLACA DE SUPORTE

$l_p =$	380	[mm]	Comprimento da placa
$h_p =$	300	[mm]	Altura da placa
$t_p =$	8	[mm]	Espessura da placa

Parâmetros

$h_1 =$	0	[mm]	Corte
$v_1 =$	0	[mm]	Corte
$h_2 =$	0	[mm]	Corte
$v_2 =$	0	[mm]	Corte
$h_3 =$	0	[mm]	Corte
$v_3 =$	0	[mm]	Corte
$h_4 =$	0	[mm]	Corte
$v_4 =$	0	[mm]	Corte

Centro de gravidade da placa referente ao centro de gravidade das barras (190;130)

$e_v =$	20	[mm]	Distância vertical da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_H =$	0	[mm]	Distância horizontal da borda da placa ao ponto de interseção dos eixos do membro
$e_0 =$	0	[mm]	Distância ao eixo do banzo (horiz.)

Material: S 235

$f_y =$	235,00	[MPa]	Resistência
---------	--------	-------	-------------

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

Anexo 4

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{b2,Ed} =$	-422,82	[kN]	Força axial
$N_{b4,Ed} =$	53,33	[kN]	Força axial
$N_{b5,Ed} =$	-75,74	[kN]	Força axial

RESULTADOS

BARRA 1

VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

$e =$	9	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao centroide de um grupo de soldas	
$M_0 =$	-3,99	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b2,Ed} * e$
$A_w =$	23,50	[cm ²]	Área das soldas	
$I_0 =$	2161,24	[cm ⁴]	Momento polar de inércia das soldas	
$\tau_N =$	-179,92	[MPa]	Tensão do componente devido à influência da força longitudinal	$\tau_N = N_{b2,Ed} / A_s$
$\tau_{Mx} =$	-18,58	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo x	$\tau_{Mx} = M_0 * z / I_0$
$\tau_{Mz} =$	-30,64	[MPa]	Tensão do componente devido à influência do momento ao redor do eixo z	$\tau_{Mz} = M_0 * x / I_0$
$\tau =$	200,85	[MPa]	Tensão resultante	$\tau = \sqrt{[(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + \tau_{Mz}^2]}$
$\beta_w =$	0,80		Coeficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$f_{vw,d} =$	207,85	[MPa]		$f_{vw,d} = f_u / (\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2})$
$\tau \leq f_{vRd}$			200,85 < 207,85	verificado (0,97)

Anexo 4

RESISTÊNCIA DA SEÇÃO

$N_{pl,Rd} =$	1011,08	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			$ -422,82 < 1011,08$	(0,42)

BARRA 2

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	44,16	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x

$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			$2,50 > 0,00$	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,89		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			$0,89 > 0,00$	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	44,80	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			$2,50 > 0,00$	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,67		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			$0,67 > 0,00$	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	33,60	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x

$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			$2,50 > 0,00$	verificado

Anexo 4

$\alpha_{bx} =$	1,00		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			1,00 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} =$	80,64	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_b * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,75		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} =$	60,15	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e =$	14	[mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso	
$M_0 =$	0,72	[kN*m]	Momento fletor real	$M_0 = N_{b4,Ed} * e$
$F_{NSd} =$	17,78	[kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal	$F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	4,52	[kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento	$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} =$	17,78	[kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	4,52	[kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	18,34	[kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	44,80	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	33,60	[kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$			17,78 < 44,80	verificado (0,40)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$			4,52 < 33,60	verificado (0,13)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			18,34 < 44,16	verificado (0,42)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 =$	0,70		Coefficiente de redução	[Tabela 3.8]
$A_{net} =$	5,07	[cm ²]	Área da seção transversal líquida	$A_{net} = A - d_0 * t_{r4}$
$N_{u,Rd} =$	102,18	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida	$N_{u,Rd} = (\beta_3 * A_{net} * f_{u4}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	123,06	[kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y4}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$			53,33 < 102,18	verificado (0,52)
$ N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$			53,33 < 123,06	verificado (0,43)

Anexo 4

VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	1,12	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	8,12	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	126,44	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$ (0,42)
$ N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$			53,33 < 126,44	verificado

BARRA 3

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} =$	73,73	[kN]	Resistência ao cisalhamento da haste de um parafuso simples	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------	-------	------	---	---

Apoio do parafuso na barra

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,67		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,67 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} =$	86,40	[kN]	Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direção z				
$k_{1z} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} =$	0,83		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$			0,83 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} =$	108,00	[kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na placa

Direção x				
$k_{1x} =$	2,50		Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_1 = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$			2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} =$	0,75		Coefficiente determinado pela distância entre os parafusos	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$			0,75 > 0,00	verificado

Anexo 4

$F_{b,Rd2x} = 77,76$ [kN] Capacidade do projeto no estado limite de plastificação da parede da abertura $F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 2,50$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bz} = 1,00$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $1,00 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd2z} = 103,68$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

VERIFICAÇÃO DE UMA CONEXÃO DEVIDA A FORÇAS ATUANTES SOBRE PARAFUSOS

Cisalhamento do parafuso

$e = 22$ [mm]	Excentricidade da força axial relativa ao eixo do parafuso		
$M_0 = -1,65$ [kN*m]	Momento fletor real		$M_0 = N_{b5,Ed} \cdot e$
$F_{NSd} = -25,25$ [kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal		$F_{NSd} = N_{b5,Ed} / n$
$F_{MSd} = -13,74$ [kN]	Força componente no parafuso devido ao impacto do momento		$F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} = -25,25$ [kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x		$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = -13,74$ [kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z		$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 28,75$ [kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso		$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 77,76$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x		$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 103,68$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z		$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$ -25,25 < 77,76$	verificado	(0, 32)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$ -13,74 < 103,68$	verificado	(0, 13)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$28,75 < 73,73$	verificado	(0, 39)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$\beta_3 = 0,54$	Coeficiente de redução		[Tabela 3.8]
$A_{net} = 17,15$ [cm ²]	Área da seção transversal líquida		$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{f5}$
$N_{u,Rd} = 266,79$ [kN]	Resistência plástica do projeto da seção líquida		$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u5}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} = 405,12$ [kN]	Resistência plástica do projeto da seção bruta		$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_{y5}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b5,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$ -75,74 < 266,79$	verificado	(0, 28)
$ N_{b5,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$ -75,74 < 405,12$	verificado	(0, 19)

Anexo 4

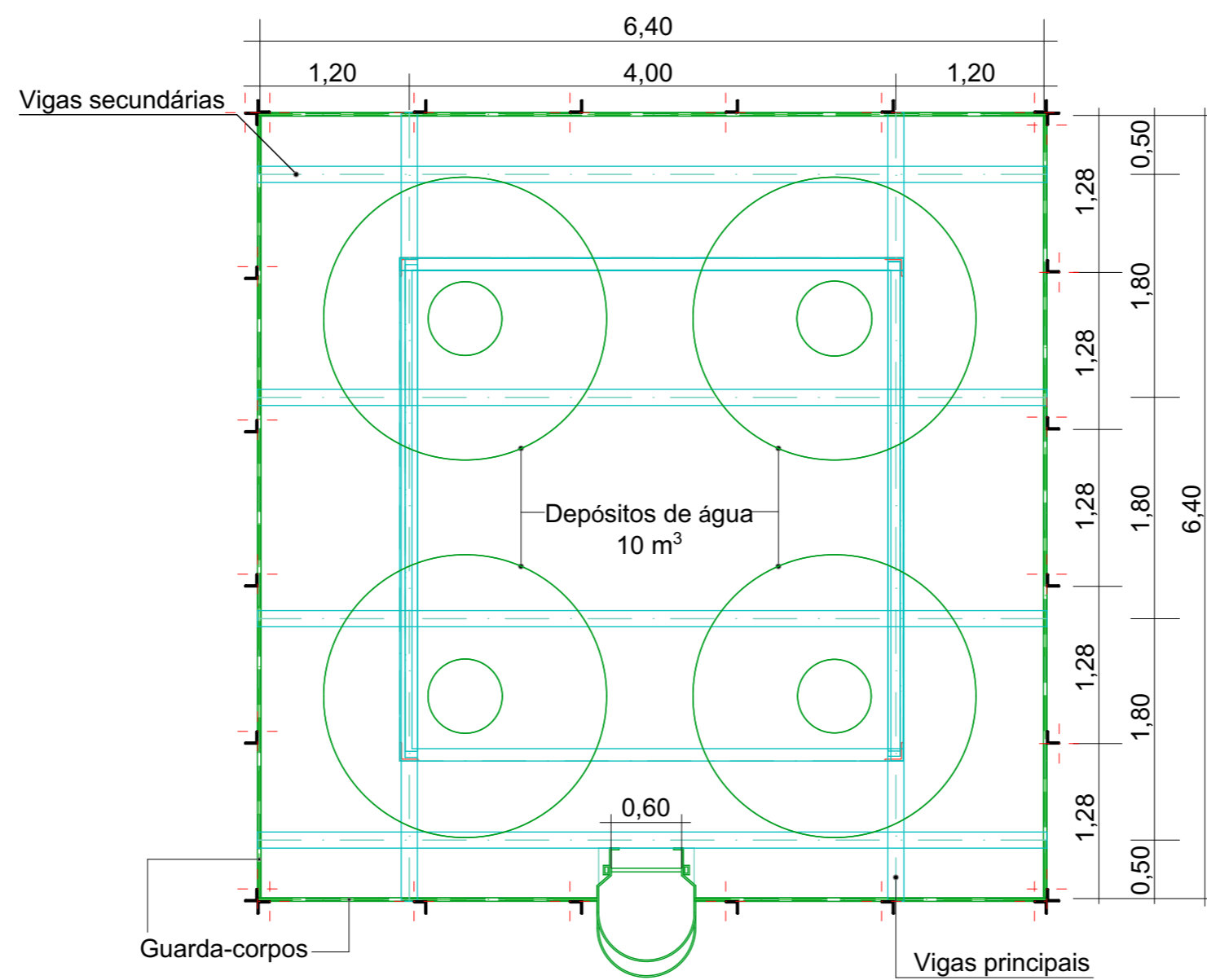
VERIFICAÇÃO DA BARRA - ROMPIMENTO DO BLOCO

$A_{nt} =$	4,00	[cm ²]	Área líquida da seção em tração	
$A_{nv} =$	11,00	[cm ²]	Área da seção em cisalhamento	
$V_{effRd} =$	206,85	[kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b5,Ed} \leq V_{effRd}$			$ -75,74 < 206,85$	verificado (0,37)

A conexão está em conformidade com a norma.

Relação 0,97

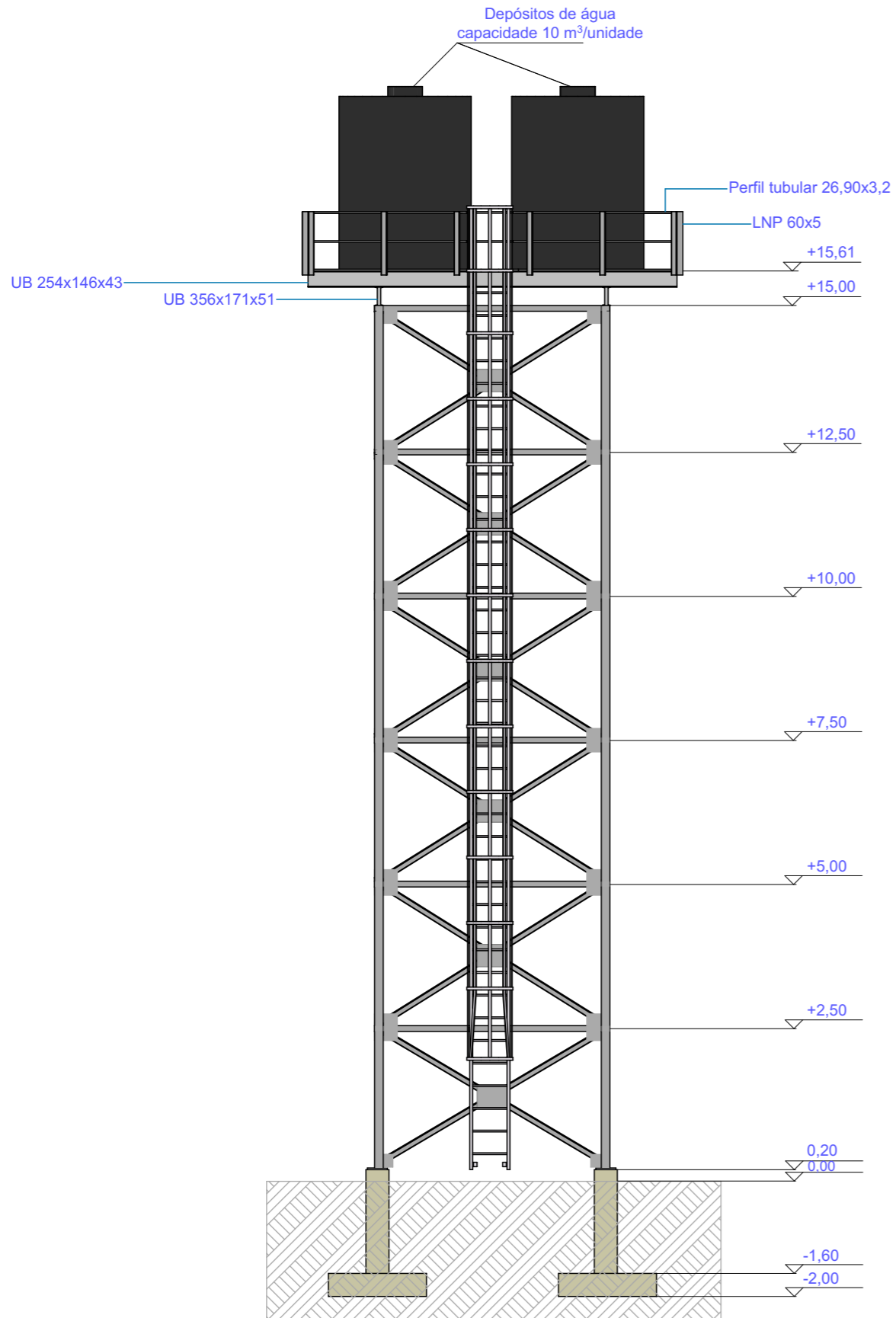
Anexo 5



Plataforma da torre

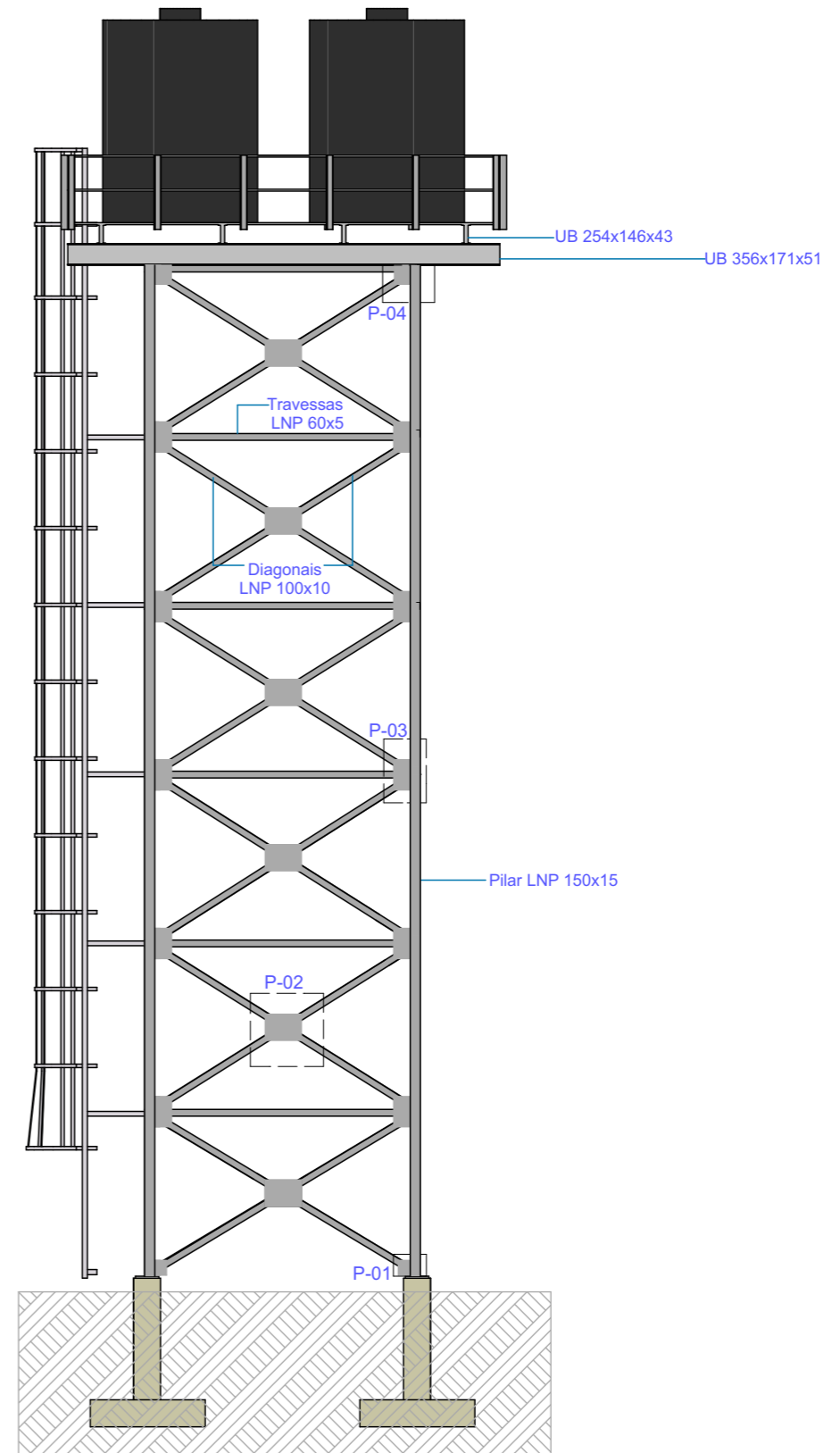
1:50

Anexo 6



Vista Frontal

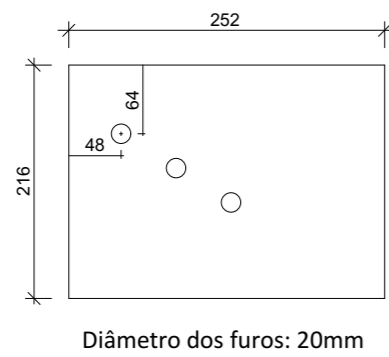
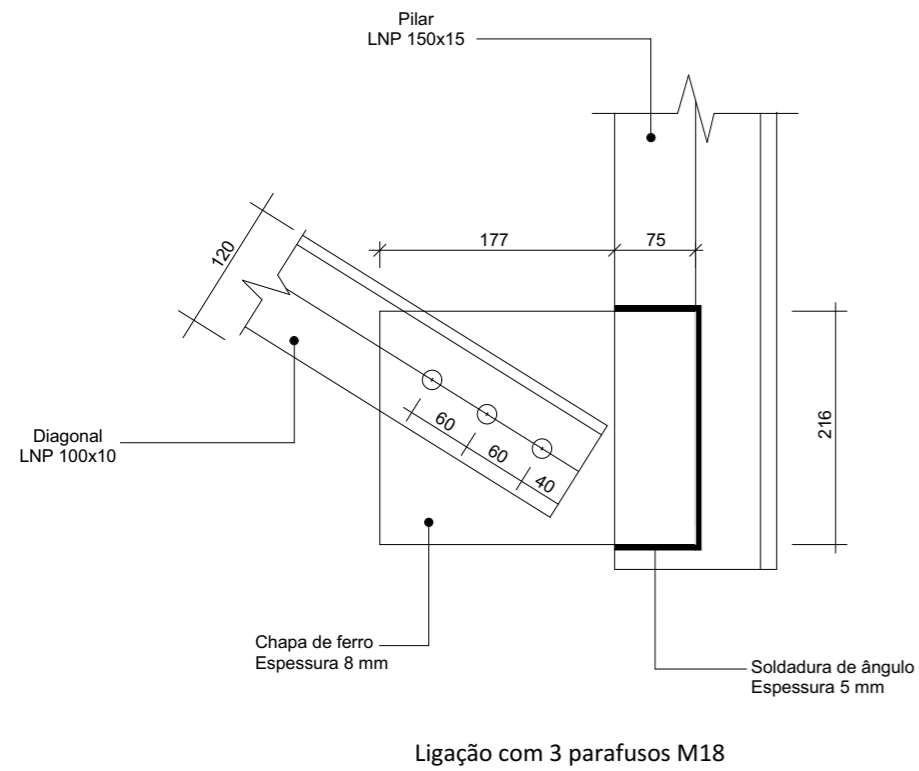
1:100



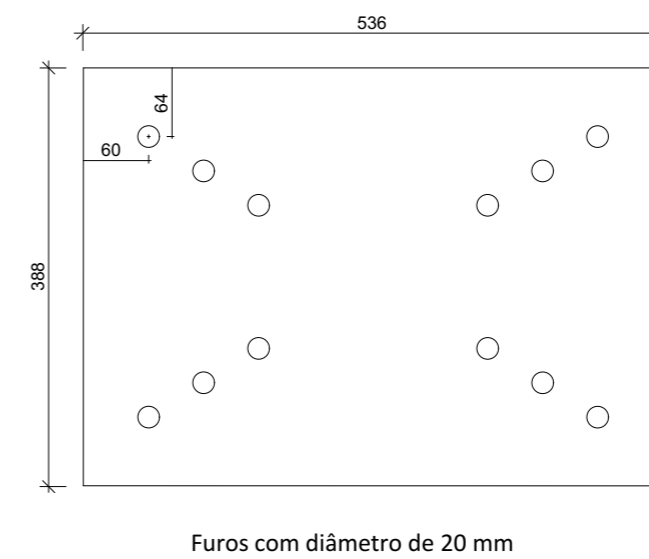
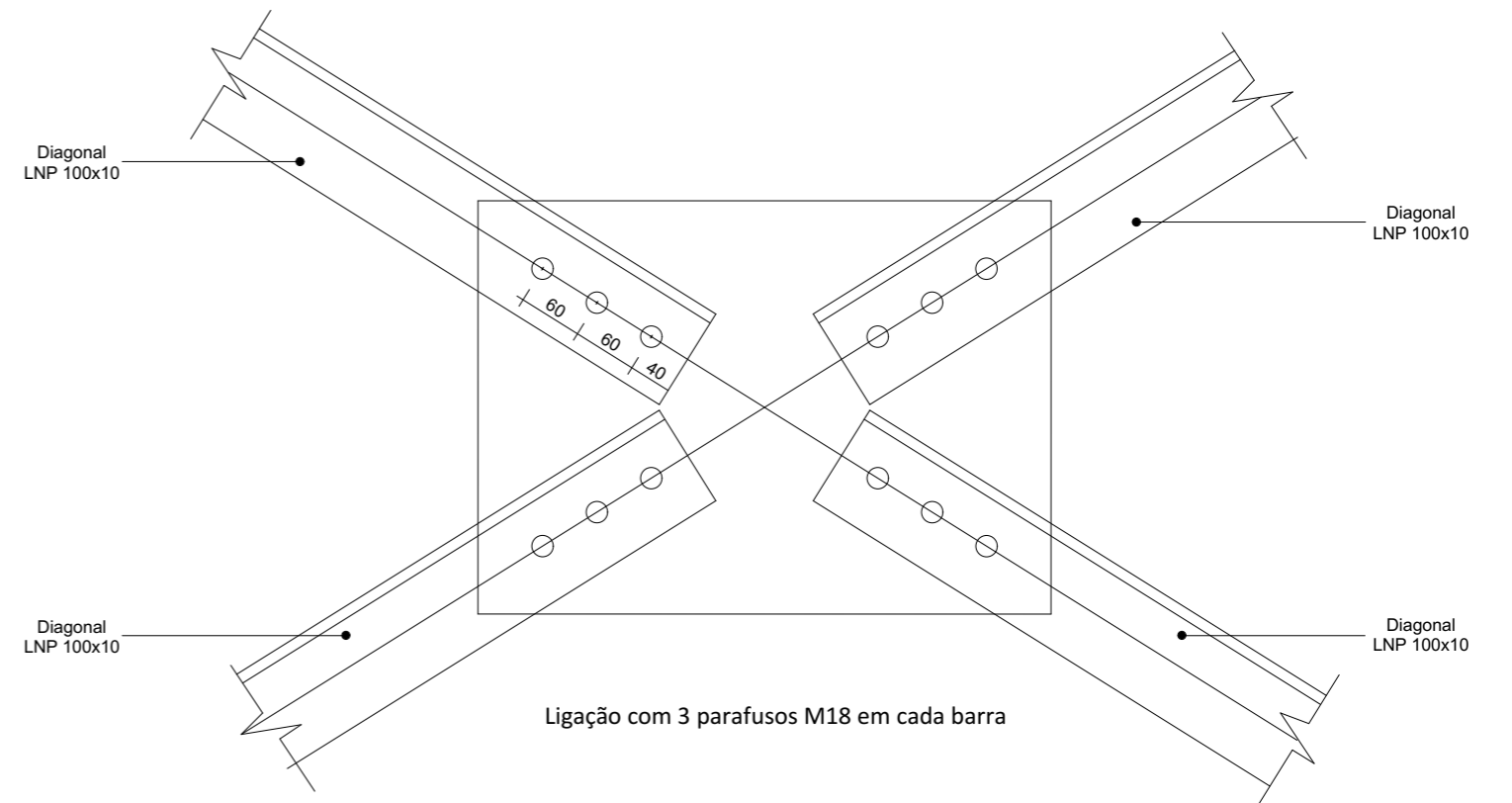
Vista Lateral

1:100

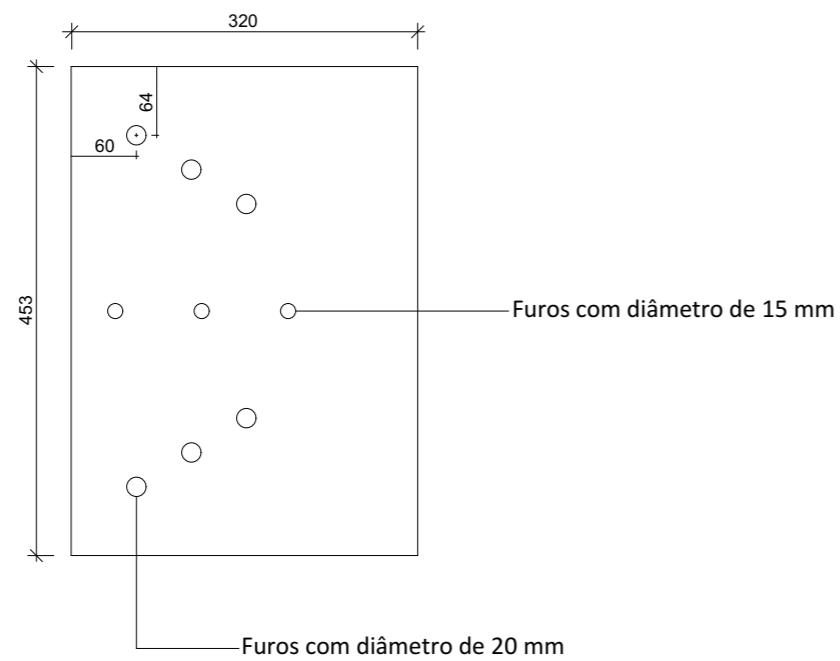
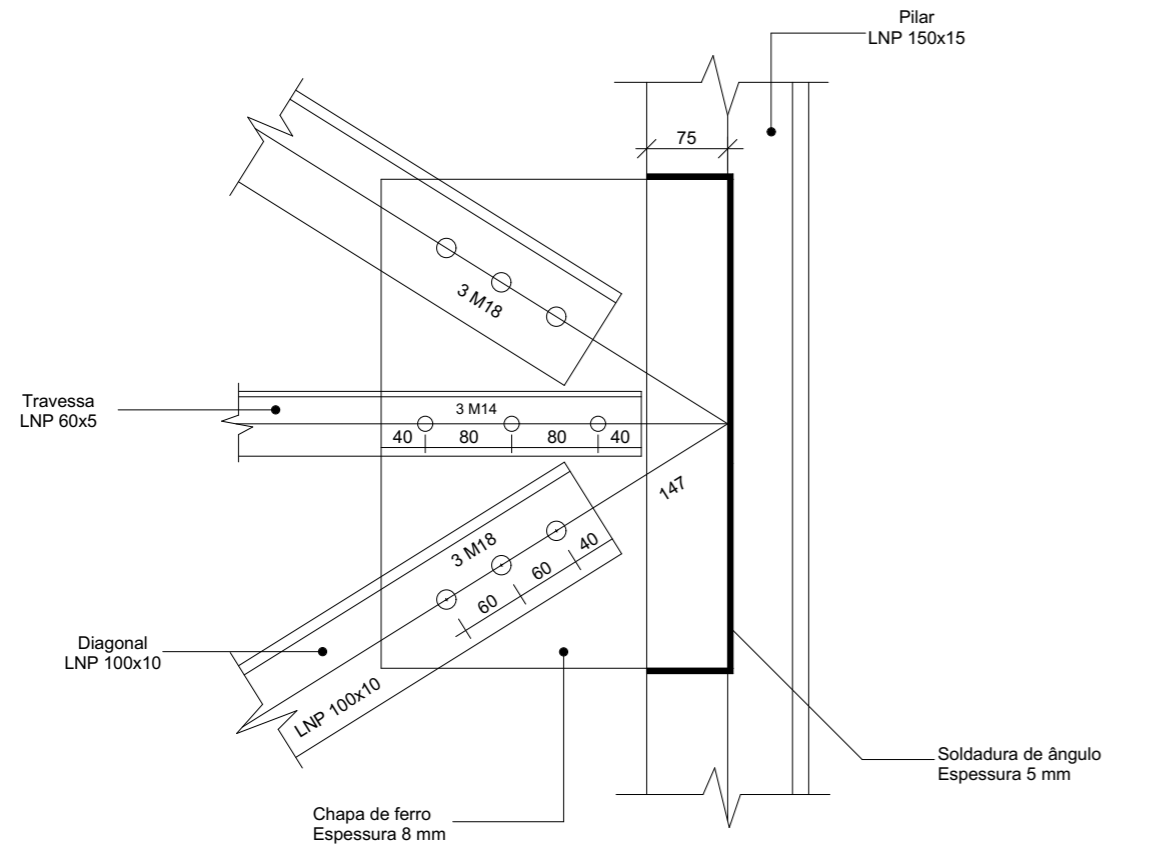
P-01



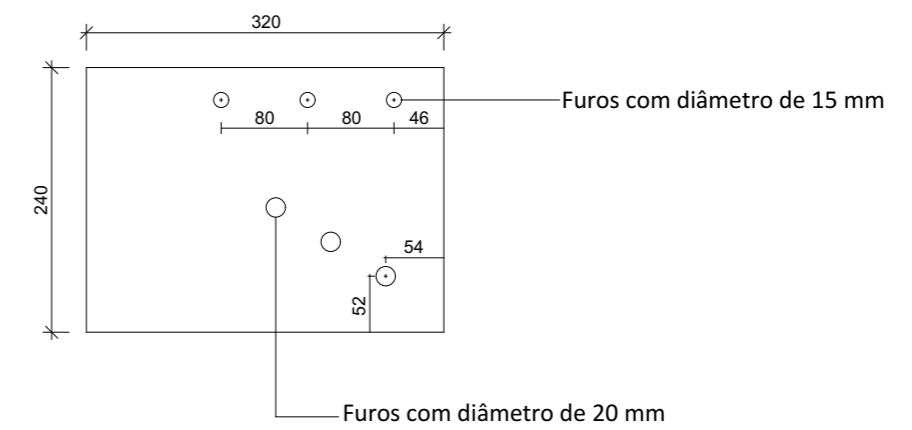
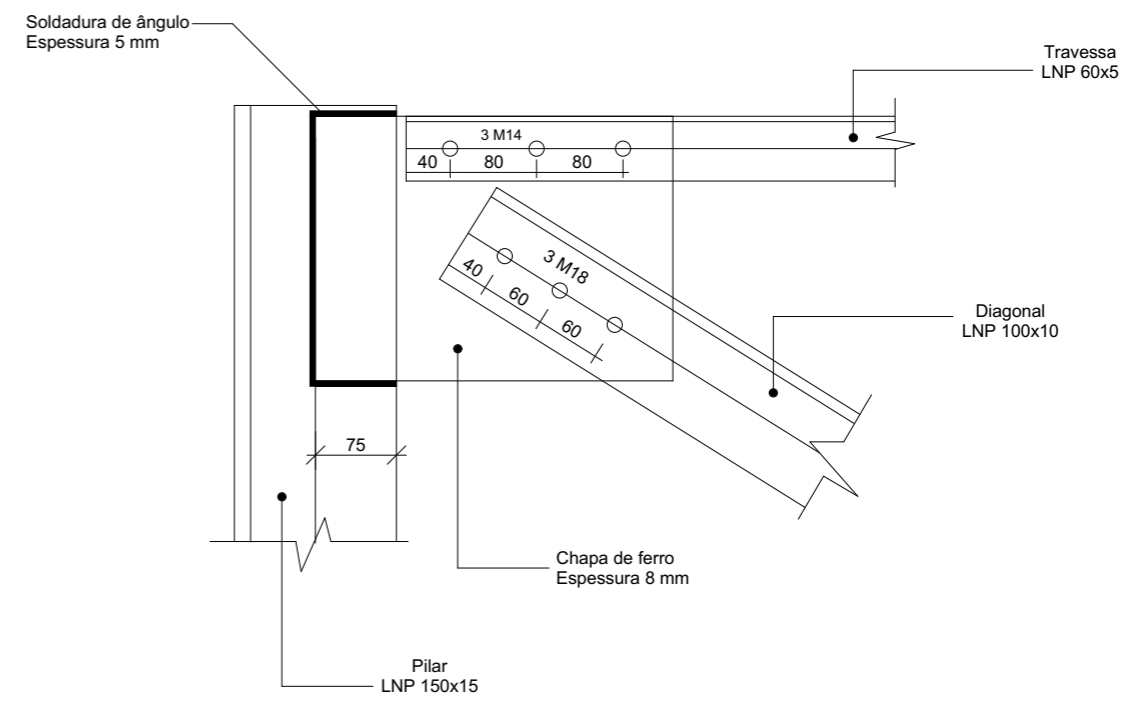
P-02



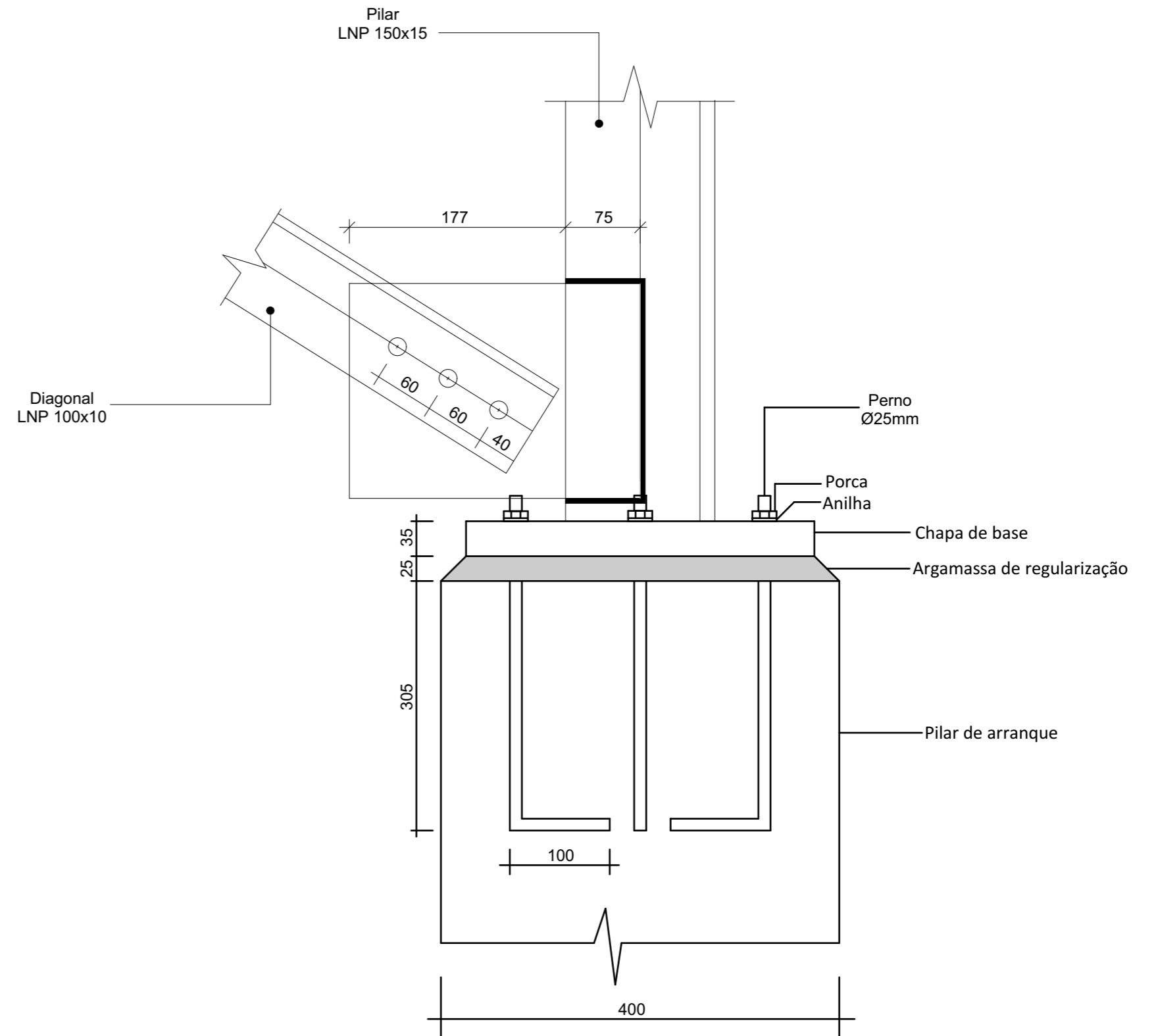
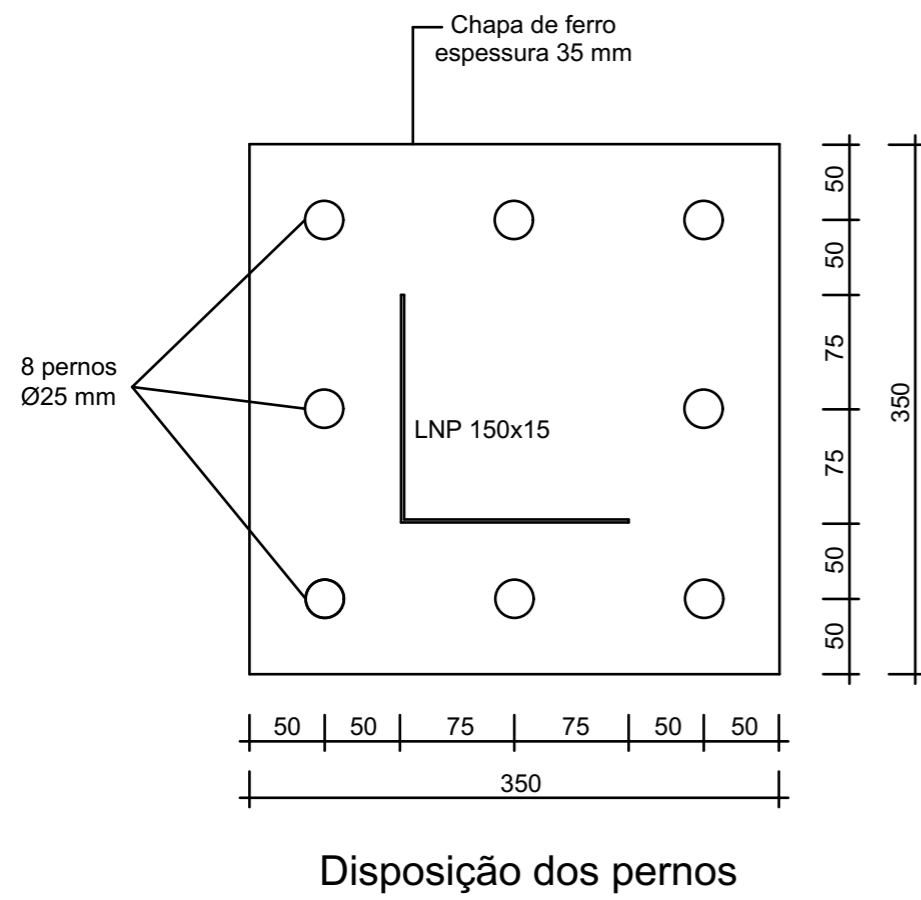
P-03



P-04

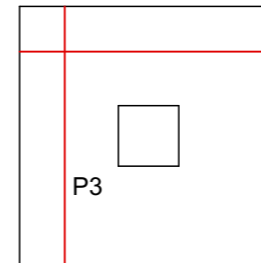
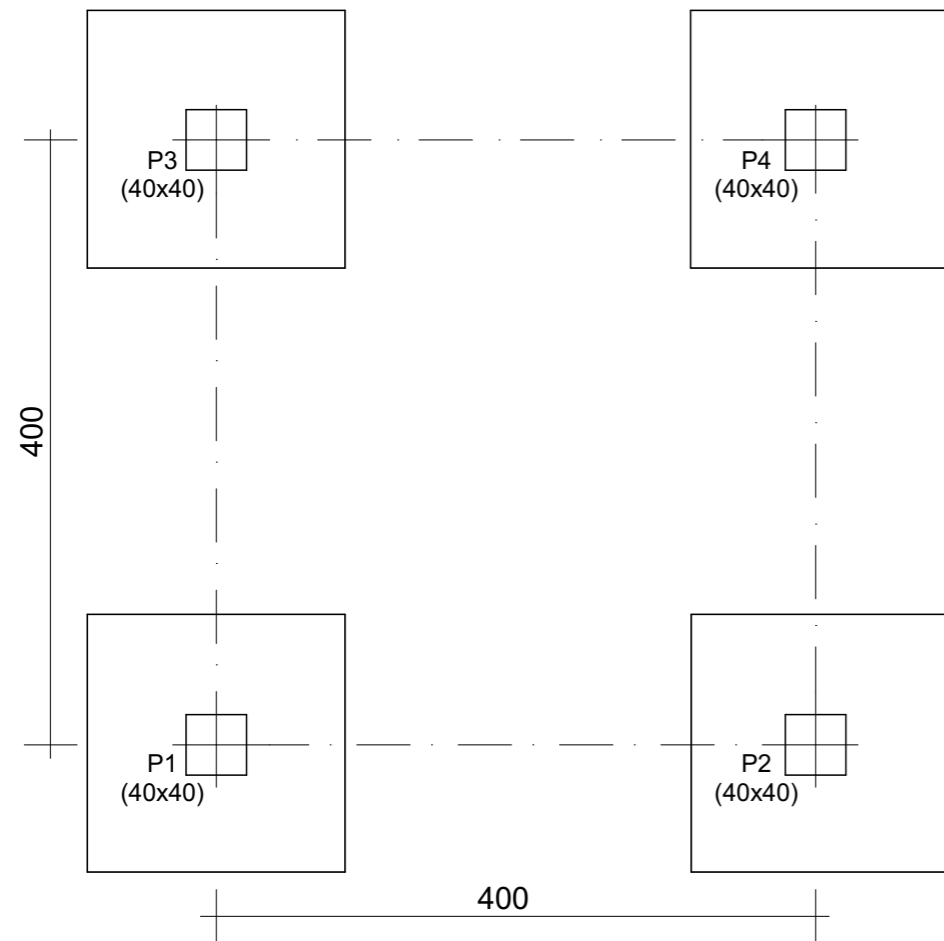


Anexo 9

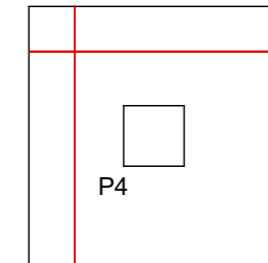


Pormenor da ligação da base do pilar metálico

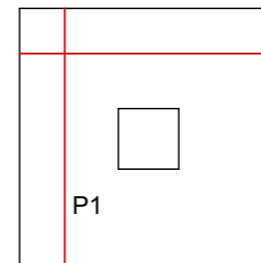
Anexo 10



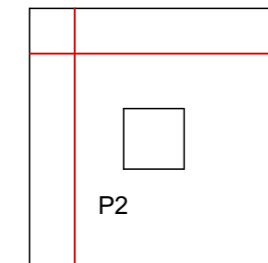
170 x 170 x 40
X: 11Ø12@15
Y: 11Ø12@15



170 x 170 x 40
X: 11Ø12@15
Y: 11Ø12@15



170 x 170 x 40
X: 11Ø12@15
Y: 11Ø12@15



170 x 170 x 40
X: 11Ø12@15
Y: 11Ø12@15

