


R00	EMISSÃO INICIAL	11/09/2025
REVISÃO	MODIFICAÇÃO	DATA

**Obs:**

- 1 - Medidas em mm exceto onde indicado.
- 2 - S44s conforme ABNS D1.1 e NBR 8800/08.
- 3 - Eletrodos: E70, compatíveis com metal base.
- 4 - A inspeção deverá certificar a qualidade da solda, empenamento, bitola dos perfis e qualidade de toda a matéria prima.
- 5 - A fabricação e a montagem deverão estar de acordo com as normas técnicas em vigor (ver memorial descritivo).
- 6 - As cargas foram obtidas de acordo com a NBR 6120/17 e NBR 6123/23
- 7 - Normas e especificações técnicas:  
NBR 8800/24
- 8 - Materiais:  
Chapas e Perfis dobrados A36 (fy=250MPa)  
Barras redondas SAE-1020 (fy=250MPa)  
Chapa COR 420 (fy=300MPa)

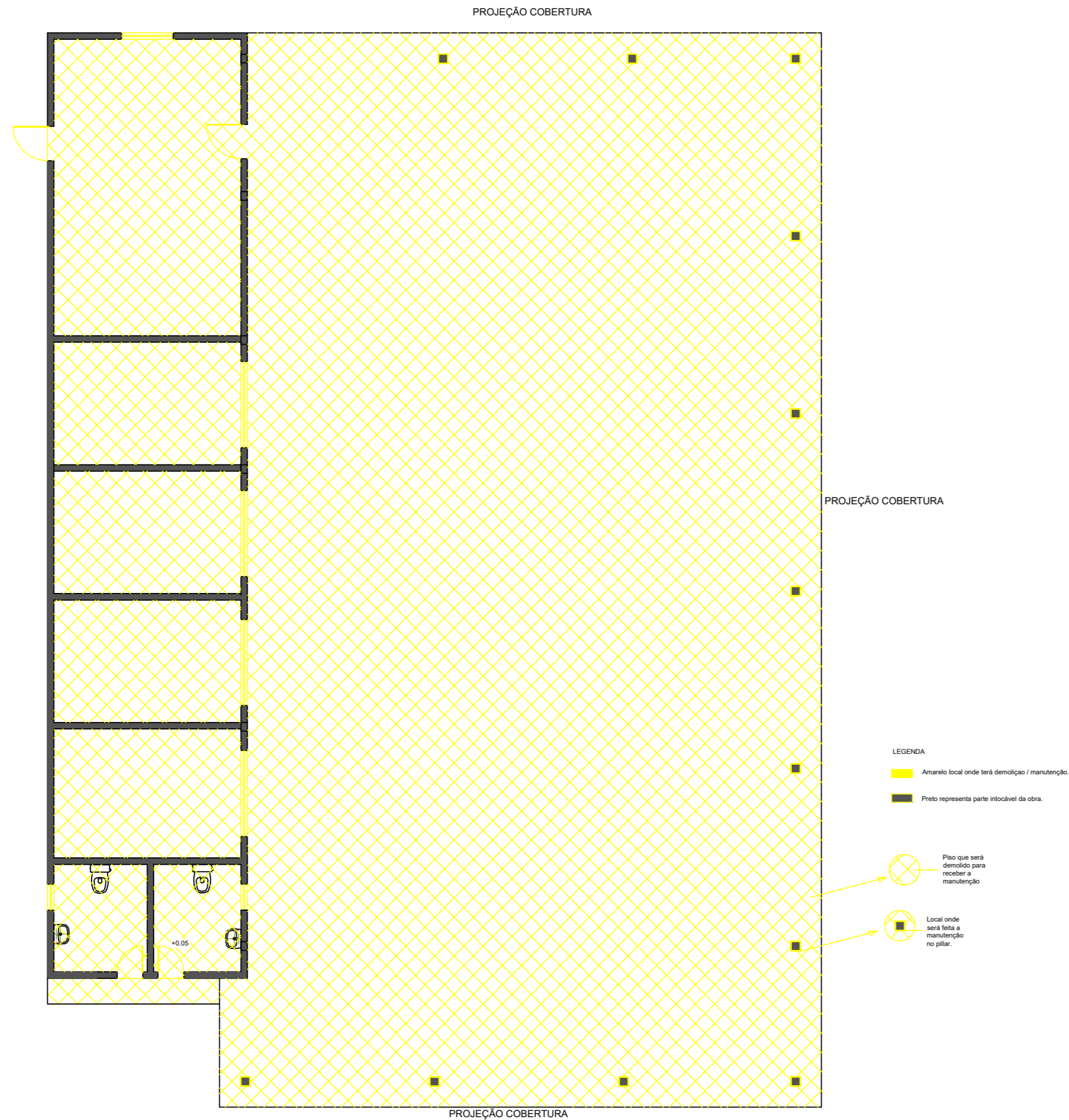
## ESTRUTURA METÁLICA

AUTOR DO PROJETO  
 Marcos Túlio de Castro Serrano Morais  
 CREA: 1018613480D/GO

Documento assinado digitalmente  
 MARCOS TULLIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
 Data: 14/09/2025 17:08:35-0300  
 Verifique em <https://validar.jrj.gov.br>

OBRA - PROPRIETÁRIO COBERTURA - PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS	FASE EX
ENDEREÇO FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS	FOLHA 002
ASSUNTO VISTA 3D	

MANUTENÇÃO	
ELETRICA	MANTER APENAS OS ELETRODUTOS
ESQUADRIAS	TROCAR TODAS AS ESQUADRIAS
HIDRAULICA	DEMOLIR E RECONSTRUIR TODA PARTE HIDRAULICA
PISO	DEMOLIR E RECONSTRUIR TODO PISO
PILARES	REALIZAR RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL
COBERTURA	REALIZAR SUBSTITUIÇÃO DAS TERÇAS



1 PLANTA BAIXA FEIRA LIVRE  
ESCALA 1:100


### PLANTA DE DEMOLIÇÃO/CONSTRUÇÃO

Endereço: FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Proprietário: PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Autor do projeto: MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Responsável Técnico: MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Documento assinado digitalmente  
 MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
 Data: 16/09/2025 17:16:54-0300  
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

REFORMA FEIRA LIVRE CONTEÚDO: PLANTA DEMOLIÇÃO	ÁREA DO TOTAL 420M2	ESCALA: 1:100	FOLHA: <b>2/2</b>
		DATA: 16/09/2025	
		DESENHO: MARCOSTULIO	



**ASSUNTO:** MEMORIAL DESCRITIVO REFORMA FEIRA LIVRE

**OBRA:** FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

**COORDENADAS:** 13°17'31"S 46°23'47"W

**ENDEREÇO:** FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS  
PRAÇA SÃO JOÃO BATISTA

**PROPRIETÁRIO:** MUNICIPIO DE DIVINÓPOLIS DE  
GOIÁS CNPJ 01.067.206/0001-00

**DATA:** 27/06/2025

**TEXTO:** MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO  
MORAIS



## INDICE

Sumário

### MEMORIAL DESCRITIVO

1.INTRODUÇÃO	1
2. LOCALIZAÇÃO DA OBRA	1
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL	2
4.MATERIAIS UTILIZADOS	2
5.EXECUÇÃO DE SERVIÇOS	2
5.1 SEVIÇOS PRELIMINARES	2
5.2 DEMOLIÇÕES	3
5.3 RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL	3
5.4 COBERTURA	3
5.5 INSTALAÇÃO ELETRICA	4
5.6 ISTALAÇÃO HIDRAULICA	5
5.7 PINTURA	5
5.8 ESQUADRIAS	6

## MEMORIAL DESCRITIVO

### 1. INTRODUÇÃO

O presente objeto destina-se a orientação para execução de reforma da feira livre em Divinópolis de Goiás. Tal reforma é de vital importância para o perfeito uso do espaço pelos feirantes para a comercialização local para a população.

### 2. LOCALIZAÇÃO DA OBRA





### **3. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO- DESCRIÇÃO GERAL**

O memorial descritivo, como parte integrante de um projeto executivo, tem a finalidade de caracterizar criteriosamente todos os materiais e componentes envolvidos, bem como toda a sistemática construtiva utilizada. Tal documento relata e define integralmente o projeto executivo e suas particularidades. Consta no presente memorial a descrição das etapas a serem executadas assim como os materiais a serem utilizados.

Todos os serviços deverão ser executados empregando-se materiais de 1º qualidade, mão de obra especializada e ferramentas e equipamentos apropriados, sendo submetidos à FISCALIZAÇÃO para análise e aprovação, inclusive rejeitando serviços em desacordo com o projeto, obrigando-se a CONSTRUTORA/CONTRADA a retirar da obra os materiais impugnados, ficando por conta da CONSTRUTORA/CONTRADA os custos de demolição e reconstrução que forem determinadas.

A CONSTRUTORA/CONTRATADA, nos termos da legislação vigente, assume integral responsabilidade técnica e civil sobre todos os materiais e serviços adotados na execução da obra, bem como medidas de segurança segundo as “Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho” pertinentes, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego. Todos os Equipamentos de Proteção Individual – EPI e Equipamentos de Proteção Coletivas – EPC, serão de uso obrigatório para todos os funcionários. A obra obedecerá à boa técnica, atendendo às recomendações da ABNT, as exigências do código de obras do município e das concessionárias de serviços públicos locais.

### **4. MATERIAIS UTILIZADOS**

Os materiais utilizados possuem grande relevância para a qualidade do serviço executado, tendo uma qualidade e durabilidade maior quando estão de acordo com as normas técnicas. Para a execução da pintura deve-se utilizar massa corrida e tintas de acordo com o padrão utilizado na unidade, tendo a marca a ser utilizada a coral ou similar para execução do serviço, os materiais devem seguir as normas de qualidade. A execução de recuperação estrutural deve seguir a norma NBR 6118 seguindo todos os parâmetros para a devida recuperação, utilizando a pintura anticorrosiva e logo após utilização de grante para a devida recuperação. O telhado deve seguir os padrões normativos para emprego de estrutura metálica e utilização de telha de fibrocimento.

### **5. EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS**

#### **5.1 – SERVIÇOS PRELIMINARES**

Deverá fornecer e instalar 1 (uma) placa de obra, nas dimensões de 2,00 x 1,20 m, conforme o modelo fornecido pela fiscalização, confeccionada com material



resistente às intempéries, contendo informações relativas à obra e cores padrão Prefeitura Municipal. Deverá ainda instalar as placas da obra, de identificação da empresa e demais placas exigidas pela legislação corrente no canteiro de obras e em local de boa visibilidade, bem como toda sinalização necessária para total segurança na execução da obra.

A placa deverá ser instalada em local de fácil visibilidade. O fornecimento, serviços de instalação e manutenção durante a execução da obra serão atribuídos ao construtor. Será afixada uma placa para todo o projeto.

## **5.2 – EXECUÇÃO DE DEMOLIÇÕES**

Para a execução das demolições deve-se utilizar as ferramentas necessárias assim como os profissionais devem utilizar os equipamentos de proteção coletiva e individual. Na demolição do telhado deve-se realizar a demolição e limpeza do local com descarte em local adequado. Nas fissuras realizar a abertura e tratamento de fissuras nas paredes. Deve-se utilizar martelo para demolição do piso e realizar a devida retirada de entulho. Nos banheiros realizar a demolição hidráulica e elétrica assim como a demolição do piso e revestimento existente. As portas metálicas que dão acesso as salas devem ser demolidas e descartada em local adequado.

## **5.3– RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL**

A referida edificação apresenta patologias, entre elas: deslocamento de reboco das alvenarias, deslocamento dos revestimentos cerâmicos e oxidação de pilares, ocasionando o descobrimento das armaduras dos elementos estruturais. Primeiro será realizado o escoramento das vigas em toda a área que deverá ser recuperada; Em seguida, será realizada a escarificação dos pilares , com martelo pneumático, retirando a nata de reboco degradada. Este procedimento deve ser realizado com muito cuidado para que não venha a danificar ainda mais a estrutura do pilar. Preparo e limpeza das armaduras: Realizar a limpeza completa da armadura exposta com lavadora de alta pressão, e raspar com espátula para remoção de todas as partes soltas ou mal aderidas , logo após aplicar protetor de armadura em toda a superfície de barra de aço exposta. Necessário observar a recomendação do fabricante quanto ao rendimento e tempo de cura e método de aplicação;

A Montagem das caixarias: Para a execução das fôrmas serão utilizados compensados resinados com reaproveitamento, observando os cuidados de armazenagem, transporte, corte e desmoldagem dos mesmos. As formas deverão apresentar perfeita estanqueidade a fim de impossibilitar o desperdício de material; As dimensões das formas deverão seguir rigorosamente as dimensões dos pilares originais. Será utilizado para a recuperação o Sika Groute 250 , logo após a cura deve-se realizar a desforma do material. O pilar depois de ser recuperado deve ser realizado chapisco e posterior requadro para receber pintura.



## 5.4– COBERTURA

A cobertura deve ser em estrutura metálica seguindo projeto estrutural para cobertura, realizando a devida recuperação estrutural nas tesouras de apoio e realizar a demolição e substituição das terças metálicas conforme projeto de cobertura, realizar a fixação de telhas de fibrocimento de 6 mm, tendo como vão máximo 1,5 metros. Os perfis que não puderem ser reutilizados nas tesouras devem ser demolidos e descartados, os que estiverem em bom estado devem ser demolidos, lixados e pintados e posteriormente realizado uma nova solda para sua devida fixação. As telhas de fibrocimento devem ser fixadas com parafusos metálicos. A cumeeira deve ser no mesmo material da telha sendo de fibrocimento e deve seguir as normativas e queda do telhado para a perfeita cobertura do local.

## 5.5 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A instalação elétrica existente deve ser totalmente demolida e o entulho elétrico deve ser descartado em local adequado. A instalação deve obedecer projeto elétrico apresentado, utilizando todos os parâmetros normativos para sua perfeita execução. Para execução deve-se seguir as devidas normas:

- IEC - International Electrical Commission;
- NBR-5037 - Fitas adesivas sensíveis à pressão para fins de isolamento elétrico;
- NBR-5111 - Fios de cobre nu de seção circular para fins elétricos;
- NBR-5281 - Condutores elétricos isolados e composto termoplástico polivinílico (PVC) até 600V e 69°C; - NBR-5361- Disjuntores de Baixa Tensão;
- - NBR-5283 - Disjuntores em caixas moldadas;
- - NBR-5288 Determinação das características isoladas composto termoplástico; - NBR-5290 Disjuntores em caixas moldadas;
- - NBR-5354 Requisitos gerais para material de instalações elétricas prediais;
- - NBR-5361 Disjuntores secos de baixa tensão
- - NBR-5368 Disjuntores secos de baixa tensão;
- - NBR-5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- - NBR-5414 Execução de instalações elétricas de baixa tensão;
- - NBR-5413 Iluminamento de Interiores e Exteriores;
- - NBR-5419 Sistemas de Aterramento;
- - NBR-5444 Símbolos Gráficos para Instalações Elétricas Prediais;
- - NBR-5470 Instalação de baixa tensão – terminologia;
- - NBR-5473 Instalação Elétrica Predial;
- - NBR-6120 Eletrodutos de PVC rígido;
- - NBR-6147 Plugues e Tomadas para Uso Doméstico;



- - NBR-6148 Condutores Elétricos com Isolação Sólida Extrusada de Cloreto de Polivinila (PVC) para Tensões até 750 Volts sem Cobertura;
  - - NBR-6150 Eletrodutos de PVC Rígido;
  - - NBR-6244 Fios e Cabos Elétricos - Ensaio de Resistência à Chama;
  - - NBR-6264 Plugues e Tomadas de Uso Doméstico - Funcionamento dos Contato Terra;
  - - NBR-6265 Plugues e Tomadas de Uso Doméstico - Movimento de Conexão e Desconexão – Durabilidade;
  - - NBR-6527 Interruptores de Uso Doméstico;
  - - NBR-6791 Porta Fusíveis - Rolha e Cartucho;
  - - NBR-6808 Quadros Gerais de Baixa Tensão;
- Devem ser instaladas luminarias e tomadas de acordo com projeto elétrico

## 5.6 INSTALAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROSSANITARIA

A instalação hidráulica e hidrossanitaria existente deve ser toda demolida e realizar o descarte do entulho hidráulico em local adequado. Os ramais de descargas serão em PVC nas seguintes bitolas: o Bacias Sanitárias: Ø100 mm, o Lavatórios: Ø 40 mm, Pias: Ø 50 mm, o Ralos : Ø 40 mm, Caixas sifonadas: Ø 50 mm e Ø 75 mm e Caixas de gorduras: Ø 100 mm. A tubulação de água fria deve ter saída com 50 mm e as ramificações com 25 mm, obedecendo o projeto hidráulico. O dimensionamento foi feito de acordo com os critérios fixados pela NBR-8160, baseados num fator probabilístico numérico que representa a frequência habitual de utilização, associada a vazão típica de cada uma das diferentes peças em funcionamento simultâneo na hora de contribuição máxima no hidrograma diário, conhecido como "unidade de descarga" (UHC - Unidade Hunter de Contribuição). O dimensionamento desenvolveu-se de forma que os diâmetros não sejam descendentes no sentido do escoamento, adotando-se 100 mm como diâmetro mínimo nos trechos que receberão lançamentos provenientes de vasos sanitários. Os vasos, torneiras e demais instalações hidráulicas devem ser instaladas de acordo com projeto hidráulico.

## 5.7 PINTURA

Todas as superfícies a serem pintadas deverão ser previamente lixadas e limpas. As superfícies somente serão pintadas, quando estiverem perfeitamente secas e livres de impurezas. As tintas a serem utilizadas no externo da feira serão conforme especificações de cada elemento a ser pintado e nas cores determinadas pela prefeitura sendo a cor salmão e a cor branca predominante nas paredes, nas portas metálicas utilizar esmalte sintético branco gelo fosco, nas paredes internas realizar emassamento, lixamento e pintura com tinta acrílica branco gelo fosca. Outros materiais necessários para a execução do serviço como pincéis, rolos, fitas, equipamentos para acesso aos beirais e partes altas da edificação, equipamentos e



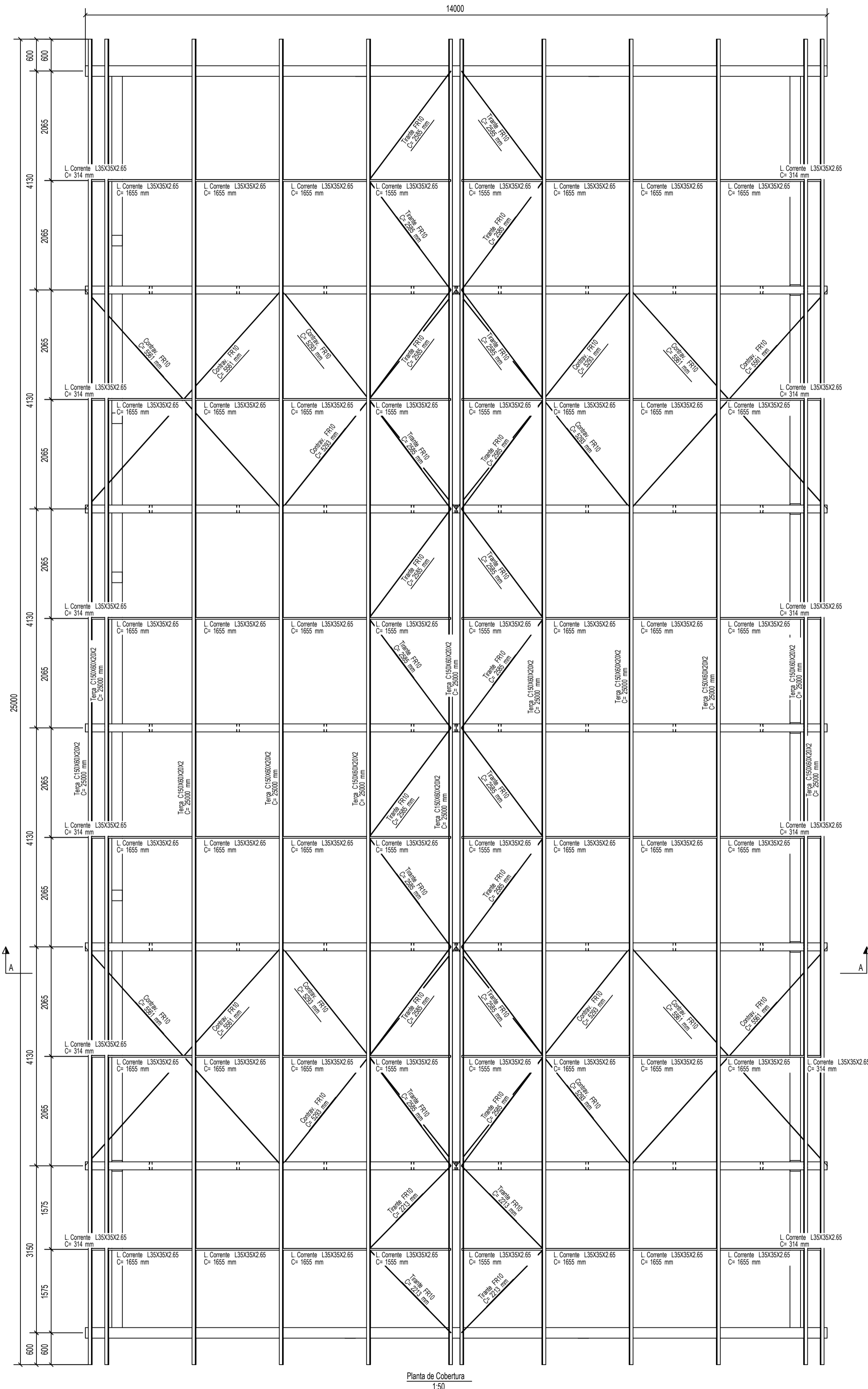
produtos de limpeza, deverão obedecer normativas de qualidade. Serão pintadas na área externa: Paredes externas da feira, Os pilares, acabamento entorno das janelas, faixas e vigas. Serão pintadas na área interna: paredes internas. Deverá ser pintado o letreiro escrito FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS e juntamente a logomarca da administração que deve ser fornecida pela contratante.

## 5.8 ESQUADRIAS

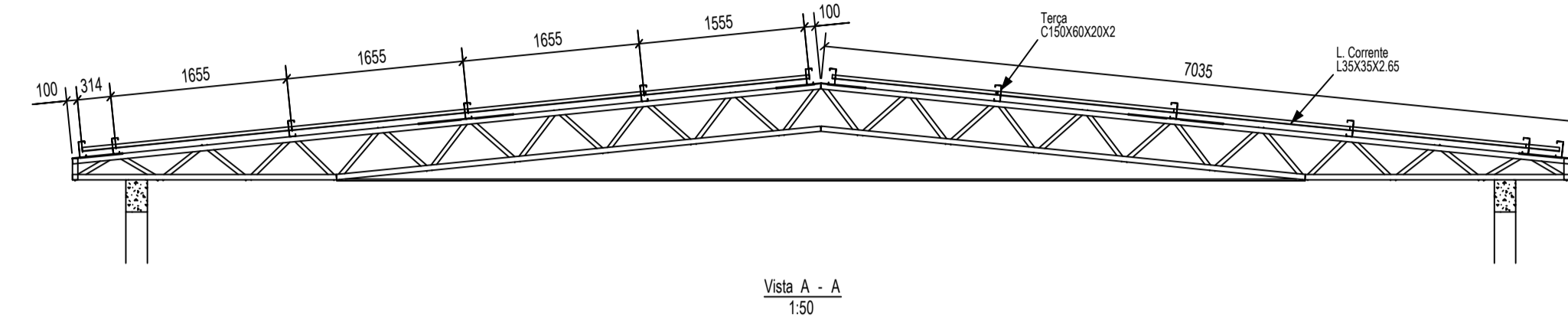
Deverá ser realizada a demolição das esquadrias existentes e realizar descarte em local adequado . As portas de enrolar devem ser substituídas por novas portas de enrolar e as portas dos banheiros por novas portas venezianas. As janelas devem ser substituídas por novas janelas metálicas.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
Data: 16/09/2025 17:13:54-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Eng.Civil Marcos Túlio de Castro Serrano Morais  
CREA 1018613480D/GO



Planta de Cobertura  
1:50



Vista A - A  
1:50

CARREGAMENTOS ADOTADOS:  
 -Carga permanente Telha = 0,24kN/m²  
 -Sobrecarga de utilização Cobertura (NBR 6120-2017) = 0,25kN/m²  
 -Carga de Vento (NBR 6123-2024) = 0,60kN/m²

COBERTURA METÁLICA				
PERFIS - COBERTURA - EX - R00				
PERFIL	AÇO	COMPRIMENTO (m)	MASSA UNITÁRIA (kg/m)	MASSA TOTAL (kg)
L35X35X2,65	A36	82,02	1,40	114,91
FR10	SAE 1020	147,39	0,56	81,81
C150X60X20X2	A36	300,00	4,66	1398,00
			<b>TOTAL PERFIS (kg)</b>	<b>1594,73</b>
			<b>ÁREA PINTURA (m²)</b>	<b>198,44</b>

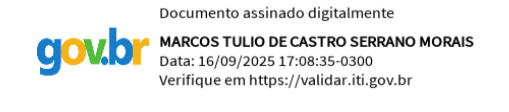
REVISÃO	MODIFICAÇÃO	DATA
R00	EMISSÃO INICIAL	11/09/2025

- Obs:
- 1- Medidas em mm exceto onde indicado.
  - 2- Soldas conforme AWS D1.1 e NBR 8800/08.
  - 3- Eletrodos: E70, compatíveis com metal base.
  - 4- A fabricação deverá certificar a qualidade da solda, empenamento, bitola dos perfis e qualidade de toda a matéria prima.
  - 5- A fabricação e a montagem deverão estar de acordo com as normas técnicas em vigor (ver memorial descritivo).
  - 6- As cargas foram obtidas de acordo com a NBR 6120/17 e NBR 6123/23
  - 7- Normas e especificações técnicas:  
NBR 8800/24
  - 8- Materiais:  
Chapas e Perfis dobrados A36 (fy=250MPa)  
Barras redondas SAE-1020 (fy=250MPa)  
Chapa COR 420 (fy=300MPa)



## ESTRUTURA METÁLICA

AUTOR DO PROJETO  
 Marcos Túlio de Castro Serrano Moraes  
 CREA: 1018613480D/GO



ENDEREÇO	FASE
FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS	EX
PLANTA DE COBERTURA (TERÇAS E ACESSÓRIOS)	FOLHA

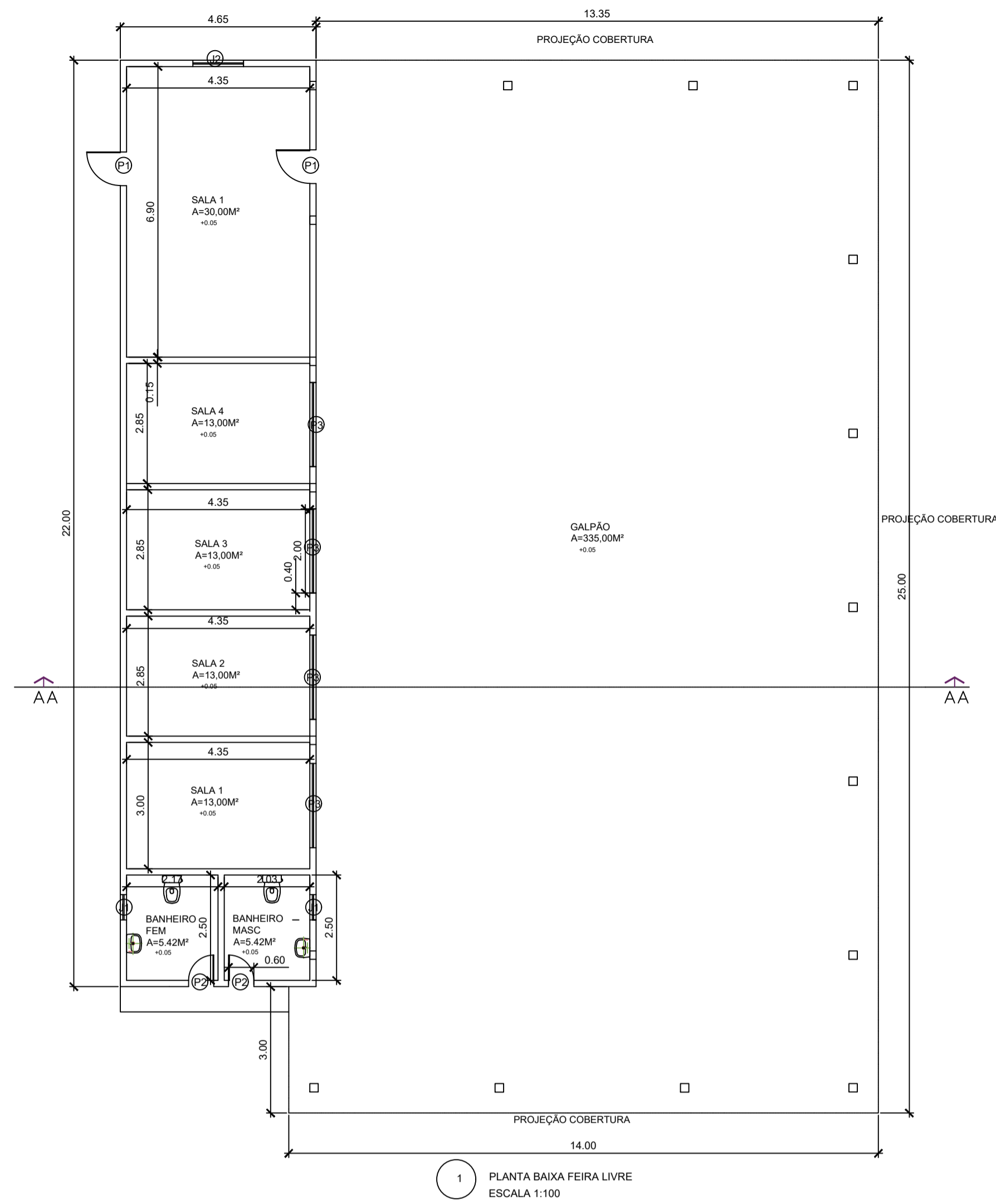
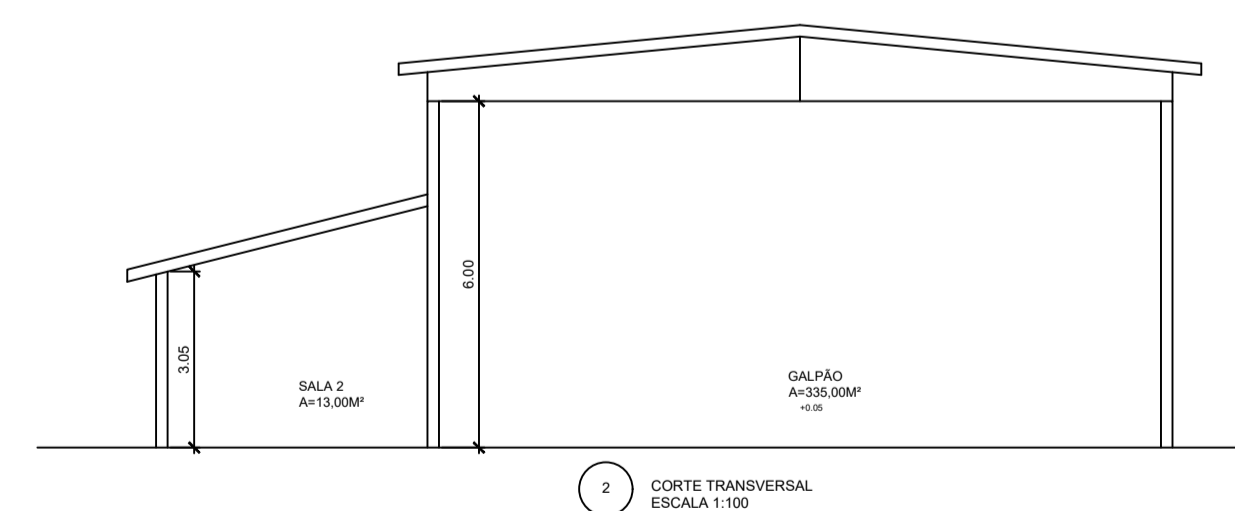
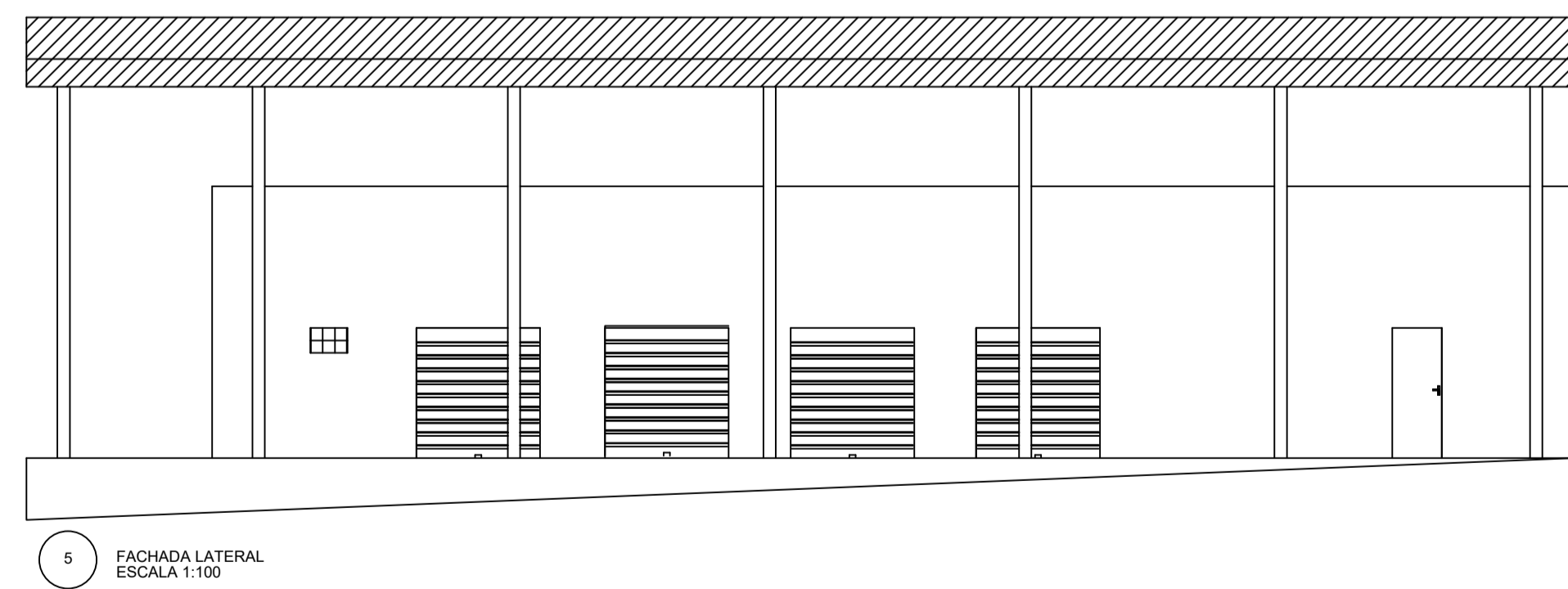
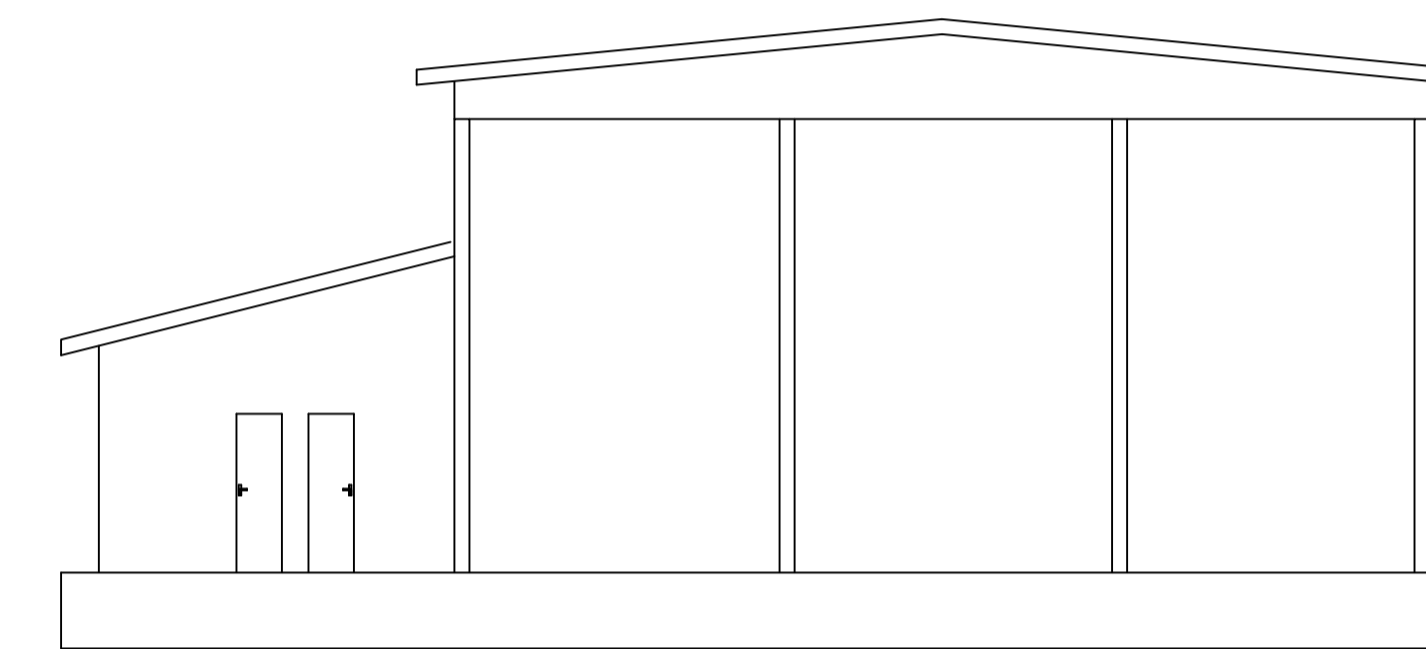


TABELA DE ESQUADRIAS				
CODIGO	DIMENSÕES (m)	ÁREA (m²)	QUANT	MATERIAL / TIPO
P1	0,60 X 2,10	1,26	2	ALUMÍNIO / ABRIÇ
P2	0,60 X 2,10	1,26	2	ALUMÍNIO / ABRIÇ
P3	2,00 X 2,10	4,20	4	AÇO / ENROLAR
J1	0,60 X 0,40	0,24	2	ALUMÍNIO / BASCULANTE
J2	1,20 X 1,00	1,20	1	ALUMÍNIO / CORRER



## PROJETO ARQUITETONICO

Endereço:  
FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Proprietário:  
PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Autor do projeto:  
MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Responsável Técnico:  
MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Documento assinado digitalmente  
**MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS**  
 Data: 16/09/2025 17:13:54 -0300  
 Verifique em <https://validar.br>

REFORMA FEIRA LIVRE CONTEUDO:  PLANTA BAIXA LEGENDA CORTE	ÁREA DO TOTAL 420M2	ESCALA: 1:100	FOLHA:  1/2
		DATA: JULHO/2025	
		DESENHO: MARCOSTULIO	

# MEMORIAL DE CALCULO ORÇAMENTO

## INTRODUÇÃO

### CONDISERAÇÕES INICIAIS

O presente memorial tem como objetivo demonstrar as quantidades utilizadas no orçamento, especificando os cálculos e decisões tomadas no processo de orçamentação. Valores não encontrados na tabela de referencia (goinfra/2025) foram incorporados através de composições complementares, sendo um orçamento onerado e outro desonerado.

## 1-SERVIÇOS PRELIMINARES:

### PLACA DE OBRA:

$$2,00 \times 1,20 = 2,40M^2$$

### ALMOXARIFADO COM BANHEIRO:

Previsão de execução de almoxarifado com banheiro dimensões 6,0 x 3,0m;

### TAPUME EM CHAPA METALICA:

$$(20+25)*1=500 M^2$$

### DEMOLIÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO:

$$((2,17+2,03)*2)*3+(2,5*4)*3=55,20 M^2$$

### REMOÇÃO DE TELHAS:

CONFORME PROJETO ARQUITETONICO 420,00 M<sup>2</sup>

### DEMOLIÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS ANTIGOS:

CABO FLEXIVEL 16 MM  $(10+8)*3=54 M$

CABO FLEXIVEL 2,5 MM  $(15*5+20+15+10)*3=360 M$

CABO FLEXIVEL 1,5 MM  $(5*3)*2+(5*3*4)=90 M$

### DEMOLIÇÃO DE LOUÇAS E METAIS:

BACIA SANITARIA= 2 UNIDADES

PIAS= 2 UNIDADES

### DEMOLIÇÃO DE PORTAS E JANELAS:

2 PORTAS METALICAS 70X210

4 PORTAS METALICAS 200X210

1 JANELA 150X100

2 JANELAS 60X40

### DEMOLIÇÃO TUBULAÇÃO:

BACIA SANITARIA= 2 UNIDADES

PIAS= 2 UNIDADES

## 2-PISO

### CONTRAPISO DESEMPENADO:

$$(6,90*1,35)+(2,85*4,35)*4+(2,17*2,5+2,03*2,5) = 69,40M^2$$

### PISO INDUSTRIAL:

CONFORME PROJETO ARQUITETONICO = 335,00M<sup>2</sup>

### REVESTIMENTO CERÂMICO E PISO CERÂMICO BANHEIROS:

$$((2,17+2,03)*2)*3+(2,5*4)*3=55,20 M^2$$

$$(2,17*2,5)+(2,03*2,5)=6,23 M^2$$

### 3-RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

#### GRAUTE

$$P1-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P2-(0,2*0,4^2,2)=0,18$$

$$P3-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P4-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P5-(0,2*0,4^2,55)=0,20$$

$$P6-(0,2*0,4^3,5)=0,28$$

$$P7-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P8-(0,2*0,4^3,8)=0,30$$

$$P9-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P10-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P11-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P12-(0,2*0,4^2)=0,16$$

TOTAL: 2,4 M<sup>3</sup>

#### LIMPEZA DA SUPERFICIE COM JATO DE ALTA PRESSÃO:

$$P1-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P2-(0,2*0,4^2,2)=0,18$$

$$P3-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P4-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P5-(0,2*0,4^2,55)=0,20$$

$$P6-(0,2*0,4^3,5)=0,28$$

$$P7-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P8-(0,2*0,4^3,8)=0,30$$

$$P9-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P10-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P11-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P12-(0,2*0,4^2)=0,16$$

TOTAL: 2,4 M<sup>2</sup>

#### CARGA E TRANSPORTE DE ENTULHO:

CONSIDERADA TRES CARGAS COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6M<sup>3</sup>

#### APICOAMENTO DE SUPERFICIE:

$$P1-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P2-(0,2*0,4^2,2)=0,18$$

$$P3-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P4-(0,2*0,4^2)=0,16$$

$$P5-(0,2*0,4^2,55)=0,20$$

$$P6-(0,2*0,4^3,5)=0,28$$

$$P7-(0,2*0,4^3)=0,24$$

$$P8-(0,2*0,4^3,8)=0,30$$

$$P9-(0,2*0,4^2)=0,16$$

P10-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P11-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P12-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
TOTAL: 2,4 M2

#### FORMAS:

P1-(0,2\*0,4\*2\*)=0,16  
P2-(0,2\*0,4\*2,2)=0,18  
P3-(0,2\*0,4\*3)=0,24  
P4-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P5-(0,2\*0,4\*2,55)=0,20  
P6-(0,2\*0,4\*3,5)=0,28  
P7-(0,2\*0,4\*3)=0,24  
P8-(0,2\*0,4\*3,8)=0,30  
P9-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P10-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P11-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
P12-(0,2\*0,4\*2)=0,16  
TOTAL: (2,4 M2\*4(QTD DE TABUAS))=9,6 M2

#### CHAPISCO E EMBOÇO:

12 PILARES 20X40X6 (0,2\*6\*2\*12+0,4\*6,2\*12)=86 M2  
VIGAS 45 M 20X30 ( 0,3\*45\*2+0,2\*45\*2)=45 M2  
TOTAL=131 M2

## 4-ESQUADRIAS

#### PORTAS E JANELAS:

4 PORTAS DE ENROLAS 200X210=16,8 M2  
2 PORTAS VENEZIANAS METALICA 70X210=2,94 M2  
2 JANELAS VENEZIANA 60X40  
1 JANELA VENEZIANA 150X100

## 5- COBERTURA

#### TELHA DE FIBROCIMENTO E CUMEEIRA:

DE ACORDO COM PROJETO ARQUITETONICO 420 M2 DE COBERTURA E 25 METROS DE CUMEEIRA

TRAMA DE AÇO:

CONFORME MEMORIA DE CALCULO ANEXADO DE CALCULO ESTRUTURAL DO TELHADO, VERIFICAR CALCULOS NO MEMORIAL APRESENTADO

## 6- INSTALAÇÃO ELETRICA

DE ACORDO COM PROJETO ELETRICO APRESENTADO:

TOMADAS: 30 UNIDADES

LUMINARIAS LED= 18 UNIDADES

DISJUNTOR BIPOLAR 40A=1 UNIDADE

DISJUNTOR BIPOLAR 20A= 3 UNIDADE

QGBT 12 UNIDADES = 1 UNIDADE

CABOS: CABO FLEXIVEL 16 MM  $(10+8)*3=54$  M

CABO FLEXIVEL 2,5 MM  $(15*5+20+15+10)*3+=360$  M

CABO FLEXIVEL 2,5 MM LAMPADA  $(5*3)*2+(5*3*4)=90$

M

## 7- INSTALAÇÃO HIDRÁULICA

DE ACORDO COM PROJETO HIDRAULICO APRESENTADO:

LOUÇAS:

BACIA SANITARIA= 2 UNIDADES

PIAS= 2 UNIDADES

TUBO 100 MM 9 UNIDADES  $(9*6)=48$  M

TUBO 40 MM 4 UNIDADES  $(6*4)=24$  M

CURVA 90 GRAUS 40 MM= 4 UNIDADES

CURVA 90 GRAUS 100 MM= 6 UNIDADES

TUBO 25 MM AGUA FRIA 12 UND=72 M

JOELHO 25 MM AGUA FRIA 10 UND

TANQUE DE MAMORE 1 UNIDADE

## 8- PINTURA

APLICAÇÃO TINTA ACRILICA:

$(25*3*2)+(4,35*3*2)+(4,35*4*2)+(3*3*2)+(2,85*3*3*2)+(6,9*3*2)=321,6$  M2

PINTURA ESMALTE SINTETICO:

$198,44(\text{OLHAR MEMORIA DE CALCULO ESTRUTURA})+(4*2*2,1)+(2*0,6*2,1)+(1,5*1)=219,26$

## 9-ADMINISTRAÇÃO LOCAL


### CONSIDERAÇÕES:

Prazo de execução: 2 meses;

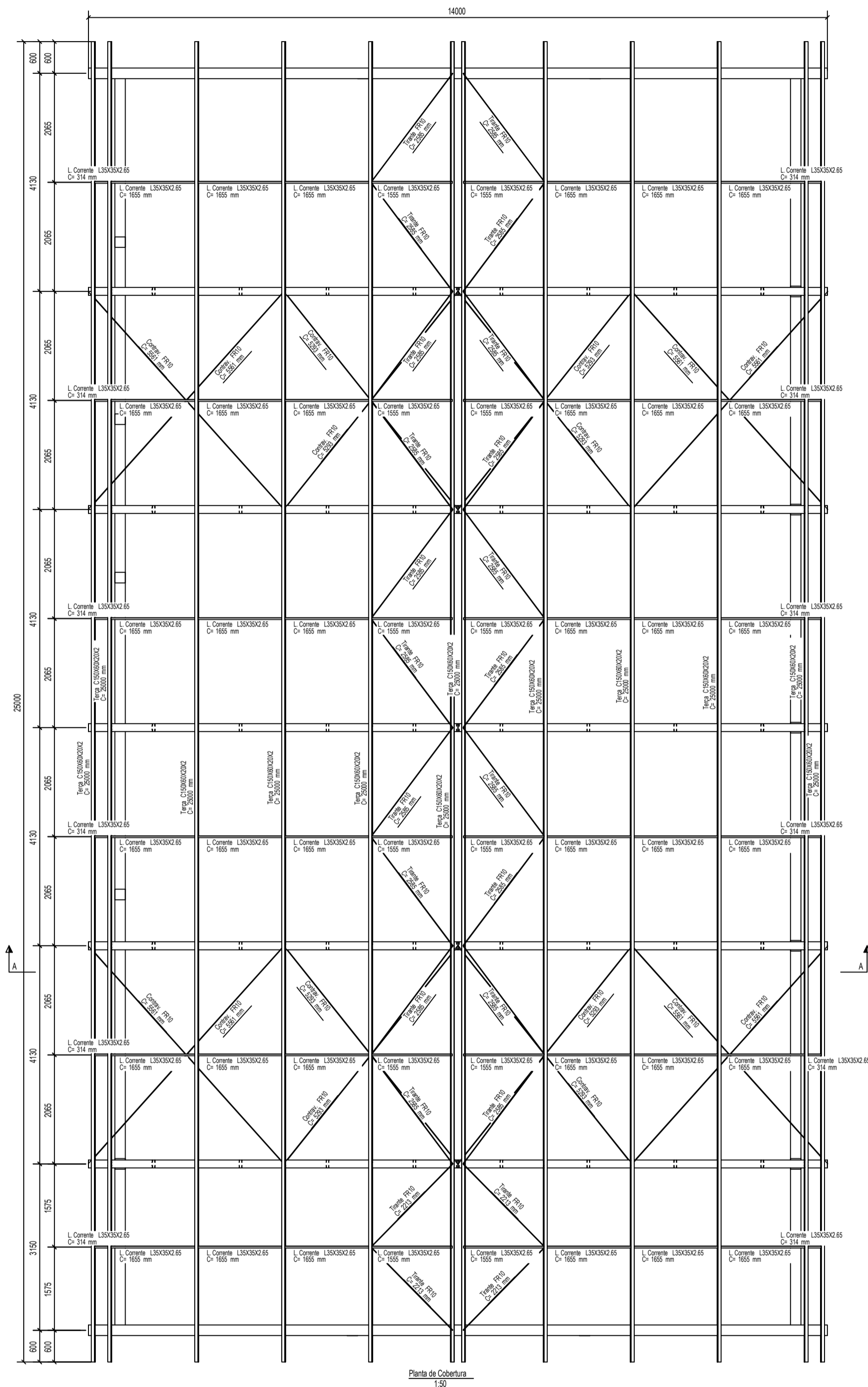
### ENGENHEIRO

Pela complexidade da obra, foi prevista presença de engenheiro residente e pelo menos duas horas por dia

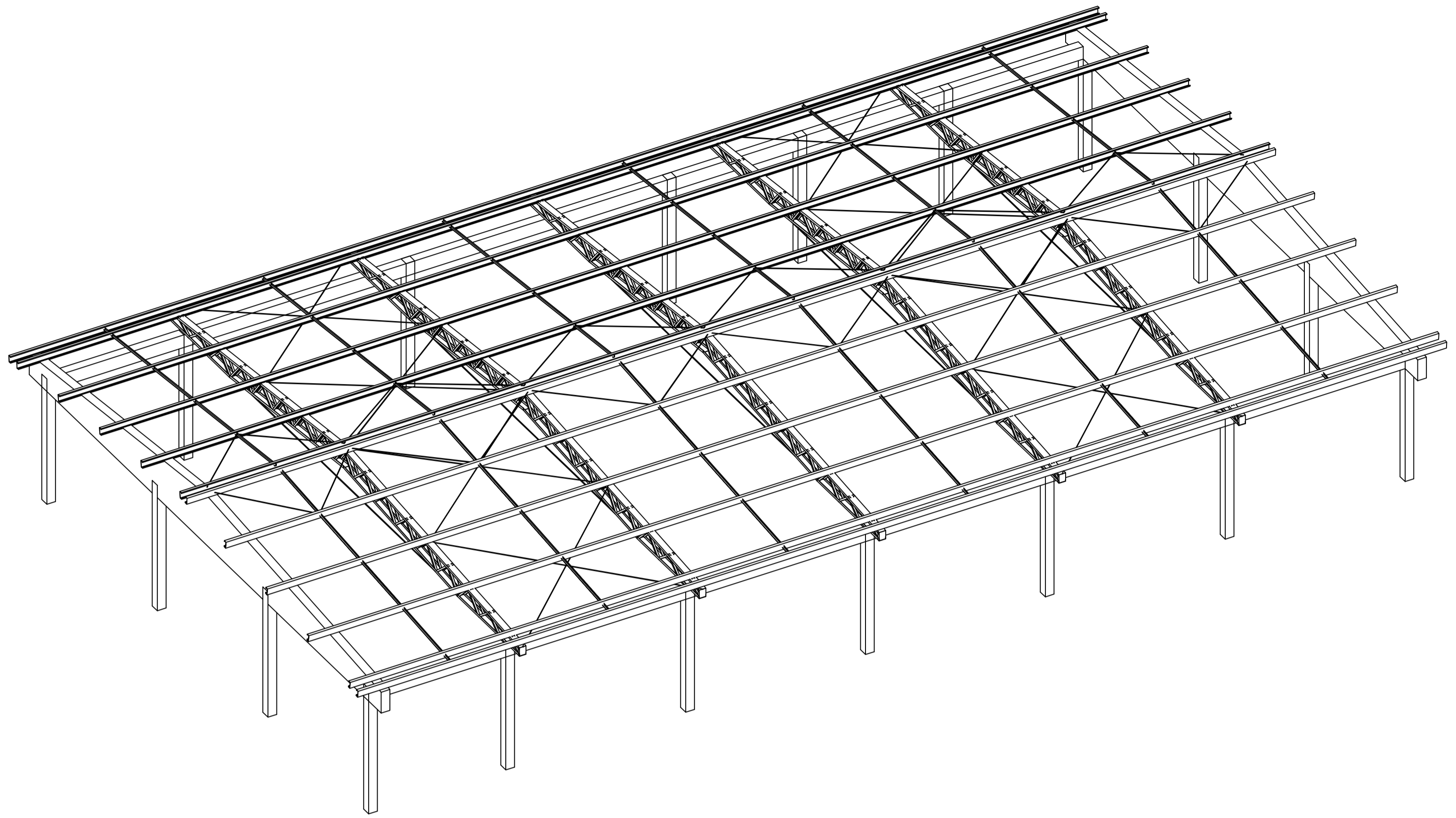
2 MESES \* 22 DIAS NO MÊS \* 2 HORAS POR DIA = 88 HORAS;

Documento assinado digitalmente  
 **MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS**  
Data: 16/09/2025 17:08:36-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

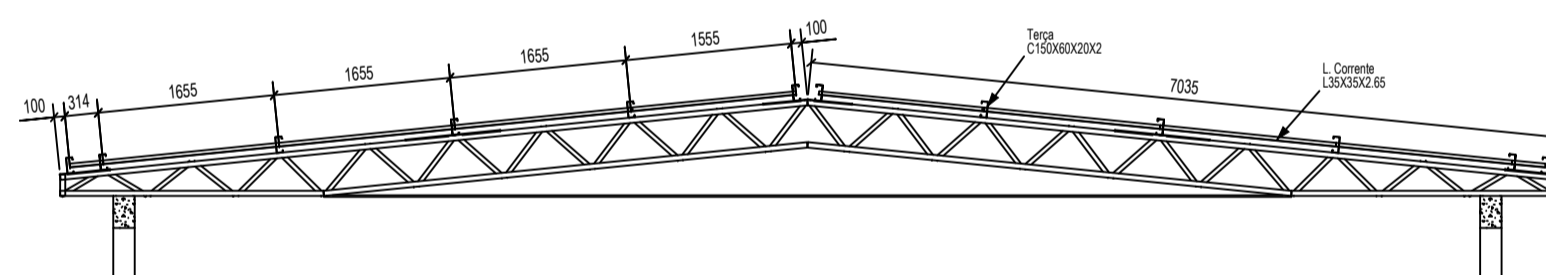
ENG.CIVIL MARCOS TÚLIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
CREA 1018613480D/GO



Planta de Cobertura  
1:50



Vista 3D  
1:50



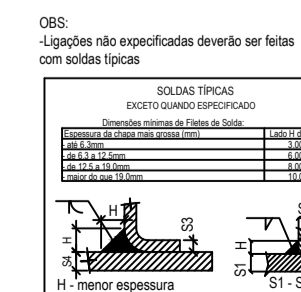
Vista A - A  
1:50

CARREGAMENTOS ADOTADOS:  
 -Carga permanente: Techa = 0,24kN/m²  
 -Sobrecarga de utilização: Cobertura (NBR 6120:2017) = 0,25kN/m²  
 -Carga de Vento (NBR 6123:2024) = 0,60kN/m²

COBERTURA METÁLICA				
PERFIS - COBERTURA - EX - R00				
PERFIL	AÇO	COMPRIMENTO (m)	MASSA UNITÁRIA (kg/m)	MASSA TOTAL (kg)
L35X35X2,65	A36	82,02	1,40	114,91
FE10	S45C 1020	1,27,39	0,56	81,21
C150X50X20X2	A36	300,00	4,66	1398,00
<b>TOTAL PERFIS (kg)</b>				<b>1594,73</b>
<b>ÁREA PINTURA (m²)</b>				<b>156,44</b>

REVISÃO	MODIFICAÇÃO	DATA
R00	EMIÇÃO INICIAL	11/09/2025

Obs:  
 1- Medidas em mm exceto onde indicado.  
 2- Solda conforme AWS D1.1 e NBR 8800/8.  
 3- Eletrodos: E70, compatíveis com metal base.  
 4- A ligação deverá conferir a qualidade da solda, empornamento, diâmetro dos perfis e qualidade de toda a massa prima.  
 5- A fabricação e montagem deverão estar de acordo com as normas técnicas em vigor (ver memorial descritivo).  
 6- As cargas foram obtidas de acordo com a NBR 6120/17 e NBR 6123/23.  
 7- Normas e especificações técnicas:  
 NBR 8800/24  
 8- Materiais:  
 Chapas e Perfis soldados A36 (fy=250MPa)  
 Barras soldadas S45C-1020 (fy=250MPa)  
 Chapa CCR 420 (fy=300MPa)



## ESTRUTURA METÁLICA

AUTOR DO PROJETO:  
 Marcos Túlio de Castro Serrano Moraes  
 CREA: 1018613480/DGO

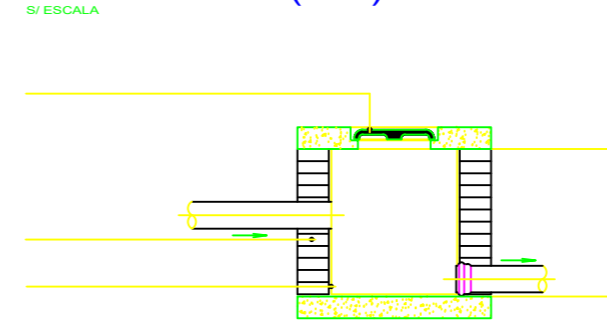
Documento assinado digitalmente  
 MARCOS TULLIO DE CASTRO SERRANO MORAES  
 Data: 16/09/2025 17:08:35 -0300  
 Verifique em: https://validar.digov.br

OBRA - PROPRIETÁRIO	PÁGE
COBERTURA - PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS	EX
ENDEREÇO	FOLHA
FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS	
ASSUNTO	
PLANTA DE COBERTURA (TERÇAS E ACESSÓRIOS)	001

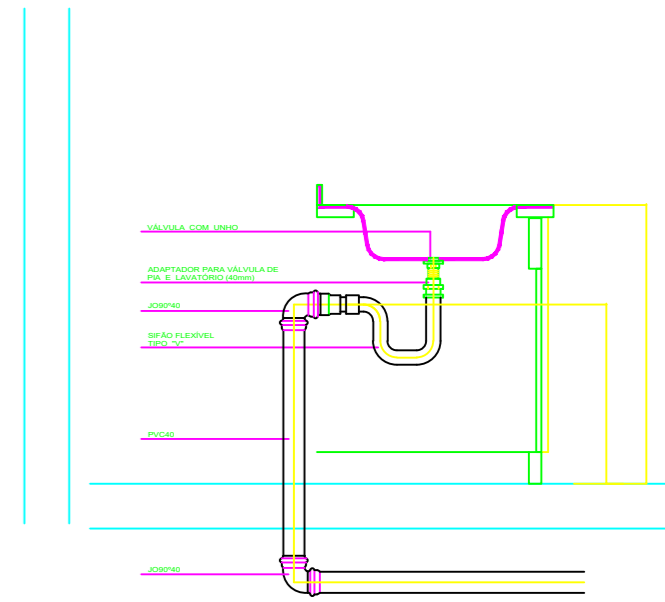


1 PLANTA BAIXA FEIRA LIVRE  
ESCALA 1:100

PLANTA CAIXA DE INSPEÇÃO  
DE ESGOTO (CIE)



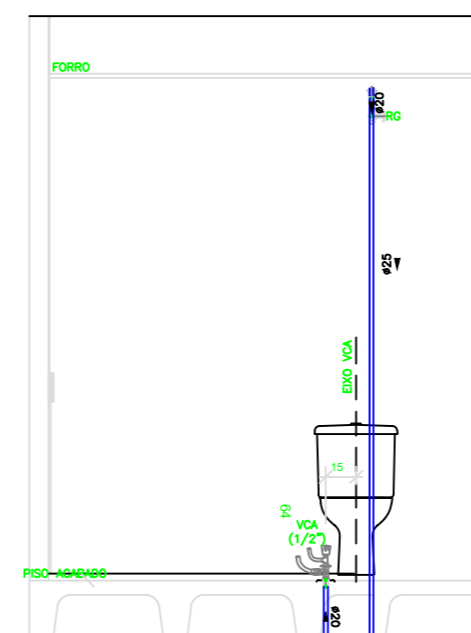
CORTE B-B  
ESCALA



PIA

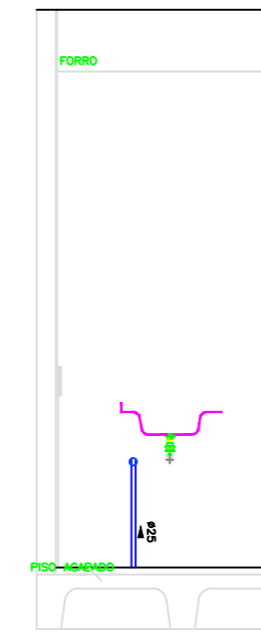
LEGENDA DOS PONTOS

	CAIXA SIFONADA Ø150mm SAÍDA Ø75mm COM GRELHA
	CAIXA SIFONADA Ø100mm SAÍDA Ø50mm COM GRELHA
	RALO SIFONADO Ø100mm SAÍDA Ø40mm COM GRELHA
	PONTO DE ESGOTO DO VASO SANITÁRIO
	CARENAGEM COM PONTO DE ESGOTO E ÁGUA
	INDICAÇÃO GERAL DE PONTO HIDRÁULICO
	DRENO DE LAJE GRELHA 15x15cm
	RALO SIFONADO Ø100mm SAÍDA Ø40mm (Águas Pluviais)
	CAPTAÇÃO NO FUNDO DA CALHA Ø150mm RALO TIPO "ABACAXI"
	DRENO PARA AR-CONDICIONADO
	ALÇAPÃO



VISTA 1

ESC.: 1/25



VISTA 2

ESC.: 1/25

PLANTA DE COBERTURA

Endereço:  
FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Proprietário:  
PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS

Autor do projeto:  
MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Responsável Técnico:  
MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Documento assinado digitalmente  
MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
Data: 16/09/2025 17:16:54-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

REFORMA FEIRA LIVRE  
CONTEUDO:

PLANTA BAIXA  
LEGENDA  
CORTE

ÁREA DO TOTAL  
420M2

ESCALA:  
1:100

DATA:  
JULHO/2025

DESENHO:  
MARCOSTULIO

FOLHA:

1/2

ITEM	TABELA	CODIGO	DESCRIÇÃO	UND	QTD	VALOR UND	TOTAL
<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>							
1.1	GOINFRA	21301	PLACA DE OBRA PLOTADA EM CHAPA METÁLICA 26 , AFIXADA EM CAVALETES DE MADEIRA DE LEI (VIGOTAS 6X12CM) - PADRÃO GOINFRA	M²	2,4	392,97	942,31
1.2	GOINFRA	20128	DEMOLIÇÃO MANUAL DE PILAR EM CONCRETO ARMADO COM TRANSPORTE ATE A CAÇAMBA E CARGA	M³	2,4	414.57	920,59
1.3	SINAPI	104790	DEMOLIÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	M²	55.2	23.68	1307.14
1.4	GOINFRA	20600	TAPUME EM CHAPA COMPENSADA RESINADA 6MM COM PORTÕES E FERRAGENS - PADRÃO GOINFRA	M²	90	79.66	7169.40
1.5	GOINFRA	20230	LOCAÇÃO DE CONTAINER SEM REVESTIMENTO INTERNO PARA ALMOXARIFADO / DEPÓSITO 6,00 X 2,40 M, INCLUSIVE MOBILIÁRIO (EXCLUSO MOBILIZAÇÃO / DESMOBILIZAÇÃO)	Mês	2	1102.34	2204.68
1.6	GOINFRA	20102	DEMOLICAO MANUAL COBERTURA TELHA FIBROCIMENTO/FIBRA DE VIDRO/ SIMILARES C/ TRANSP. ATÉ CB. E CARGA	M²	420	4.60	1932.00
1.7	GOINFRA	20137	REMOÇÃO MANUAL DE BACIA SANITÁRIA COM TRANSPORTE ATÉ CAÇAMBA E CARGA	UNID	2	5.77	11.54
1.8	GOINFRA	20138	REMOÇÃO MANUAL DE LAVATÓRIO COM TRANSPORTE ATÉ CAÇAMBA E CARGA	UNID	2	7.69	15.38
1.9	GOINFRA	20106	PORTA - REMOÇÃO MANUAL DE JANELA OU PORTAL COM TRANSPORTE ATÉ CAÇAMBA E CARGA	M²	19.74	9.20	181.61
1.10	GOINFRA	20164	REMOÇÃO MANUAL DE TUBULAÇÃO (TUBO E CONEXÃO) COM TRANSPORTE ATÉ CAÇAMBA E CARGA (EXCLUSO RASGOS E ESCAVAÇÕES)	M	70	0.86	60.20
1.11	GOINFRA	20106	JANELA - REMOÇÃO MANUAL DE JANELA OU PORTAL COM TRANSPORTE ATÉ CAÇAMBA E CARGA	M²	1.98	9.20	18.22
<b>PISO</b>							
2.1	GOINFRA	220058	PISO LAMINADO COM CONCRETO USINADO 20MPA E=7 CM	M²	69.40	60.36	4188.98
2.2	SINAPI	103914	PISO INDUSTRIAL DE CONCRETO ARMADO, FCK = 20 mpa,ESPESSURA DE 14 CM	M²	355	156.83	55674.65
2.3	GOINFRA	220311	CERÂMICA ANTIDERRAPANTE PEI MAIOR OU IGUAL A 4 COM CONTRA PISO (1CI: 3ARML) E ARGAMASSA COLANTE	M²	61.43	92.16	5661.39
<b>RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL</b>							
3.1	SINAPI	90279	GRAUTE	M³	2.4	586.17	1406.81
3.2	GOINFRA	60202	FORMA TABUA COM REAPROVEITAMENTO 2 VEZES - (OBRAS CIVIS)	M²	9.6	139.13	1335.65
3.3	GOINFRA	67014	LIMPEZA DE ARMADURA OU CHAPA METÁLICA COM FURADEIRA E BROCA	M²	2.4	37.30	89.52
3.5	GOINFRA	200101	CHAPISCO COMUM	M²	131	6.77	886.87
3.6	GOINFRA	200403	REBOCO (1 CALH:4 ARFC+100kgCI/M3)	M²	131	22.02	2884.62
<b>ESQUADRIAS</b>							
4.1	GOINFRA	180124	PORTA DE ABRIR EM ALUMINIO, 01 FOLHA VENEZIANA, ACABAMENTO EM PINTURA ELETROSTÁTICA BRANCA - INCLUSO FERRAGENS (M.O.FAB.INC.MAT.)	M²	2.94	653.25	1920.56

4.2	SINAPI	4943	PORTA DE ENROLAR MANUAL COMPLETA, PERFIL MEIA CANA VAZADA TIJOLINHO, EM ACO GALVANIZADO NATURAL, CHAPA NUMERO 24	M²	16.8	586.85	9859.08
<b>COBERTURA</b>							
5.1	GOINFRA	160501	COBERTURA COM TELHA ONDULADA DE FIBROCIMENTO	M²	420	46.14	19378.80
5.2	GOINFRA	160502	CUMEIRA PARA TELHA ONDULADA DE FIBROCIMENTO	M²	25	53.32	1333.00
5.3	SINAPI	92580	TRAMA DE AÇO COMPOSTA POR TERÇAS PARA TELHADOS DE ATÉ 2 ÁGUAS PARA TELHA ONDULADA DE FIBROCIMENTO, METÁLICA, PLÁSTICA OU TERMOACÚSTICA, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL. AF_07/2019	M²	420	46.25	19425.00
<b>INSTALAÇÃO ELÉTRICA</b>							
6.1	GOINFRA	70510	CABO FLEXÍVEL EPR/XLPE (90°C), 0,6/1 KV, 16 MM2	M	54	19.53	1054.62
6.2	GOINFRA	71820	PADRAO TRIFASICO 16 MM2 H=7 METROS	UND	1	2033.60	2033.60
6.3	GOINFRA	70563	CABO FLEXÍVEL, PVC (70° C), 450/750 V, 2,5 MM2	M	450	5.42	2439.00
6.5	GOINFRA	72170	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE EMBUTIR EM PVC CB 12E - 80A	UNID	1	171.06	171.06
6.6	GOINFRA	71171	DISJUNTOR MONOPOLAR DE 10 A 32-A	UND	3	26.85	80.55
6.7	GOINFRA	71174	DISJUNTOR TRIPOLAR 40 A 50A	UND	1	106.99	106.99
6.8	GOINFRA	71693	LUMINÁRIA LED QUADRADA DE SOBREPOR COM REFLETOR DE ALUMÍNIO COM ALETAS, DE 36W A 39W	UND	18	256.81	4622.58
6.9	GOINFRA	72570	TOMADA HEXAGONAL 2P + T - 10A - 250V (LINHA X OU EQUIVALENTE)	UND	30	24.96	748.80
<b>INSTALAÇÃO HIDRAULICA</b>							
7.1	GOINFRA	82304	TUBO SOLDAVEL PARA ESGOTO DIAMETRO 100 MM	M	48	42.34	2032.32
7.2	GOINFRA	82301	TUBO SOLDAVEL PARA ESGOTO DIAMETRO 40 MM	M	24	19.18	460.32
7.3	GOINFRA	81701	CURVA 45 GRAUS DIAMETRO 40 MM (ESGOTO)	UND	4	17.99	71.96
7.4	GOINFRA	81702	CURVA 45 GRAUS DIAMETRO 100 MM (ESGOTO)	UND	6	46.84	281.04
7.5	GOINFRA	81003	TUBO SOLDAVEL PVC MARROM DIAM. 25 MM	M	72	9.95	716.40
7.6	GOINFRA	81321	JOELHO 90 GRAUS SOLDAVEL DIAMETRO 25 MM	UND	10	10.19	101.90
7.7	GOINFRA	80801	TANQUE MARMORE/GRANITO SINTÉTICO C/UMA CUBA E 1 BATEDOR	UND	1	310.50	310.50
<b>PINTURA</b>							
8.1	GOINFRA	260909	PINTURA LATEX ACRILICA 3 DEMAOS C/SELADOR	M²	321.6	19.28	6200.45
8.2	GOINFRA	261503	INTURA ESMALTE 2 DEMÃOS PARA ESQUADRIAS DE FERRO (SEM FUNDO ANTICORROSIVO)	M²	219.26	21.60	4736.02
<b>ADMINISTRAÇÃO</b>							
9.1			ENGENHEIRO CIVIL	H	88	125.16	11014.08

DESCRIÇÃO	TOTAL
BDI	23.01%
ORÇAMENTO FINAL COM DESENOREÇÃO COM BDI	R\$ 214,193.95

Documento assinado digitalmente



MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Data: 16/09/2025 17:13:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## ÍNDICE

<b>1. DADOS DE OBRA</b>	2
<b>1.1. Normas consideradas</b>	2
<b>1.2. Estados limites</b>	2
1.2.1. Situações de projeto	2
1.2.2. Combinações	3
<b>2. ESTRUTURA</b>	4
<b>2.1. Geometria</b>	4
2.1.1. Nós	4
2.1.2. Barras	5
<b>2.2. Cargas</b>	6
2.2.1. Barras	6
<b>2.3. Resultados</b>	8
2.3.1. Nós	8
2.3.2. Barras	9



## 1. DADOS DE OBRA

### 1.1. Normas consideradas

Aço dobrado: ABNT NBR 14762: 2010

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2024

**Categoria de uso:** Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público

### 1.2. Estados limites

E.L.U. Aço dobrado	NBR 14762: 2010
E.L.U. Aço laminado	NBR 8800: 2024
Deslocamentos	Ações características

#### 1.2.1. Situações de projeto

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

- **Com coeficientes de combinação**

- **Sem coeficientes de combinação**

- Onde:

$G_k$  Ação permanente

$P_k$  Ação de pré-tensão

$Q_k$  Ação variável

$\gamma_G$  Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

$\gamma_P$  Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-tensão

$\gamma_{Q,1}$  Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

$\gamma_{Q,i}$  Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

$\psi_{p,1}$  Coeficiente de combinação da ação variável principal

$\psi_{a,i}$  Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

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

**E.L.U. Aço dobrado: ABNT NBR 14762: 2010**

	Normal			
	Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinação ( $\psi$ )	
	Favorável	Desfavorável	Principal ( $\psi_p$ )	Acompanhamento ( $\psi_a$ )
Permanente (G)	1.000	1.250	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

**E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2024**



Normal				
	Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinação ( $\psi$ )	
	Favorável	Desfavorável	Principal ( $\psi_p$ )	Acompanhamento ( $\psi_a$ )
Permanente (G)	1.000	1.500	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

### Deslocamentos

Ações variáveis sem sismo		
	Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ )	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Vento (Q)	0.000	1.000

### 1.2.2. Combinações

#### ■ Nomes das ações

PP Peso próprio

CP CP

SCU SCU

V V

#### ■ E.L.U. Aço dobrado

Comb.	PP	CP	SCU	V
1	1.000	1.000		
2	1.250	1.000		
3	1.000	1.250		
4	1.250	1.250		
5	1.000	1.000	1.500	
6	1.250	1.000	1.500	
7	1.000	1.250	1.500	
8	1.250	1.250	1.500	
9	1.000	1.000		1.400
10	1.250	1.000		1.400
11	1.000	1.250		1.400
12	1.250	1.250		1.400
13	1.000	1.000	1.050	1.400
14	1.250	1.000	1.050	1.400
15	1.000	1.250	1.050	1.400
16	1.250	1.250	1.050	1.400
17	1.000	1.000	1.500	0.840
18	1.250	1.000	1.500	0.840
19	1.000	1.250	1.500	0.840



---

Comb.	PP	CP	SCU	V
20	1.250	1.250	1.500	0.840

**■ E.L.U. Aço laminado**

Comb.	PP	CP	SCU	V
1	1.000	1.000		
2	1.500	1.000		
3	1.000	1.500		
4	1.500	1.500		
5	1.000	1.000	1.500	
6	1.500	1.000	1.500	
7	1.000	1.500	1.500	
8	1.500	1.500	1.500	
9	1.000	1.000		1.400
10	1.500	1.000		1.400
11	1.000	1.500		1.400
12	1.500	1.500		1.400
13	1.000	1.000	1.050	1.400
14	1.500	1.000	1.050	1.400
15	1.000	1.500	1.050	1.400
16	1.500	1.500	1.050	1.400
17	1.000	1.000	1.500	0.840
18	1.500	1.000	1.500	0.840
19	1.000	1.500	1.500	0.840
20	1.500	1.500	1.500	0.840

**■ Deslocamentos**

Comb.	PP	CP	SCU	V
1	1.000	1.000		
2	1.000	1.000	1.000	
3	1.000	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000

**2. ESTRUTURA****2.1. Geometria****2.1.1. Nós**

Referências:

 $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ : Deslocamentos prescritos em eixos globais. $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ : Rotações prescritas em eixos globais. $U_x, U_y, U_z$ : Vetor diretor da reta ou vetor normal ao plano de dependênciaCada grau de liberdade marca-se com 'X' se estiver restringido e, caso contrário, com '-'.

---



Nós														
Referência	Coordenadas			Vínculo c/ exterior									Vinculação interna	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta_x$	$\Delta_y$	$\Delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	Dependências	Ux	Uy		Uz
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	Engastado
N2	4.130	0.000	0.000	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N3	8.260	0.000	0.000	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N4	12.390	0.000	0.000	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N13	0.000	1.650	0.165	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	Engastado
N14	4.130	1.650	0.165	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N15	8.260	1.650	0.165	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N16	12.390	1.650	0.165	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N17	0.000	3.300	0.330	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	Engastado
N18	4.130	3.300	0.330	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N19	8.260	3.300	0.330	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N20	12.390	3.300	0.330	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N25	0.000	4.950	0.495	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	Engastado
N26	4.130	4.950	0.495	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N27	8.260	4.950	0.495	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado
N28	12.390	4.950	0.495	-	X	X	-	-	-	Reta	1.000	0.000	0.000	Engastado

## 2.1.2. Barras

### 2.1.2.1. Materiais utilizados

Materiais utilizados							
Material		E	$\nu$	G	$f_y$	$\alpha_t$	$\gamma$
Tipo	Designação	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m <sup>3</sup> )
Aço dobrado	CF-26	200000.00	0.300	76923.08	260.00	0.000012	77.01
Notação: <i>E</i> : Módulo de elasticidade <i><math>\nu</math></i> : Módulo de poisson <i>G</i> : Módulo de corte <i><math>f_y</math></i> : Limite elástico <i><math>\alpha_t</math></i> : Coeficiente de dilatação <i><math>\gamma</math></i> : Peso específico							

### 2.1.2.2. Descrição

Descrição									
Material		Barra	Peça	Perfil(Série)	Comprimento (m)	$\beta_{xy}$	$\beta_{xz}$	Lb <sub>Sup.</sub> (m)	Lb <sub>Inf.</sub> (m)
Tipo	Designação	(Ni/Nf)	(Ni/Nf)						
Aço dobrado	CF-26	N25/N26	N25/N28	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N26/N27	N25/N28	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N27/N28	N25/N28	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N17/N18	N17/N20	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N18/N19	N17/N20	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N19/N20	N17/N20	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N13/N14	N13/N16	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N14/N15	N13/N16	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N15/N16	N13/N16	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065



Descrição									
Material		Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	$\beta_{xy}$	$\beta_{xz}$	Lb <sub>Sup.</sub> (m)	Lb <sub>Inf.</sub> (m)
Tipo	Designação								
		N1/N2	N1/N4	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N2/N3	N1/N4	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065
		N3/N4	N1/N4	C150X60X20X2.00 (C)	4.130	0.50	1.00	4.130	2.065

Notação:  
*Ni: Nó inicial*  
*Nf: Nó final*  
 *$\beta_{xy}$ : Coeficiente de flambagem no plano 'XY'*  
 *$\beta_{xz}$ : Coeficiente de flambagem no plano 'XZ'*  
*Lb<sub>Sup.</sub>: Espaçamento entre travamentos do banzo superior*  
*Lb<sub>Inf.</sub>: Espaçamento entre travamentos do banzo inferior*

### 2.1.2.3. Características mecânicas

Tipos de peça	
Ref.	Peças
1	N25/N28, N17/N20, N13/N16 e N1/N4

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm <sup>2</sup> )	Avy (cm <sup>2</sup> )	Avz (cm <sup>2</sup> )	Iyy (cm <sup>4</sup> )	Izz (cm <sup>4</sup> )	It (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designação								
Aço dobrado	CF-26	1	C150X60X20X2.00, (C)	5.93	1.93	3.10	207.06	30.01	0.08

Notação:  
*Ref.: Referência*  
*A: Área da seção transversal*  
*Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y'*  
*Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z'*  
*Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local 'Y'*  
*Izz: Inércia da seção em torno do eixo local 'Z'*  
*It: Inércia à torção*  
*As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.*

## 2.2. Cargas

### 2.2.1. Barras

Referências:

'P1', 'P2':

- Cargas pontuais, uniformes, em faixa e momentos pontuais: 'P1' é o valor da carga. 'P2' não se utiliza.
- Cargas trapezoidais: 'P1' é o valor da carga no ponto onde começa (L1) e 'P2' é o valor da carga no ponto onde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' é o valor máximo da carga. 'P2' não se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' e 'P2' são os valores da temperatura nas faces exteriores ou paramentos da peça. A orientação da variação do incremento de temperatura sobre a seção transversal dependerá da direção selecionada.

'L1', 'L2':

- Cargas e momentos pontuais: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde se aplica a carga. 'L2' não se utiliza.
- Cargas trapezoidais, em faixa, e triangulares: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde começa a carga, 'L2' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde termina a carga.

Unidades:



- Cargas concentradas: kN
- Momentos pontuais: kN·m.
- Cargas uniformes, em faixa, triangulares e trapezoidais: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Cargas em barras										
Barra	Hipótese	Tipo	Valores		Posição		Eixos	Direção		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)		X	Y	Z
N25/N26	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N26/N27	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N26/N27	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N26/N27	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N26/N27	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N27/N28	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N17/N18	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N17/N18	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N17/N18	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N17/N18	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N18/N19	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N18/N19	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N18/N19	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N18/N19	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N19/N20	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N19/N20	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N19/N20	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N19/N20	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N13/N14	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N13/N14	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N13/N14	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N13/N14	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N14/N15	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N14/N15	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N14/N15	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N14/N15	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N15/N16	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N15/N16	CP	Uniforme	0.398	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N15/N16	SCU	Uniforme	0.415	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N15/N16	V	Uniforme	0.995	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N1/N2	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995



Cargas em barras										
Barra	Hipótese	Tipo	Valores		Posição		Direção			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Eixos	X	Y	Z
N2/N3	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995
N3/N4	Peso próprio	Uniforme	0.046	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	CP	Uniforme	0.199	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	SCU	Uniforme	0.207	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	V	Uniforme	0.497	-	-	-	Globais	-0.000	-0.100	0.995

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Nós

#### 2.3.1.1. Reações

Referências:

Rx, Ry, Rz: Reações em nós com deslocamentos restringidos (forças).

Mx, My, Mz: Reações em nós com rotações restringidas (momentos).

#### 2.3.1.1.1. Envoltórias

Envoltórias das reações em nós								
Referência	Combinação		Reações em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.741	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.115	1.046	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.414	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.082	0.747	0.00	0.00	0.00
N2	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.036	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.315	2.874	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.137	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.225	2.053	0.00	0.00	0.00
N3	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.036	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.315	2.874	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.137	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.225	2.053	0.00	0.00	0.00
N4	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.741	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.115	1.046	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.414	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.082	0.747	0.00	0.00	0.00
N13	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.557	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.229	1.986	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.903	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.164	1.418	0.00	0.00	0.00
N14	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-4.280	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.630	5.458	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.482	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.450	3.899	0.00	0.00	0.00
N15	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-4.280	0.00	0.00	0.00



Envoltórias das reações em nós								
Referência	Combinação		Reações em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.630	5.458	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.482	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.450	3.899	0.00	0.00	0.00
N16	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.557	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.229	1.986	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.903	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.164	1.418	0.00	0.00	0.00
N17	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.557	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.229	1.986	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.903	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.164	1.418	0.00	0.00	0.00
N18	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-4.280	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.630	5.458	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.482	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.450	3.899	0.00	0.00	0.00
N19	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-4.280	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.630	5.458	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.482	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.450	3.899	0.00	0.00	0.00
N20	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.557	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.229	1.986	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.903	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.164	1.418	0.00	0.00	0.00
N25	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.741	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.115	1.046	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.414	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.082	0.747	0.00	0.00	0.00
N26	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.036	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.315	2.874	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.137	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.225	2.053	0.00	0.00	0.00
N27	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-2.036	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.315	2.874	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-1.137	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.225	2.053	0.00	0.00	0.00
N28	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.741	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.115	1.046	0.00	0.00	0.00
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.414	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.082	0.747	0.00	0.00	0.00

Nota: As combinações de concreto indicadas são as mesmas utilizadas para verificar o estado limite de equilíbrio na fundação.

### 2.3.2. Barras

**2.3.2.1. Verificações E.L.U. (Completo)**

Nota: Mostra-se o relatório completo de verificações realizadas para as 10 barras com maior coeficiente de aproveitamento.

Barra N15/N16

Perfil: C150X60X20X2.00 Material: Aço (CF-26)										
Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas							
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)		
N15	N16	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00		
Notas: <sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado <sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme <sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade										
	Flambagem			Flambagem lateral						
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
	β	0.50	1.00	1.00	0.50					
	L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065					
	C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000					
C <sub>b</sub>	-			1.000						
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico										

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N15.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 142.00 mm

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓



Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$\lambda_{xx}$  : 69.9 ✓

$\lambda_{yy}$  : 91.8 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

**$K_x L_x$**  : 4.130 m

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

**$K_y L_y$**  : 2.065 m

**$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

**$r_x$**  : 5.91 cm

**$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$r_y$**  : 2.25 cm

### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

### **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.633 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{Sd}$**  é obtido para o nó N15, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

**$M_{Sd}^{pos}$**  : 1.62 kN·m

**$M_{Sd}^{neg}$**  : 1.99 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo  **$M_{Rd}$**  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

**$M_{Rd}^{pos}$**  : 2.56 kN·m

**$M_{Rd}^{neg}$**  : 4.68 kN·m

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)**

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$



$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{30.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.08} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{1445.04} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{76923} \text{ MPa}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y^{pos} : \underline{4.130} \text{ m}$$

$$K_y L_y^{neg} : \underline{2.065} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{4.130} \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W$ : Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$\chi_{dist}$ : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

$\lambda_{dist}$ : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$



**M<sub>dist</sub>**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$\mathbf{M}_{\text{dist}} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**k<sub>d</sub>**: Coeficiente de flambagem por distorção.

$$\mathbf{k}_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**v**: Coeficiente de Poisson.

$$\mathbf{v} : \underline{0.3}$$

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$\mathbf{b}_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$\mathbf{b}_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$\mathbf{D} : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$\mathbf{t} : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$\mathbf{M}_{\text{Sd}} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

$$\mathbf{M}_{\text{Rd}} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$\mathbf{W}_{\text{ef}} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$\mathbf{f}_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\mathbf{\gamma} : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:



$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$V_{Sd} : \underline{0.29} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_V/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>V</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.076} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.90} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$



para  $h/t : 71.00$

para  $1.4(EK_V/f_y)^{0.5} : 86.82$

Onde:

<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>V</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>V</sub></b> : <u>5.00</u>

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$\eta : 0.099$  ✓

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.90</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.



Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : \underline{0.29} \text{ kN}$
$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{29.50} \text{ kN}$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

#### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 2.581 m do nó N15, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.712} \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd} : \underline{0.00} \text{ kN}$
$M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{1.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	$N_{Rd} : \underline{140.27} \text{ kN}$
$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{1.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$

#### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N13/N14

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N13	N14	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.50	1.00	1.00	0.50				
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065				
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000				
C <sub>b</sub>	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.258 m do nó N13.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 142.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$
$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$
$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$
$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Sd}^{neg} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



<b><math>I_y</math></b> : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	<b><math>I_y</math></b> : <u>30.01</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>I_t</math></b> : Momento de inércia à torção uniforme.	<b><math>I_t</math></b> : <u>0.08</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>C_w</math></b> : Constante de empenamento da seção.	<b><math>C_w</math></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b><math>K_y L_y</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b><math>K_y L_y^{pos}</math></b> : <u>4.130</u> m
	<b><math>K_y L_y^{neg}</math></b> : <u>2.065</u> m
<b><math>K_z L_z</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b><math>K_z L_z</math></b> : <u>4.130</u> m

**$r_0$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**$x_0, y_0$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$\chi_{dist}$** : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

**$\lambda_{dist}$** : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**$M_{dist}$** : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$k_d$** : Coeficiente de flambagem por distorção.



$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**v**: Coeficiente de Poisson.

$$v : \underline{0.3}$$

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$M_{Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N14, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.29} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.076} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.90} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.099} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.90</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.20</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd}$  : 0.29 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 1.549 m do nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.712 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$  : 1.59 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 0.16 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 2.56 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.74 kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N19/N20

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
N19	N20	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		0.50	1.00	1.00	0.50			
L <sub>K</sub>		2.065	4.130	4.130	2.065			
C <sub>m</sub>		-	-	1.000	1.000			
C <sub>b</sub>		-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N19.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 142.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N19, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd}^{neg} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \frac{27.61}{1.1} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \frac{260.00}{1.1} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \frac{1.1}{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \frac{2.56}{1.1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \frac{4.68}{1.1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \frac{27.61}{1.1} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \frac{27.61}{1.1} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \frac{260.00}{1.1} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \frac{1.1}{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \frac{0.39}{1.1}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \frac{0.72}{1.1}$$

Sendo:

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$\lambda_0^{pos} : \frac{1.60}{1.1}$$

$$\lambda_0^{neg} : \frac{1.13}{1.1}$$

$$W_c^{pos} : \frac{27.61}{1.1} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \frac{27.61}{1.1} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \frac{2.81}{1.1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \frac{5.63}{1.1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \frac{1.00}{1.1}$$

$$C_b^{neg} : \frac{1.00}{1.1}$$

$$N_{ey}^{pos} : \frac{34.73}{1.1} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \frac{138.92}{1.1} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \frac{37.00}{1.1} \text{ kN}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \frac{30.01}{1.1} \text{ cm}^4$$



<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inércia à torção uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>0.08</u> cm <sup>4</sup>
<b>C<sub>w</sub></b> : Constante de empenamento da seção.	<b>C<sub>w</sub></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>pos</sup></b> : <u>4.130</u> m
	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>neg</sup></b> : <u>2.065</u> m
<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : <u>4.130</u> m

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**χ<sub>dist</sub>**: Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

**λ<sub>dist</sub>**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**M<sub>dist</sub>**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**k<sub>d</sub>**: Coeficiente de flambagem por distorção.

 $k_d : 1.58$ **E**: Módulo de elasticidade.**E** :  $200000$  MPa**v**: Coeficiente de Poisson.**v** :  $0.3$ **b<sub>w</sub>**: Largura da alma.**b<sub>w</sub>** :  $150.00$  mm**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.**b<sub>f</sub>** :  $60.00$  mm**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.**D** :  $20.00$  mm**t**: A espessura.**t** :  $2.00$  mm**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.120$  ✓O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N19, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .**M<sub>Sd</sub>** :  $0.20$  kN·mO momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:**M<sub>Rd</sub>** :  $1.65$  kN·m

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.**W<sub>ef</sub>** :  $6.98$  cm<sup>3</sup>**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.**f<sub>y</sub>** :  $260.00$  MPa**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.**γ** :  $1.1$ **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.010$  ✓O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>Sd</sub>** produz-se no nó N19, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .**V<sub>Sd</sub>** :  $0.29$  kN



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.076} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N19, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.90} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N19, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.099} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.90</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N19, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.20</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd}$  : 0.29 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 2.581 m do nó N19, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.712 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$  : 1.59 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 0.16 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 2.56 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.74 kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N17/N18

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Inicial	Final	Comprimento (m)	Características mecânicas					
			Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
N17	N18	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		0.50	1.00	1.00	0.50			
L <sub>K</sub>		2.065	4.130	4.130	2.065			
C <sub>m</sub>		-	-	1.000	1.000			
C <sub>b</sub>		-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.258 m do nó N17.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 142.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$
$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$
$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$
$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Sd}^{neg} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{30.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.08} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{1445.04} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{76923} \text{ MPa}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y^{\text{pos}} : \underline{4.130} \text{ m}$$

$$K_y L_y^{\text{neg}} : \underline{2.065} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{4.130} \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W$ : Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$\chi_{\text{dist}}$ : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{\text{dist}} : \underline{0.84}$$

Sendo:

$\lambda_{\text{dist}}$ : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{\text{dist}} : \underline{0.90}$$

$M_{\text{dist}}$ : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{\text{dist}} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$k_d$ : Coeficiente de flambagem por distorção.



$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**v**: Coeficiente de Poisson.

$$v : \underline{0.3}$$

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$M_{Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.29} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.076} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.90} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.099} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.90</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.20</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd}$  : 0.29 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 1.549 m do nó N17, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.712 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$  : 1.59 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 0.16 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 2.56 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.74 kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N18/N19

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N18	N19	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		0.50	1.00	1.00	0.50			
L <sub>K</sub>		2.065	4.130	4.130	2.065			
C <sub>m</sub>		-	-	1.000	1.000			
C <sub>b</sub>		-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b**: 142.00 mm  
**t**: 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b**: 52.00 mm  
**t**: 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$
$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$
$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$
$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Sd}^{neg} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{30.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.08} \text{ cm}^4$$



---

<b>C<sub>w</sub></b> : Constante de empenamento da seção.	<b>C<sub>w</sub></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>pos</sup></b> : <u>4.130</u> m
	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>neg</sup></b> : <u>2.065</u> m
<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : <u>4.130</u> m

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$\chi_{dist}$ : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

$\lambda_{dist}$ : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**M<sub>dist</sub>**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**k<sub>d</sub>**: Coeficiente de flambagem por distorção.

$$k_d : \underline{1.58}$$



<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>v</b> : Coeficiente de Poisson.	<b>v</b> : <u>0.3</u>
<b>b<sub>w</sub></b> : Largura da alma.	<b>b<sub>w</sub></b> : <u>150.00</u> mm
<b>b<sub>f</sub></b> : Largura da aba.	<b>b<sub>f</sub></b> : <u>60.00</u> mm
<b>D</b> : Comprimento do enrijecedor da mesa.	<b>D</b> : <u>20.00</u> mm
<b>t</b> : A espessura.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm

**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$\mathbf{M}_{Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

$$\mathbf{M}_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$\mathbf{W}_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$\mathbf{f}_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.008} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>Sd</sub>** produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$\mathbf{V}_{Sd} : \underline{0.24} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.12} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.42} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.097} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.42</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.20</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{sd}$  : 0.24 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

#### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N18, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.545 ✓

Onde:

$N_{t,sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,sd}$  : 1.99 kN·m

$M_{y,sd}$  : 0.20 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 4.68 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.65 kN·m

#### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N14/N15

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N14	N15	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.50	1.00	1.00	0.50				
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065				
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000				
C <sub>b</sub>	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b**: 142.00 mm  
**t**: 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b**: 52.00 mm  
**t**: 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$
$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$
$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$
$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Sd}^{neg} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{30.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.08} \text{ cm}^4$$



<b>C<sub>w</sub></b> : Constante de empenamento da seção.	<b>C<sub>w</sub></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>pos</sup></b> : <u>4.130</u> m
	<b>K<sub>y</sub>L<sub>y</sub><sup>neg</sup></b> : <u>2.065</u> m
<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b>K<sub>z</sub>L<sub>z</sub></b> : <u>4.130</u> m

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$\chi_{dist}$ : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

$\lambda_{dist}$ : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**M<sub>dist</sub>**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**k<sub>d</sub>**: Coeficiente de flambagem por distorção.

$$k_d : \underline{1.58}$$



<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>v</b> : Coeficiente de Poisson.	<b>v</b> : <u>0.3</u>
<b>b<sub>w</sub></b> : Largura da alma.	<b>b<sub>w</sub></b> : <u>150.00</u> mm
<b>b<sub>f</sub></b> : Largura da aba.	<b>b<sub>f</sub></b> : <u>60.00</u> mm
<b>D</b> : Comprimento do enrijecedor da mesa.	<b>D</b> : <u>20.00</u> mm
<b>t</b> : A espessura.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm

**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$\mathbf{M}_{Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

$$\mathbf{M}_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$\mathbf{W}_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$\mathbf{f}_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.008} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>Sd</sub>** produz-se no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$\mathbf{V}_{Sd} : \underline{0.24} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.12} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{2.42} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.097} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.99</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>2.42</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.20</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{sd}$  : 0.24 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

#### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N14, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.545 ✓

Onde:

$N_{t,sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,sd}$  : 1.99 kN·m

$M_{y,sd}$  : 0.20 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 4.68 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.65 kN·m

#### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N1/N2

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N1	N2	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.50	1.00	1.00	0.50				
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065				
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000				
C <sub>b</sub>	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.258 m do nó N1.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 142.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$
$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$
$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$
$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.326} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 1.549 m do nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{0.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd}^{neg} : \underline{0.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



<b><math>I_y</math></b> : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	<b><math>I_y</math></b> : <u>30.01</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>I_t</math></b> : Momento de inércia à torção uniforme.	<b><math>I_t</math></b> : <u>0.08</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>C_w</math></b> : Constante de empenamento da seção.	<b><math>C_w</math></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b><math>K_y L_y</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b><math>K_y L_y^{pos}</math></b> : <u>4.130</u> m
	<b><math>K_y L_y^{neg}</math></b> : <u>2.065</u> m
<b><math>K_z L_z</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b><math>K_z L_z</math></b> : <u>4.130</u> m

**$r_o$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**$x_o, y_o$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$\chi_{dist}$** : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

**$\lambda_{dist}$** : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**$M_{dist}$** : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

**$k_d$** : Coeficiente de flambagem por distorção.

$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**$\nu$** : Coeficiente de Poisson.

$$\nu : \underline{0.3}$$

**$b_w$** : Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**$b_f$** : Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{Sd}$**  é obtido para o nó N2, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$M_{Sd} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  **$M_{Rd}$**  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N2, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$V_{Sd} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N2, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{1.52} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$



para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N2, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.05</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>1.52</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N2, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$



Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : 0.10$ kN·m
$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : 1.65$ kN·m
$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : 0.15$ kN
$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : 29.50$ kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N2, para a combinação 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.286} \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd} : 0.00$ kN
$M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : 1.05$ kN·m $M_{y,Sd} : 0.10$ kN·m
$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	$N_{Rd} : 140.27$ kN
$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : 4.68$ kN·m $M_{y,Rd} : 1.65$ kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N27/N28

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N27	N28	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.50	1.00	1.00	0.50				
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065				
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000				
C <sub>b</sub>	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N27.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 142.00 mm

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 52.00 mm

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.326} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 2.581 m do nó N27, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{0.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd}^{neg} : \underline{0.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástica da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{30.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.08} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{1445.04} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{76923} \text{ MPa}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y^{\text{pos}} : \underline{4.130} \text{ m}$$

$$K_y L_y^{\text{neg}} : \underline{2.065} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{4.130} \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W$ : Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$\chi_{\text{dist}}$ : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{\text{dist}} : \underline{0.84}$$

Sendo:

$\lambda_{\text{dist}}$ : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{\text{dist}} : \underline{0.90}$$

$M_{\text{dist}}$ : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{\text{dist}} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$k_d$ : Coeficiente de flambagem por distorção.



$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**v**: Coeficiente de Poisson.

$$v : \underline{0.3}$$

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N27, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$M_{Sd} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N27, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU + 0.84 \cdot V$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.15} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N27, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{1.52} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N27, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.05</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>1.52</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N27, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.10</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{sd}$  : 0.15 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N27, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP + 1.5 \cdot SCU$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.286 ✓

Onde:

$N_{t,sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,sd}$  : 1.05 kN·m

$M_{y,sd}$  : 0.10 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 4.68 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.65 kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N25/N26

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N25	N26	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00

*Notas:*  
<sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado  
<sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme  
<sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
$\beta$	0.50	1.00	1.00	0.50
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000
C <sub>b</sub>	-		1.000	

*Notação:*  
 $\beta$ : Coeficiente de flambagem  
L<sub>K</sub>: Comprimento de flambagem (m)  
C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos  
C<sub>b</sub>: Fator de modificação para o momento crítico

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.258 m do nó N25.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 142.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 52.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.326} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 1.549 m do nó N25, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{0.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd}^{neg} : \underline{0.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



<b><math>I_y</math></b> : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	<b><math>I_y</math></b> : <u>30.01</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>I_t</math></b> : Momento de inércia à torção uniforme.	<b><math>I_t</math></b> : <u>0.08</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>C_w</math></b> : Constante de empenamento da seção.	<b><math>C_w</math></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b><math>K_y L_y</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b><math>K_y L_y^{pos}</math></b> : <u>4.130</u> m
	<b><math>K_y L_y^{neg}</math></b> : <u>2.065</u> m
<b><math>K_z L_z</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b><math>K_z L_z</math></b> : <u>4.130</u> m

**$r_o$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**$x_o, y_o$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$\chi_{dist}$** : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

**$\lambda_{dist}$** : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**$M_{dist}$** : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

**$k_d$** : Coeficiente de flambagem por distorção.

$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**$\nu$** : Coeficiente de Poisson.

$$\nu : \underline{0.3}$$

**$b_w$** : Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**$b_f$** : Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{Sd}$**  é obtido para o nó N26, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$M_{Sd} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  **$M_{Rd}$**  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N26, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$V_{Sd}$  : 0.15 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$V_{Sd}$  : 0.08 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd}$  : 14.75 kN

para

$1.08(EK_v/f_y)^{0.5}$  : 32.81

para

$h/t$  : 26.00

para

$1.4(EK_v/f_y)^{0.5}$  : 42.54

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t** : 2.00 mm

**h**: Largura da alma.

**h** : 52.00 mm

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**f<sub>y</sub>** : 260.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E** : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.1

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**K<sub>v</sub>** : 1.20

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.040 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N26, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$V_{Sd}$  : 1.52 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$(2)V_{Rd}$  : 38.11 kN

para

$1.08(EK_v/f_y)^{0.5}$  : 66.98

para

$h/t$  : 71.00



para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t** :  $\underline{2.00}$  mm

**h**: Largura da alma.

**h** :  $\underline{142.00}$  mm

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**f<sub>y</sub>** :  $\underline{260.00}$  MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E** :  $\underline{200000}$  MPa

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**γ** :  $\underline{1.1}$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

**K<sub>v</sub>** :  $\underline{5.00}$

**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N26, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>Sd</sub>** :  $\underline{1.05}$  kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**M<sub>0,Rd</sub>** :  $\underline{6.53}$  kN·m

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>Sd</sub>** :  $\underline{1.52}$  kN

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**V<sub>Rd</sub>** :  $\underline{38.11}$  kN

**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N26, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$



Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : 0.10$ kN·m
$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : 1.65$ kN·m
$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : 0.15$ kN
$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : 29.50$ kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N26, para a combinação 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.286} \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd} : 0.00$ kN
$M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : 1.05$ kN·m $M_{y,Sd} : 0.10$ kN·m
$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	$N_{Rd} : 140.27$ kN
$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : 4.68$ kN·m $M_{y,Rd} : 1.65$ kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



Barra N3/N4

**Perfil: C150X60X20X2.00**  
**Material: Aço (CF-26)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
N3	N4	4.130	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.50	1.00	1.00	0.50				
L <sub>K</sub>	2.065	4.130	4.130	2.065				
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000				
C <sub>b</sub>	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N3.

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 71 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 142.00 mm

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 26 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 52.00 mm

**t** : 2.00 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez  $\lambda$  das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda_{xx} : \underline{69.9} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{91.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{4.130} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.065} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.326} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 2.581 m do nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$M_{Sd}^{pos} : \underline{0.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd}^{neg} : \underline{0.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : \underline{6.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{4.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(3)}\chi_{FLT}^{pos} : \underline{0.39}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT}^{neg} : \underline{0.72}$$

Sendo:

$$\lambda_0^{pos} : \underline{1.60}$$

$$\lambda_0^{neg} : \underline{1.13}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c^{pos} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

$$W_c^{neg} : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e^{pos} : \underline{2.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_e^{neg} : \underline{5.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b^{pos} : \underline{1.00}$$

$$C_b^{neg} : \underline{1.00}$$

$$N_{ey}^{pos} : \underline{34.73} \text{ kN}$$

$$N_{ey}^{neg} : \underline{138.92} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{37.00} \text{ kN}$$



<b><math>I_y</math></b> : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	<b><math>I_y</math></b> : <u>30.01</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>I_t</math></b> : Momento de inércia à torção uniforme.	<b><math>I_t</math></b> : <u>0.08</u> cm <sup>4</sup>
<b><math>C_w</math></b> : Constante de empenamento da seção.	<b><math>C_w</math></b> : <u>1445.04</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidade transversal.	<b>G</b> : <u>76923</u> MPa
<b><math>K_y L_y</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem lateral.	<b><math>K_y L_y^{pos}</math></b> : <u>4.130</u> m
	<b><math>K_y L_y^{neg}</math></b> : <u>2.065</u> m
<b><math>K_z L_z</math></b> : Comprimento efetivo de flambagem por torção.	<b><math>K_z L_z</math></b> : <u>4.130</u> m

**$r_0$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{7.85} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{5.91} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

**$x_0, y_0$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-46.58} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} : \underline{5.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W : \underline{27.61} \text{ cm}^3$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$\chi_{dist}$** : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

$$\chi_{dist} : \underline{0.84}$$

Sendo:

**$\lambda_{dist}$** : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

$$\lambda_{dist} : \underline{0.90}$$

**$M_{dist}$** : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

$$M_{dist} : \underline{8.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$k_d$** : Coeficiente de flambagem por distorção.



$$k_d : \underline{1.58}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

**v**: Coeficiente de Poisson.

$$v : \underline{0.3}$$

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$b_w : \underline{150.00} \text{ mm}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$b_f : \underline{60.00} \text{ mm}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{20.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.063} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$M_{Sd} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{6.98} \text{ cm}^3$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>Sd</sub>** produz-se no nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

$$V_{Sd} : \underline{0.15} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para

$$h/t : \underline{26.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{52.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{260.00} \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

$$V_{Sd} : \underline{1.52} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{38.11} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:



<b>t</b> : Espessura da alma.	<b>t</b> : <u>2.00</u> mm
<b>h</b> : Largura da alma.	<b>h</b> : <u>142.00</u> mm
<b>f<sub>y</sub></b> : Tensão de escoamento.	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>260.00</u> MPa
<b>E</b> : Módulo de elasticidade.	<b>E</b> : <u>200000</u> MPa
$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.	$\gamma$ : <u>1.1</u>
<b>K<sub>v</sub></b> : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	<b>K<sub>v</sub></b> : <u>5.00</u>

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>1.05</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>6.53</u> kN·m
<b>V<sub>Sd</sub></b> : Força cortante solicitante de cálculo.	<b>V<sub>Sd</sub></b> : <u>1.52</u> kN
<b>V<sub>Rd</sub></b> : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	<b>V<sub>Rd</sub></b> : <u>38.11</u> kN

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** são obtidos no nó N3, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU+0.84·V.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

Onde:

<b>M<sub>Sd</sub></b> : Momento fletor solicitante de cálculo.	<b>M<sub>Sd</sub></b> : <u>0.10</u> kN·m
<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	<b>M<sub>0,Rd</sub></b> : <u>1.65</u> kN·m



$V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{sd}$  : 0.15 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 29.50 kN

### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N3, para a combinação 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SCU.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.286 ✓

Onde:

$N_{t,sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,sd}$  : 0.00 kN

$M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,sd}$  : 1.05 kN·m

$M_{y,sd}$  : 0.10 kN·m

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd}$  : 140.27 kN

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$  : 4.68 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 1.65 kN·m

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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

Documento assinado digitalmente

gov.br

MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Data: 16/09/2025 17:08:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng.Civil Marcos Túlio de Castro Serrano Morais  
CREA 1018613480D/GO

## Planilha de Detalhamento do BDI

Tomador	PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS		
Nome da Obra	REFORMA FEIRA LIVRE		
Município da Obra	DIVINÓPOLIS DE GOIÁS		
Tipo de Obra	Construção de edifícios	▼	
Contribuição Previdenciária	Orçamento SEM A DESONERAÇÃO prevista na Lei 13.161/2015	▼	

Parcelas do BDI	Valor percentual adotado
(AC) - Administração Central	3,80
(S) + (G) - Seguro e Garantia	0,80
(R) - Risco	0,97
(DF) - Despesas Financeiras	1,02
(L) - Lucro	8,25
(I <sub>1</sub> ) - PIS	0,65
(I <sub>2</sub> ) - COFINS	3,00
(I <sub>3</sub> ) - ISS	2,50
(I <sub>4</sub> ) - Contrib. Previdenciária	0,00
<b>BDI Adotado</b>	<b>23,01</b>

Limites das parcelas do BDI para obras do tipo acima selecionado. Acórdão TCU 2622/2013		
Mín.	Med.	Máx.
3,00	4,00	5,50
0,80	0,80	1,00
0,97	1,27	1,27
0,59	1,23	1,39
6,16	7,40	8,96
0,65	0,65	0,65
3,00	3,00	3,00
2,00	2,00	5,00

$$BDI = \frac{(1+AC+S+R+G)(1+DF)(1+L)}{(1-I)} - 1$$

Valor para simples conferência do enquadramento do BDI nos limites estabelecidos pelo Acórdão TCU 2622/2013	
BDI desconsiderando a parcela (I <sub>4</sub> ) contribuição previdenciária	23,01

Limites do valor do BDI para obras do tipo acima selecionado. Acórdão TCU 2622/2013		
Mín.	Med.	Máx.
20,34	22,12	25,00

### DECLARAÇÕES

DECLARO que, de acordo com a legislação tributária do município de DIVINÓPOLIS DE GOIÁS, considerando a natureza da obra acima discriminada, para cálculo do valor de ISS a ser cobrado da empresa construtora, é aplicada a alíquota de 2,5% sobre o valor total da obra.

DECLARO que o percentual de encargos sociais utilizados no valor da mão-de-obra do orçamento são os encargos sociais praticados pelo SINAPI e/ou SICRO.

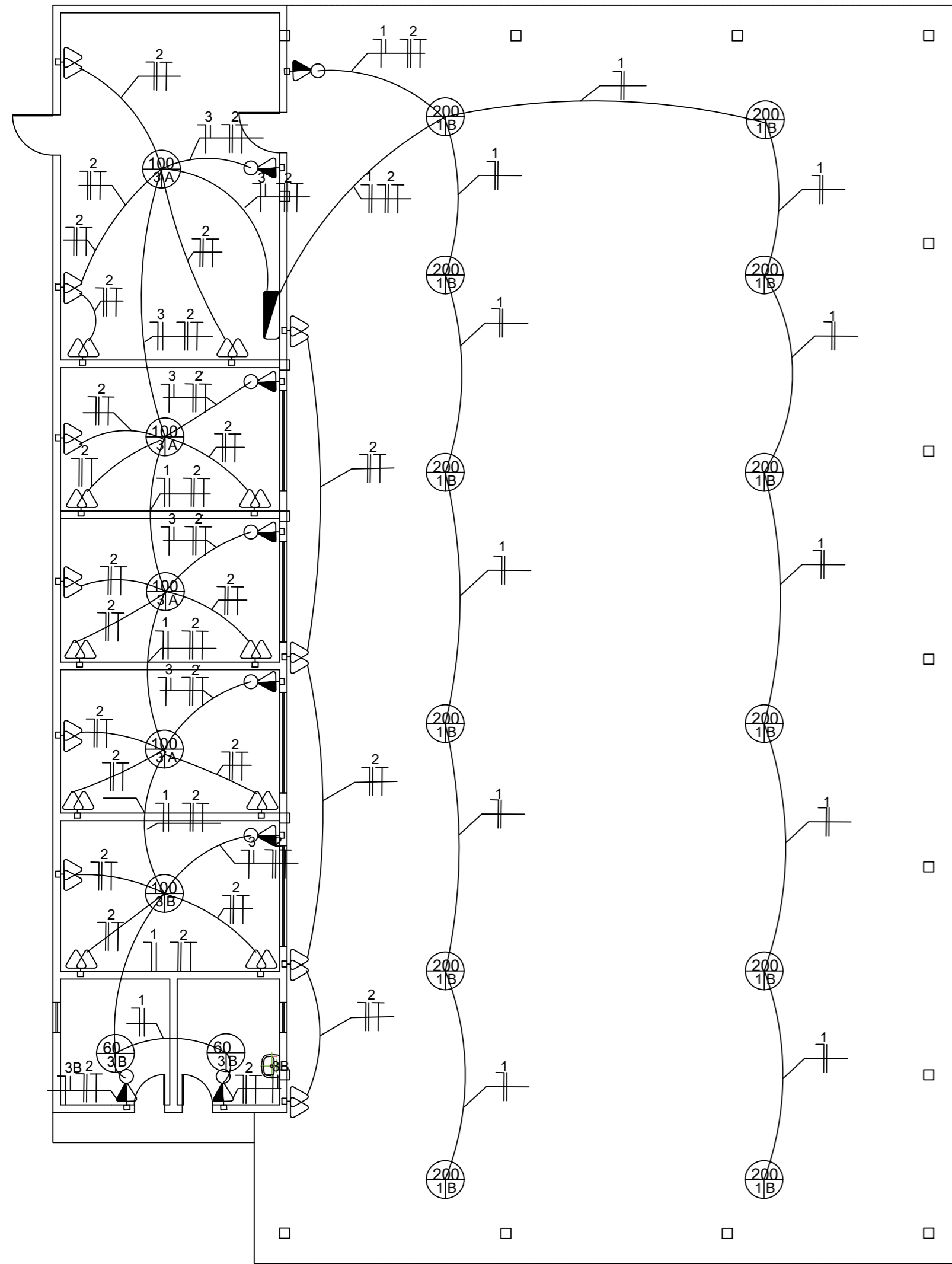
DECLARO que o orçamento da obra foi verificado com os custos nas duas possibilidades de CONTRIBUIÇÃO PREVIDENCIÁRIA e foi adotada a modalidade SEM DESONERAÇÃO por ser a mais adequada ao Tomador PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS.

Documento assinado digitalmente



MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS  
Data: 09/07/2025 17:55:51-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Assinatura do Responsável Técnico pelo orçamento	Marcos Túlio Castro Serrano Morais
Engº Civil - Marcos Túlio de Castro Serrano Morais - CREA 1018613480D/GO	27/06/2025
Título, Nome e CREA/CAU do Responsável Técnico pelo orçamento	Data



1 PROJETO ELETRICO  
ESCALA 1:100

LEGENDA

	QUADRO GERAL INFERIOR DE DISTRIBUICAO DE ENERGIA.
	PONTO P/ LUMINARIA C/ LAMPADA FLUORESCENTE, NO TETO.
	PONTO P/ ARANDELA C/ LAMPADA INCAND.À 1.80m DO PISO.
	INTERRUPTOR A 1.10m DO PISO.
	INTERRUPTOR PARALELO A 1.10m DO PISO.
	TOMADA MONOFASICA +T A 0.30m DO PISO.
	TOMADA DUPLA A 30cm DO PISO.
	TOMADA MONOFASICA +T A 1.10m DO PISO.
	TOMADA DUPLA A 1.10m DO PISO.
	INTERRUPTOR E TOMADA NA MESMA CAIXA A 1.10m DO PISO.
	INTERRUPTOR PARALELO E TOMADA NA MESMA CAIXA A 1.10m DO PISO.
	TOMADA MONOFASICA +T A 2.10m DO PISO.
	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO EMBUTIDO NO TETO OU PAREDE.
	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO EMBUTIDO NO PISO.
	CONDUTORES NEUTRO,FASE,TERRA E RETORNO

QUADRO DE CARGA

CIRCUITO N°.	TENSÃO (V)	FASE RS	CORRENTE (A)	CONDUTOR (mm²)	DISJUNTOR (A)	LAMPADAS (W)	TOMADAS (VA)			POT. ATIVA (W)	FINALIDADE
							100	600	ESP.		
1	220	R	10	2,5	20	12	0	0	0	2200	ILUMINAÇÃO
2	220	R	10	2,5	20	0	22	0	0	2200	TOMADAS
3	220	S	2,81	2,5	20	7	0	0	1	1800	ILUMINAÇÃO

DIAGRAMA UNIFILAR TERREO

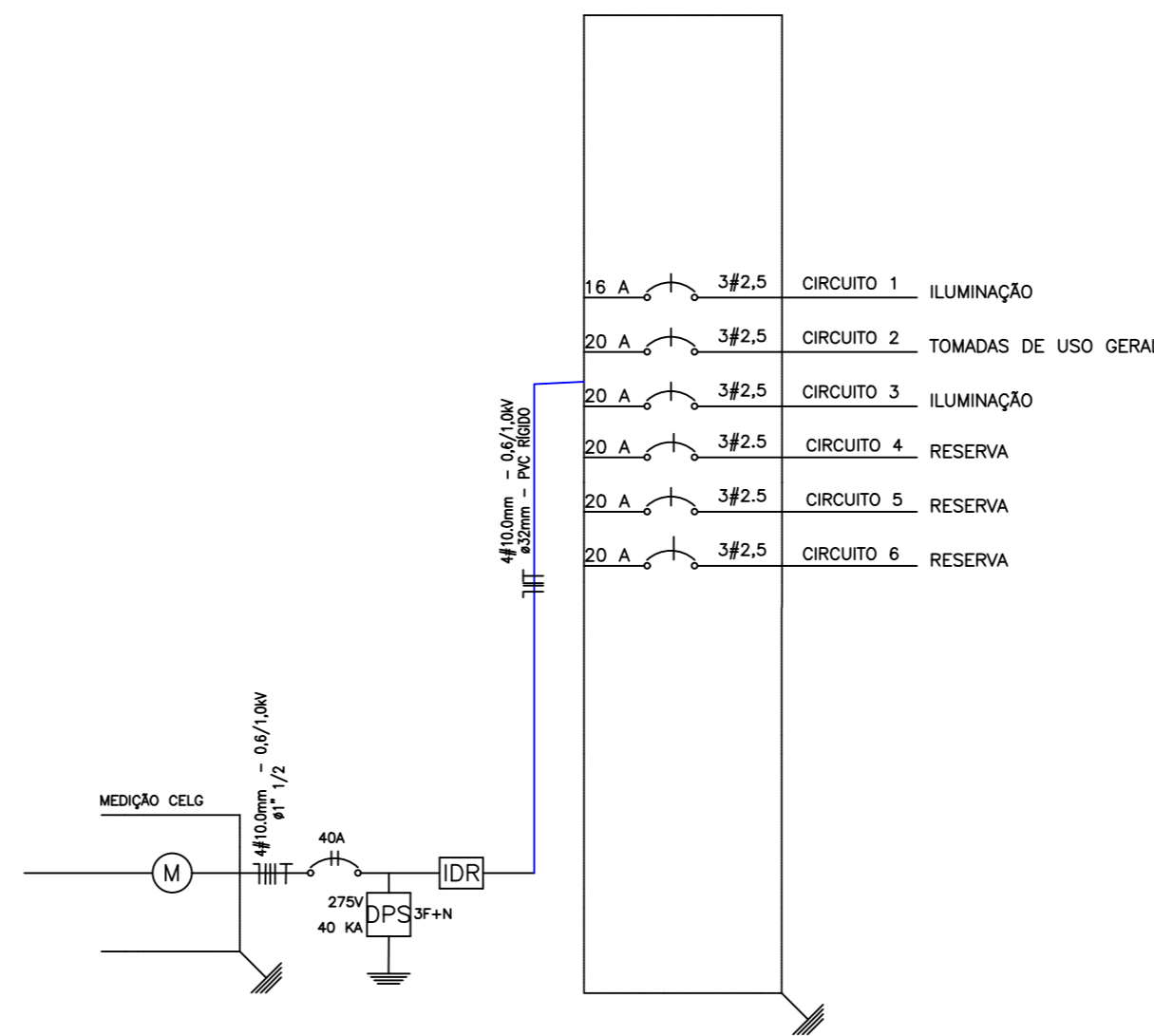
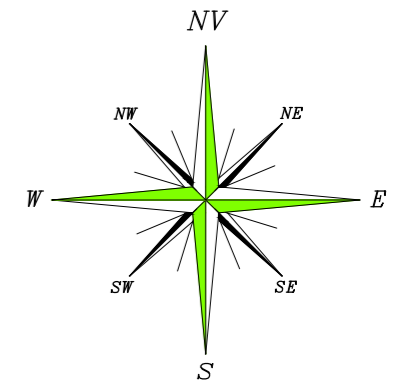


DIAGRAMA UNIFILAR TERREO



PROJETO ELETRICO

Endereço:	FEIRA LIVRE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS
Proprietário:	PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS DE GOIÁS
Autor do projeto	MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS
Responsável Técnico:	MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS

Documento assinado digitalmente  
**MARCOS TULIO DE CASTRO SERRANO MORAIS**  
 Data: 16/09/2025 17:16:54-0300  
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

REFORMA FEIRA LIVRE  
CONTEUDO:

ÁREA DO TOTAL  
420M2

ESCALA:  
1:100

DATA:  
JULHO/2025

DESENHO:  
MARCOSTULIO

PLANTA BAIXA  
LEGENDA  
CORTE

FOLHA

1/2