

# **Lauda Técnico da Cobertura da** **Arena Joinville**

**Engº Marcos Donisete Zavaglio**  
**Engenheiro Civil/Mecânico**  
**CREA 5060488452**

**Joinville, 13 de junho de 2019.**









### ARENA JOINVILLE

Proprietário: Prefeitura Municipal de Joinville - SC

Endereço: Rua Inácio Bastos, 1084 - Bucarein.

Joinville/SC

Coordenadas do terminal (google maps)

26°19'00.2"S  
48°50' 00.9"W



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566

# **Laudo técnico da cobertura da Arena Joinville**

2

## **01. OBJETO DOS SERVIÇOS**

Elaboração de "laudo técnico da cobertura da Arena Joinville" com área de 3904,00 m<sup>2</sup> e dimensões de 122,00 x 32,00 m e informar as atuais condições de conservação e estabilidade da cobertura metálica. Para tanto foi gerada a ART 6841541-0 CREA-SC

7

## **02. FATO GERADOR**

Foi em atendimento ao Termo de Contrato n° 437/2018.

## **03. EQUIPE TÉCNICA / PERÍODO DOS SERVIÇOS**

A vistoria para elaboração do "laudo técnico da cobertura da Arena Joinville" acima descrito foi realizado na data de 28/01/2019 a 14/06/2019 pelo Eng° Marcos D. Zavaglio, para identificar possíveis discontinuidades e diagnóstico das reais condições da estrutura metálica, telhas, cumeeiras, calhas, rufos, testeiros e fixações, da cobertura da arquibancada da Arena Joinville, visando à análise da viabilidade técnica e econômica de recuperação com ampliação da estrutura existente, ou justificar a contratação de uma nova estrutura.

17

## **04. NORMAS TÉCNICAS E DOCUMENTOS CONSULTADOS:**

Para a execução dos trabalhos, foram utilizados como referência os seguintes documentos técnicos:

### **4.1 – Normas Técnicas Consultadas:**

- NBR- 8800/08: "Projeto de estruturas de aço";

- NBR 14762/10: "Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio"

- NBR 6123/88: "Forças devidas ao vento em edificações"

- NBR 6120/80: "Cargas para cálculo de estruturas de edificações"

-NBR NM 334– Ensaios não destrutivos — Líquidos penetrantes — Detecção de discontinuidades.

27





- NBR NM 315 – Ensaio não destrutivo – Ensaio Visual – Procedimento.
- NBR NM 327 – Ensaio não destrutivo – Líquido Penetrantes – Terminologia
- NBR NM 330 – Ensaio não destrutivo – Ensaio por ultrassom – Princípios gerais

#### 4.2 – Documentos Fornecidos para Consulta:

- Projeto estrutural;

Projeto de Montagem – 5 pranchas – Fornecido pela Prefeitura Municipal de Joinville

Sendo as M-001/M-001A/M-002/M-003/Fundação Engepasa (projetos de montagem)

Responsáveis técnicos: Não foi identificado

Projeto estrutura metálica – 26 pranchas – fornecida pelo Engº Edgar Trautwein, cujo nome consta no projeto de montagem que foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Joinville-SC.

- Memória de cálculo;

Memória de cálculo da cobertura principal – não foi fornecida

- Memorial descritivo;

Memória descritivo - não foi fornecido

-Acervo fotográfico;

Feito durante a inspeção 877 fotos

- Ofícios de esclarecimento encaminhados pela Prefeitura Municipal de Joinville;

Ofício SEI Nº 3794294/2019 - SESPORTE.UPE – enviado dia 21/05/2019 onde a empresa Infrasul em resposta quanto à caracterização do tipo de aço utilizado na fabricação, indica a utilização do aço laminado USI SAC 300. A dúvida persiste quanto ao tipo de aço utilizado, pois se trata de uma estrutura executada em aço dobrado e conforme NBR 14762/10, item 4.2 – aços sem qualificação estrutural, não devem ser adotados fy superiores a 180 Mpa.

#### 05. CONSIDERAÇÕES GERAIS:

- Este relatório tem por objetivo a realização de análise da estrutura metálica de cobertura da Arena Joinville, demonstrar não conformidades e diagnóstico das reais condições da estrutura analisando a viabilidade técnica para recuperação e ampliação da estrutura existente ou a contratação de uma nova estrutura;



- 1 Datas das ocorrências
- 2 Projeto Estrutural – 07/2004
- 3 Execução – 09/2004
- 4

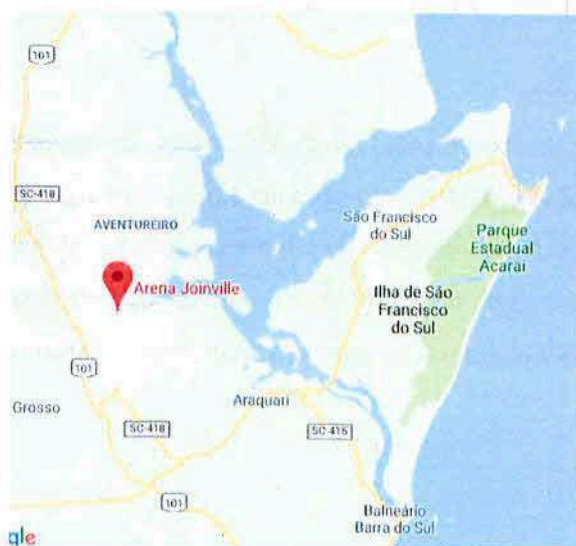


Figura 1 - Localização da Arena

- 8
- 9
- 10
- 11 As Direções predominantes dos ventos são de quadrantes leste, sudeste e nordeste. A Serra do Mar funciona como
- 12 uma barreira orográfica para os ventos de oeste. Enquanto a circulação marítima e a influência da Massa Tropical



Atlântica favorecem os ventos de leste. A passagem das frentes frias, e da Massa Polar também influenciam os ventos na região. (fonte: <http://geokiriri.com/direcao-predominante-dos-ventos-em-joinville/>)

#### **06. SERVIÇOS PRESTADOS:**

O metodologia de escolha das peças a serem ensaiadas considerou dois fatores para formulação de um critério, sendo dentro da região de maior solicitação, a escolha de peças que apresentaram notória descontinuidade e cuja falha pode levar todo o conjunto a ruína. Foi utilizado como apoio na vistoria o drone Phantom DJI 4, com o objetivo de fotografar locais de difícil acesso em áreas externas.

##### **6.1 – Análise do sistema de tratamento de superfícies e pintura:**

- Os resultados foram obtidos após medição das espessuras através de um medidor magnético MCT-300 da marca Minipa, complementando com a inspeção técnica visual inicial.

##### **6.2 – Verificação dimensional e geométrica das peças:**

- Resultados obtidos por medição direta, utilizando-se ultrassom, paquímetro, trena metálica ou trena laser para verificar a características geométricas das peças e dos conjuntos, confrontando o resultado com o projeto apresentado.

- A Inspeção visual consiste na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial, observação de descontinuidades superficiais, deformações, trincas, corrosão etc...

##### **6.3 – Ensaio de soldas pelo método Líquido penetrante:**

- A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes nas ligações entre peças que compõem a estrutura em questão. A inspeção foi realizada por amostragem, e escolhidos dois pontos considerados críticos em relação aos esforços em peças principais. Foi utilizado Líquido Penetrante SKL-WP, marca Magnaflux validade nov/23, e Revelador SKD-S2 val nov/23.

- O líquido penetrante é aplicado na superfície do material e absorvido por capilaridade, após limpo e seco aplica-se o revelador, revelando as eventuais descontinuidades. Recomendado para materiais não porosos em geometrias complexas. A escolha dos pontos a serem ensaiados, levou em consideração as soldas mais solicitadas e a facilidade de execução do ensaio.

##### **6.4 – Análise da fabricação e montagem da estrutura metálica:**

- Verificação por meio de inspeção visual, se o executado esta de acordo com o projeto, se os materiais utilizados são os indicados nos projetos e a montagem de acordo com as boas praticas da construção metálica.

##### **6.5 – Inspeção das telhas, cumeeiras, calhas e rufos:**

- A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes.



1 6.6 – Refazer o cálculo considerando os esforços adicionais relativos à ampliação da estrutura:

2 - Refazer o cálculo para verificação de capacidade, considerando a ampliação da mesma.

3 **07. RESULTADOS OBTIDOS:**

4 Com base nos serviços realizados, podemos classificar os seguintes fatores:

5 **7.1 – Análise do sistema de tratamento de superfícies e pintura:**

6 Registrou a ocorrência de pontos de corrosão nos elementos de estrutura. A corrosão nos elementos ocasionam uma  
7 perda de seção e consequente perda de resistência. Também se pode afirmar que há corrosão nas soldas das peças  
8 secundárias, que incorrem na redução de resistência dessas ligações, muitas vezes ocasionando o desprendimento  
9 entre os elementos de um conjunto.



Foto 1- Tesouras de travamento

11  
12

13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21

- A espessura das camadas de tintas dos perfis principais é, em média, superior ao mínimo recomendável 140  $\mu\text{m}$ , foram observados locais onde o conjunto atingiu 198  $\mu\text{m}$ . Foram desconsideradas medidas muito superiores a 200  $\mu\text{m}$ , por ter indícios de não se tratar da pintura original.





Foto 2 – Medição de espessura de Tinta

Nas fotos 3 e 4 há evidência de que as peças (perfis, cantoneiras, etc.) não foi submetido a processo de tratamento prévio adequado, fato que daria uma maior proteção e aderência das camadas de pintura ao metal base. Tal fato é evidenciado pela presença na pintura de carepas de corrosão não aderidas ao substrato metálico.

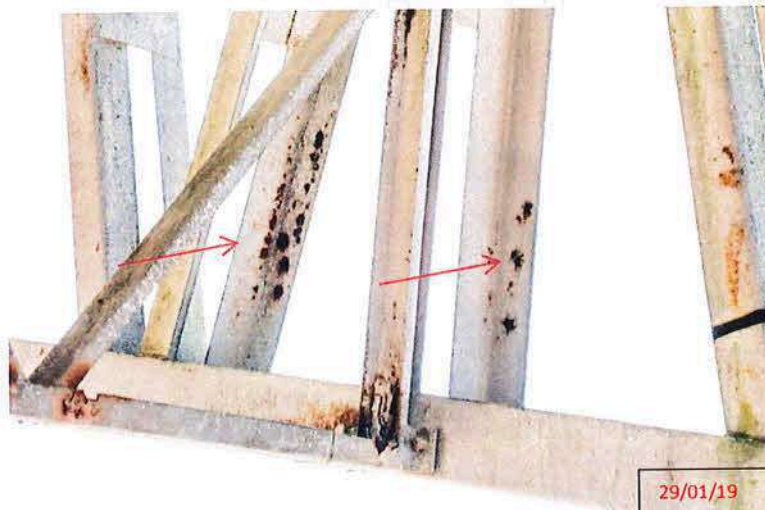


Foto 3- Corrosão acentuada nas cantoneiras



Foto 4-Corrosão nos apoios

Nas fotos 6 e 7 temos um exemplo de corrosão galvânica, devido à formação de uma pilha eletrolítica, quando peças de metais diferentes podem se comportar como eletrodos, promovendo os efeitos químicos de oxidação e redução. Esse tipo de contato é comum em construções na galvanização de parafusos, porcas e arruelas, e é provocada pela ação da umidade do ar com o oxigênio da atmosfera, e também pela maresia nas regiões litorâneas.



Foto 5 – Porcas oxidadas





Foto 6- Delaminação das porcas de junção das tesouras



Foto 7- Oxidação na parte externa da tesoura no banzo superior (corrosão uniforme)

7.2 – Verificação dimensional e geométrica das peças:

- Medidas aferidas por amostragem.



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566

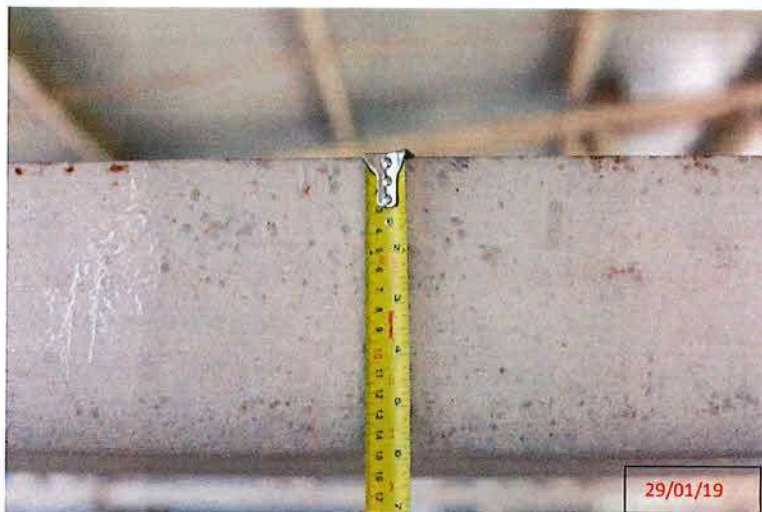


Foto 8- Verificação da geometria das peças



Foto 9- Aferição feita por ultrassom

Na foto acima, o perfil indicado em projeto da tesoura TS 09- F005- U300x150x9,50 mm - 2500 mm.





Foto 10- Medidas das diagonais



Foto 11 – Aferição com ultrassom

Na foto acima, o perfil indicado em projeto da tesoura TS13- Prancha F007- U300x150x6,35 mm -1810 mm.

### 7.3 – Ensaio de soldas pelo método Líquido penetrante:

- Banzo inferior da tesoura TS09 (Líquido Penetrante SKL-WP, marca Magnaflux validade nov/23, e Revelador SKD-S2 val nov/23.)





Foto 12- Teste LP

- Vigas de travamento VT3-F012



Foto 13- Teste LP

A peça acima apresenta problemas de montagem e estado avançado de corrosão

#### 7.4 – Análise da fabricação e montagem da estrutura metálica:



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

- 1 - Verificação por meio de inspeção, se o executado esta de acordo com o projeto, e se os materiais utilizados  
 2 são os indicados nos projetos.

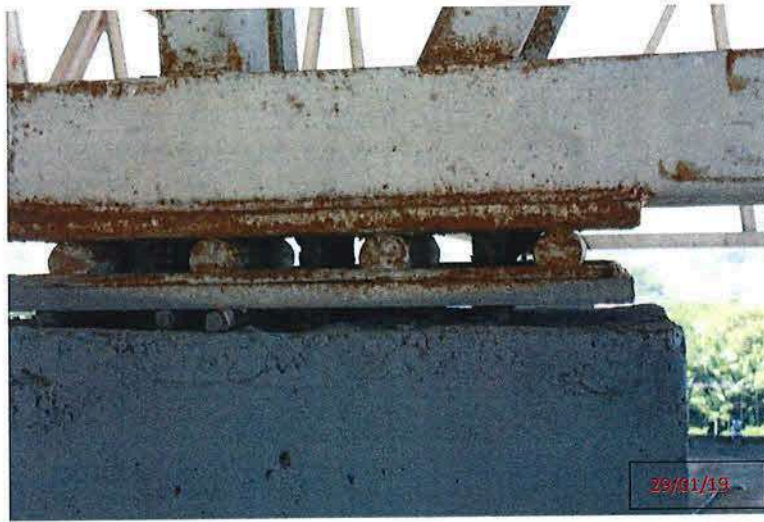


Foto 14 – Aparelho de apoio da tesoura (tesoura eixo 6 com eixo C')

Faltam dois pares de chumbadores (eixo C') – Prancha C-001

A chapa de base não apoia corretamente sobre a cabeça do pilar, caracterizando um problema na montagem.

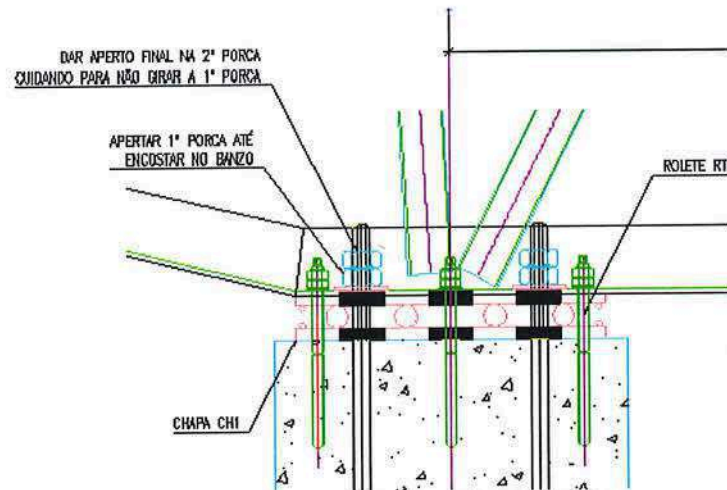


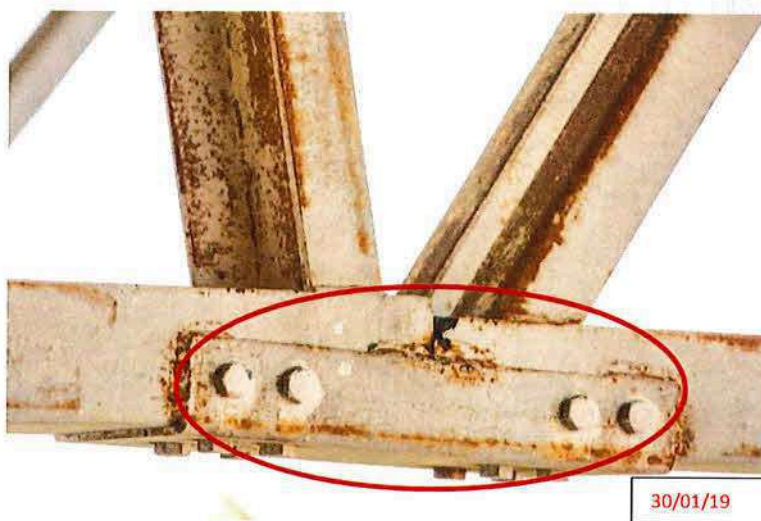
Figura 2 – Desenho Base (indicado em projeto)





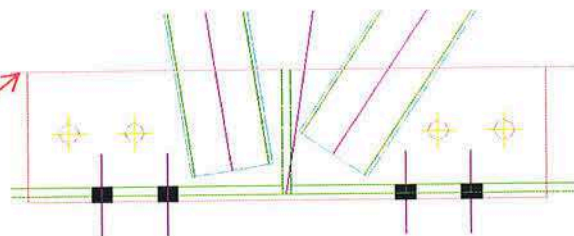
**Foto 15- Aparelho de Apoio**

O reforço na base, possivelmente problemas na ancoragem.



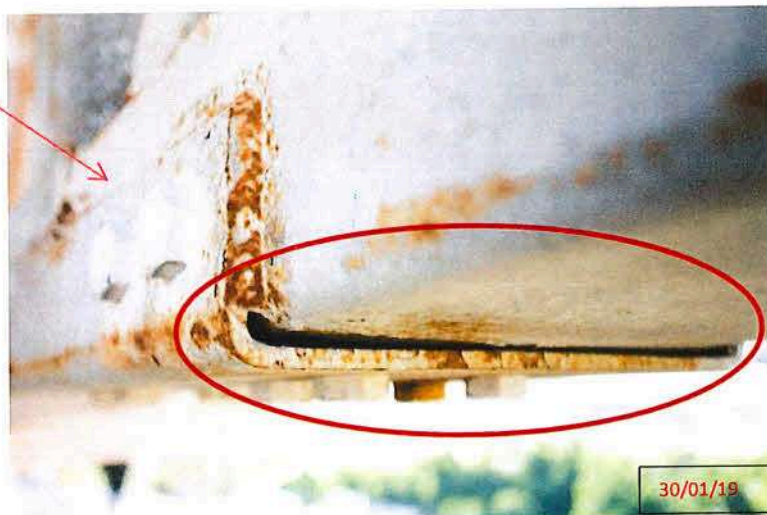
**Foto 16 - Junta Banzo inferior Tesoura (TS9/TS13)**





**Figura 3- Desenho indicativo da junção no projeto**

O projeto indica que a tala de junção tem a altura mesa igual à altura da mesa do banzo



**Foto 17- Tala de Junção de tesoura (TS9/TS13)**



**Foto 18- Desalinhamento na junção parafusada (TS9/TS13)**

- 1 Ligações parafusadas desalinhadas, complementadas com soldas feitas de maneira precária.



Foto 19 – Parafusos frouxos

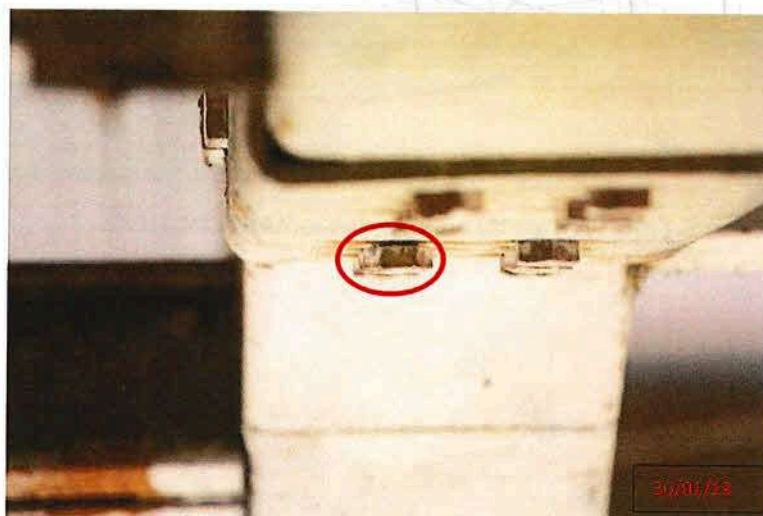
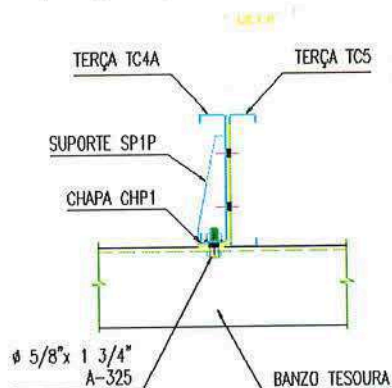


Foto 20- Parafusos necessitando de aperto



**Foto 21- Suporte das LC e terças em desacordo com o Projeto**

Suporte de travamento SP2 – F010 travamento em desacordo com o indicado em projeto, embora sem maiores implicações quanto à estabilidade da peça.



**Figura 4 – Indicação de projeto para o suporte de terço**





Foto 22- Redução da seção da cantoneira no apoio (eixo 8 com eixo D1)



Foto 23- Redução da seção da cantoneira no apoio

#### 7.5 – Inspeção das telhas, cumeeiras, calhas e rufos:

- A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes.

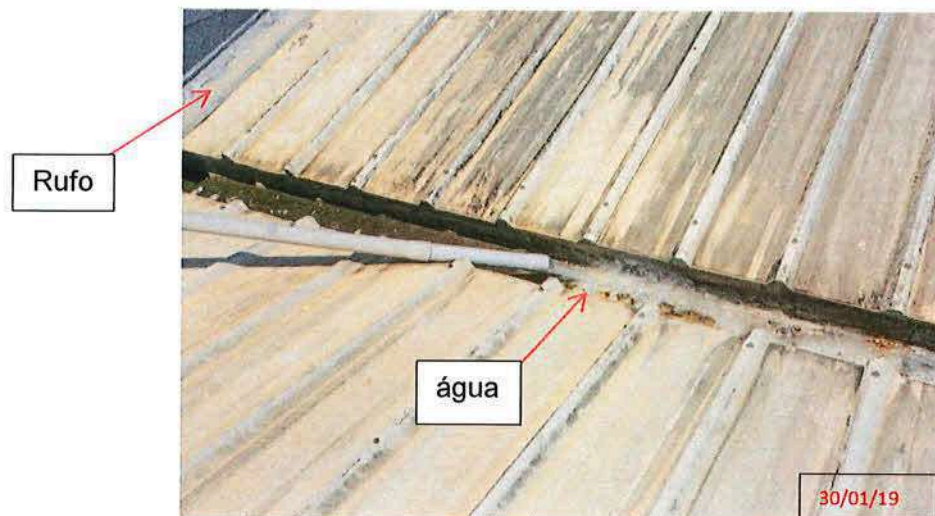


Foto 24- Calha com vazamento



Foto 25 - Calha sem fixação adequada





**Foto 26- Fluxo constante de água nas calhas**

O reservatório com problema – corre agua pelo dreno que lança na calha 24h



**Foto 27 – Calha com matéria orgânica**

Calha cheia de agua e matéria orgânica devido à falta de manutenção





**Foto 28- Pintura de proteção do telhado desgastada**

Telhas com a pintura de proteção da telha desgastada



**Foto 29 – Pintura de proteção da telha**



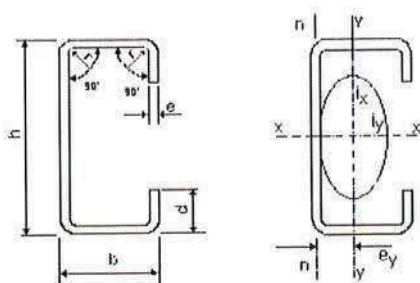
Foto 30 – Falta de cumeeira



Foto 31 – Terças com flambagem excessiva (não atende Anexo A - NBR 14762/10)

Terças com flambagem excessiva em torno dos dois eixos X-X e Y-Y





h - altura da alma  
b - largura das abas  
d - altura do elemento enrijecido  
e - espessura da chapa  
ey - distância entre o

eixo y-y e a fibra paralela mais externa  
S - área da seção  
P - peso por metro linear

Jx - momento de inércia, eixo x - x  
Jy - momento de inércia, eixo y - y  
Wx - módulo de resistência, eixo x - x  
Wy - módulo de resistência, eixo y - y  
r - raio de curvatura interno  
ix - raio de giro eixo x  
iy - raio de giro eixo y

Figura 5 – Eixos de referencia

## 08. CONCLUSÃO:

- Classificação de Risco ao Usuário, meio ambiente e ao Patrimônio dentro dos limites da inspeção, cujo objeto é a cobertura da arena – Crítica (risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralizações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil, conforme sistema IBAPE. Recomendando intervenção imediata),
- Fazendo a comparação dimensional e geométrica entre os perfis indicados em projeto e os perfis efetivamente aplicados, as peças aferidas estão de acordo com o indicado em projeto, no entanto conforme foto 22 existe suportes de terça e linhas de corrente com variações, bem como talas de emenda como apresentado na foto 18.
- As soldas mais solicitadas na tesoura principal foram inspecionadas estão em conformidade.
- O percentual de perda da seção por corrosão é de 0,94%, que conforme NBR 8800/08, tab. N1, se enquadra na categoria C4 Alta, com perda de massa entre 400 a 650 g/m<sup>2</sup>.
- De acordo com a NBR 14762/10, item 9.1.2 que estabelece valores máximos da relação largura – espessura, na tab. 4, indica  $(b/t)_{max} = 90$  (Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme), após a perda de massa  $(b/t) = 55$ , dentro dos valores aceitáveis nesse item, no entanto não atendem quanto à resistência de projeto conforme indicado em memoria de cálculo feito considerando seção plena e que agrava com a perda de seção.
- Não existe nas pranchas de projeto especificação técnica indicando o tipo de aço com suas características mecânicas ou químicas, bem como a indicação técnica sobre as soldas a serem executadas.
- Não foram apresentadas as características técnicas e indicações sobre o preparo da superfície para proteção atmosférica.
- Conforme se pode observar, existem telhas com desgaste acentuado da camada protetora no pano superior do telhado, que pode ter sido causado por falha na produção da mesma, problemas no armazenamento e ou por utilização de algum meio ácido para limpeza.

- Os rufos estão em conformidade, no entanto algumas calhas apresentaram problemas de fixação e vazamento.
- A qualidade de uma estrutura metálica depende, entre outras coisas, da escolha correta dos materiais conforme parâmetros específicos do projeto como, por exemplo, sua localização em ambientes agressivos. A ausência de informação no projeto sobre o tipo de aço, detalhamento das juntas soldadas, tipo de preparação da base e pintura, bem como a falta de documentação das diversas etapas de construção e tipos de ensaios executados durante essa fase, visando atender a qualidade e a eficiência da construção, é um indicio sobre a possibilidade de não conformidade nessas etapas construtivas sejam elas de projeto ou construção tendo como agravante a falta de manutenção.
- A degradação dos parafusos de ligação e fixação, compromete o desempenho dos elementos estruturais, comprometendo a segurança da estrutura.
- A estrutura atual não apresenta capacidade suporte para a ampliação, apenas devera ser considerado o reforço, mesmo para o aço USI SAC 300
- Conforme e-mail enviado dia 26/mar/2019 pelo Engº Aurelio Flenik, com fotos da montagem da estrutura é possível constatar na foto 32, que naquele momento não se observa as deformações na emenda das tesouras entre os eixos C e C', ocorrido possivelmente após a montagem das telhas.



**Foto 32- Alinhamento Banzo durante montagem**

- De acordo com a NBR 15.575 define o que é vida útil de projeto (VUP), conceito que difere de prazo de garantia. A VUP é o tempo dentro do qual o edifício e seus sistemas devem atender aos requisitos de desempenho estabelecidos. Já o Prazo de Garantia é o período de tempo no qual a ocorrência de defeitos não pode ser justificada por mau uso ou envelhecimento natural, garantido pelo construtor ou incorporador. Desse modo, as estruturas, independentemente de sua



constituição, deverão apresentar uma vida útil de projeto de, no mínimo, 40 anos conforme tab. 1 da norma.

**Tabela 1 – VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP) PARA DIFERENTES SISTEMAS DA EDIFICAÇÃO. DE ACORDO COM A NBR 15.575**

| Sistema                  | VUP mínima, anos |
|--------------------------|------------------|
| Estrutura                | ≥ 40             |
| Vedação vertical externa | ≥ 40             |
| Vedação vertical interna | ≥ 20             |
| Cobertura                | ≥ 20             |
| Hidrossanitário          | ≥ 20             |
| Pisos internos           | ≥ 13             |

- De acordo com a NBR 14762/10, os estados-limites últimos (ELU) relacionados com a segurança da estrutura sujeita as combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a sua vida útil projetada, e os estados-limites de Serviço (ELS) estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização. Conforme NBR 14762/10 no item 5.2.2 o método dos estados-limites utilizado para dimensionamento de uma estrutura exige que nenhum estado-limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações apropriadas de ações. Se um ou mais estados-limites forem excedidos, a estrutura não atende mais aos objetivos para os quais foi projetada. Conforme demonstrado em memória de cálculo à estrutura não atende aos estados-limites, assim a estrutura não possui vida útil residual, sendo necessário que seja feito com urgência o reforço recomendado, jateamento, pintura, troca dos travamentos e implantação de um plano de manutenção periódica com vistoria anual para atestar as reais condições, retomando a sua funcionalidade e a vida útil prevista.
- Conforme ANEXO N – NBR 8800 – Uma corrosão significativa do aço acontece quando a umidade relativa do ar for superior a 80% e em temperaturas superiores a 0° C. Entretanto, se agentes poluentes ou sais higroscópicos estiverem presentes a corrosão pode acontecer em umidades inferiores.
- Conforme Item N.2 NBR 8800 – Classificação dos ambientes- Tabela N1, a estrutura analisada é classificada com C5-M muito alta (marinha), estruturas em áreas costeiras e offshore com alta salinidade, e tem perda de massa entre 650 a 1500 g/cm², após um ano de exposição.
- Conforme item 10.4.4 da NBR 8800 – Para assegurar que a estrutura mantenha suas características durante o período de vida útil de projeto, os elementos de aço, inclusive os integrantes de estruturas mistas, devem ser devidamente protegidos contra corrosão, e quaisquer outros fatores de agressividade, quando isto for necessário, sendo que tal proteção deve sofrer um processo de inspeção periódica.



- A aparição de pites de corrosão nos perfis, possivelmente ocasionado pela ausência de exigência mínima de especificação de tratamento prévio do metal base de perfis de chapas dobradas, em especial que se recomenda o uso do JATEAMENTO, etapa considerada importante para a garantia de durabilidade e vida útil de estruturas metálicas, sobretudo em zonas muito próximas da orla marítima.
- item N.4.4 NBR 8800 – precauções para prevenir a retenção de água ou sujeira
- Não existe uma única causa para deterioração, mas sim uma combinação de causas prováveis como por falha na indicação ou na execução do preparo e pintura para ambientes agressivos, materiais utilizados, e ainda agravado pela falta de manutenção durante os 15 anos de utilização ou manutenção sem o devido conhecimento técnico.
- Não foi apresentado pelo contratante a memória de cálculo e memorial descritivo do projeto executado, não sendo possível fazer qualquer comentário sobre os mesmos.
- Resultados do cálculo estrutural

Obs.: Não foi considerado no cálculo peças com perda seção.

Cálculo feito de acordo com NBR 14762- vide Anexo I – memória de cálculo

| item                   | peça              | perfil          | posição           | dimensionamento | ver |
|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----|
| 1                      | perfil de projeto | U 300x100# 3,75 | TS1 - bz superior | atende          | mc  |
|                        | perfil utilizado  | U 300x100# 3,75 | TS1 - bz superior | atende          |     |
| 2                      | perfil de projeto | U 300x100# 4,75 | TS1 - bz inferior | atende          | mc  |
|                        | perfil utilizado  | U 300x100# 4,75 | TS1 - bz inferior | atende          |     |
| 3                      | perfil de projeto | 2L 100x 3,85    | TS1 - diagonais   | não atende      | mc  |
|                        | perfil utilizado  | 2L 100x 3,85    | TS1 - diagonais   | não atende      |     |
| obs. : TS1=TS2=TS3=TS4 |                   |                 |                   |                 |     |

| item                   | peça              | perfil          | posição           | dimensionamento | ver |
|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----|
| 1                      | perfil de projeto | U 300x100# 6,35 | TS1 - bz superior | não atende      | mc  |
|                        | perfil utilizado  | U 300x100# 6,35 | TS1 - bz superior | não atende      |     |
| 2                      | perfil de projeto | U 300x100# 4,75 | TS1 - bz inferior | não atende      | mc  |
|                        | perfil utilizado  | U 300x100# 4,75 | TS1 - bz inferior | não atende      |     |
| 3                      | perfil de projeto | 2L 100x 4,76    | TS1 - diagonais   | não atende      | mc  |
|                        | perfil utilizado  | 2L 100x 4,76    | TS1 - diagonais   | não atende      |     |
| obs. : TS5=TS6=TS7=TS8 |                   |                 |                   |                 |     |





| item            | peça              | perfil          | posição           | dimensionamento | ver |
|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----|
| 1               | perfil de projeto | U 300x100# 3,75 | TS9 - bz superior | não atende      | mc  |
|                 | perfil utilizado  | U 300x100# 3,75 | TS9 - bz superior | não atende      |     |
| 2               | perfil de projeto | U 300x100# 4,75 | TS9 - bz inferior | não atende      | mc  |
|                 | perfil utilizado  | U 300x100# 4,75 | TS9 - bz inferior | não atende      |     |
| 3               | perfil de projeto | 2L 100x 3,85    | TS9 - diagonais   | não atende      | mc  |
|                 | perfil utilizado  | 2L 100x 3,85    | TS9 - diagonais   | não atende      |     |
| obs. : TS9=TS10 |                   |                 |                   |                 |     |

| item             | peça              | perfil         | posição            | dimensionamento | ver |
|------------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----|
| 1                | perfil de projeto | U 300x150# 6,4 | TS13 - bz superior | atende          | mc  |
|                  | perfil utilizado  | U 300x150# 6,4 | TS13 - bz superior | atende          |     |
| 2                | perfil de projeto | U 300x150# 10  | TS13 - bz inferior | atende          | mc  |
|                  | perfil utilizado  | U 300x150# 110 | TS13 - bz inferior | atende          |     |
| 3                | perfil de projeto | 2L 100x 6,35   | TS13 - diagonais   | atende          | mc  |
|                  | perfil utilizado  | 2L 100x 6,35   | TS13 - diagonais   | atende          |     |
| obs. : TS13=TS14 |                   |                |                    |                 |     |

#### 09. Medidas Corretivas:

- Diante do exposto acima a estrutura existente não cumpre os requisitos da norma atual, recomenda-se preventivamente interditar a arquibancada coberta (cadeiras da arquibancada da área coberta) ao uso e proceder o mais breve possível à recuperação da estrutura. Caso não seja viável a interdição, um especialista em estrutura metálica deverá antes de qualquer evento avaliar e atestar as condições de segurança para uso específico.
- Deverá ser feito ensaio destrutivo para qualificar o tipo de aço empregado na estrutura, para então se refazer o projeto e verificar a possibilidade de reforço ou a troca de toda estrutura, pois o tipo de aço é fator preponderante na viabilidade de execução de tais serviços.
- Realinhar e enrijecer as ligações parafusadas, substituindo as secções oxidadas das peças deterioradas nas ligações parafusadas das tesouras TS9/TS13(bz inf.), TS10/TS14(bz inf.), TS11/TS15(bz inf.), TS12/TS160(bz inf.).
- Nivelar a base das tesouras , grautear e substituir os chumbadores com corrosão.
- Refazer o tratamento superficial em toda a estrutura, com jateamento e pintura de fundo com epóxi e acabamento em PU.



- 1 ➤ Reaperto de todos os parafusos, com substituição dos oxidados.
- 2 ➤ Enrijecer com tala o banzo inferior da tesoura onde houve deslocamento do nó entre os apoios.
- 3 ➤ Substituição de todos os parafusos autobrocantes oxidados do telhado
- 4 ➤ Manutenção nas calhas, refazer os apoios e tirar os vazamentos, verificar a vazão.
- 5 ➤ Troca de todas as tesouras de travamento, seguindo o projeto original.
- 6 ➤ Deve ser adotado um plano de manutenção, que deve compreender inspeções rotineiras anuais, que
- 7 se baseiam numa observação visual, com manutenções simples, limpeza, reaperto de parafuso, ou
- 8 inspeções com uso de técnicas mais específicas a cada 5 anos, utilizando ensaios não destrutivos.
- 9 ➤ Expectativa de custos

|                              |                      |           |     |              |
|------------------------------|----------------------|-----------|-----|--------------|
| estrutura nova sem ampliação | 3.904 m <sup>2</sup> |           | R\$ | 2.179.848,00 |
| desmontagem                  | 76.800 kg            | R\$ 5,00  | R\$ | 384.000,00   |
| fabricacao e montagem        | 80.500 kg            | R\$ 18,00 | R\$ | 1.449.000,00 |
| projetos                     | 3.904 m <sup>2</sup> | R\$ 12,00 | R\$ | 46.848,00    |
| telha                        | 4.000 m <sup>2</sup> | R\$ 75,00 | R\$ | 300.000,00   |

|                              |                      |           |     |              |
|------------------------------|----------------------|-----------|-----|--------------|
| estrutura nova com ampliação | 4.392 m <sup>2</sup> |           | R\$ | 2.437.704,00 |
| desmontagem                  | 76.800 kg            | R\$ 5,00  | R\$ | 384.000,00   |
| fabricacao e montagem        | 92.000 kg            | R\$ 18,00 | R\$ | 1.656.000,00 |
| projetos                     | 4.392 m <sup>2</sup> | R\$ 12,00 | R\$ | 52.704,00    |
| telha                        | 4.600 m <sup>2</sup> | R\$ 75,00 | R\$ | 345.000,00   |

|                      |                      |            |     |              |
|----------------------|----------------------|------------|-----|--------------|
| Recuperação          | 3.904 m <sup>2</sup> |            | R\$ | 1.297.648,00 |
| jateamento e pintura | 5.534 kg             | R\$ 200,00 | R\$ | 1.106.800,00 |
| reforço              | 8.000 kg             | R\$ 18,00  | R\$ | 144.000,00   |
| projeto              | 3.904 m <sup>2</sup> | R\$ 12,00  | R\$ | 46.848,00    |

*obs. Os preços acima são estimados*





- 1 Anexo I - memória de cálculo estrutura atual
- 2 Anexo II - memória de cálculo estrutura ampliada
- 3 Anexo III – Resultado Ensaios
- 4 Relatório de Ensaio nº AJ001/2019 – REV 0
- 5 Relatório de Ensaio nº AJ002/2019 – REV 0
- 6 Relatório de Ensaio nº AJ003/2019 – REV 0
- 7 Relatório de Ensaio nº AJ004/2019 – REV 0
- 8 relatório de Ensaio nº AJ005/2019 – REV 0
- 9 Relatório de Ensaio nº AJ006/2019 – REV 0
- 10 Relatório de Ensaio nº AJ007/2019 – REV 0
- 11 Relatório de Ensaio nº AJ008/2019 – REV 0
- 12 Relatório de Ensaio nº AJ009/2019 – REV 0
- 13 Relatório de Ensaio nº AJ010/2019 – REV 0
- 14 Relatório de Ensaio nº AJ011/2019 – REV 0
- 15 Relatório de Ensaio nº AJ012/2019 – REV 0
- 16 Relatório de Ensaio nº AJ013/2019 – REV 0
- 17 Relatório de Ensaio nº AJ014/2019 – REV 0
- 18 Anexo IV - Check list
- 19 Anexo V - mapa de situação das fotos e ensaios
- 20 Anexo VI - ART
- 21 Anexo VII – Certificado de Calibração

22 **Araraquara/S.P., 18 de março de 2.019**

23

24

25

**MARCOS D. ZAVAGLIO**

Eng.º Civil/Mecânico – C.R.E.A. nº 5060488452



## ANEXO I

### Memória de Cálculo Estrutura Atual





## ANEXO I

### Memória de Cálculo Estrutura Atual



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566

EM BRANCO



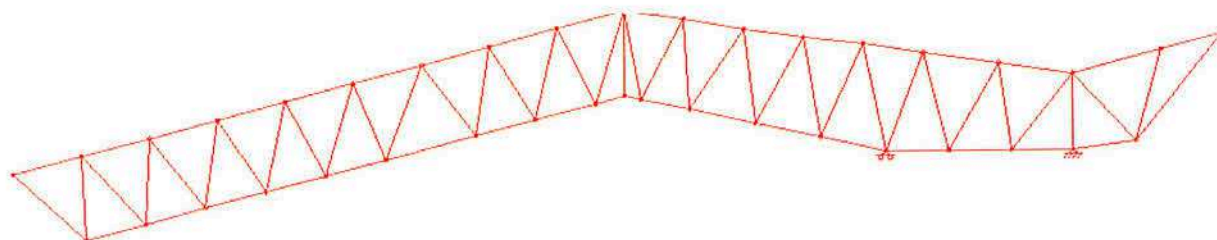


Figura 6- Esquema estático adotado (Prancha M-001)

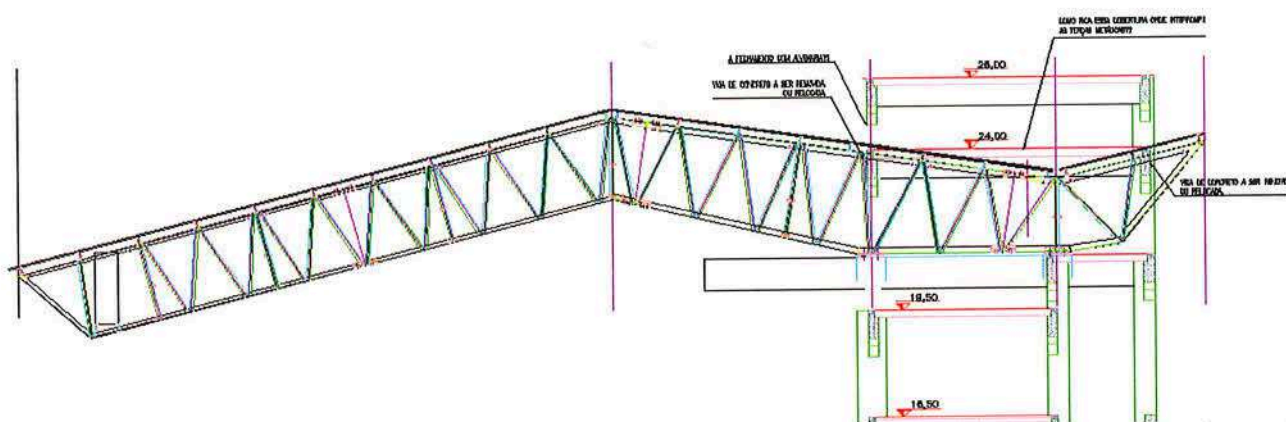


Figura 7 – Diagrama de montagem

Memória de Cálculo : Para estrutura da estrutura atual

#### Dados da Obra

Dimensão total =  $32,00 \times 122 = 3.904,00 \text{ m}^2$

-a altura da edificação 26,22 m;

#### Carregamentos Adotados

- peso próprio da estrutura

- peso próprio calha + agua + iluminação - 0,15 KN/m



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

- 1 - Passarela técnica – 1,5 KN/m<sup>2</sup> (passarela + iluminação)
- 2 - peso próprio da telha – 0,14 KN/m<sup>2</sup>
- 3 (telha Recheada 30 mm poliuretano (e= 0,65 mm) 13,64 kg/m<sup>2</sup> - 0,1364 KN/m<sup>2</sup> - fonte ([www.tuper.com.br](http://www.tuper.com.br)))
- 4 -sobrecarga de utilização no telhado – 0.15 KN/m<sup>2</sup>
- 5 - vento (NBR 6123)
- 6  $V_o = 40,00$  m/s
- 7  $S1 = 1,0$  (terreno plano fracamente acidentado)
- 8  $S2 = 0.93$  (CAT IV – classe C)
- 9  $h = 26,00$  m
- 10  $S3 = 1,0$  (grupo 2 – alto fator de ocupação)
- 11
- 12  $V_k = 40,00 \times 1,0 \times 0.93 \times 1,00 = 37,20$  m/s
- 13
- 14  $q = 0,613 \times 37,20^2 = 848,30$  N/m<sup>2</sup> = 0.84 KN/m<sup>2</sup>
- 15
- 16 Coeficiente de pressão interna ( Cpi 4 faces igualmente permeáveis)
- 17 Cpi 1 = - 0,30
- 18 Cpi2 = 0,00

## Estados limites

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| E.L.U. Aço dobrado  | NBR 14762: 2010       |
| E.L.U. Aço laminado | NBR 8800: 2008        |
| Deslocamentos       | Ações características |

## Combinações

### ▪ Nomes das ações

- PP      Peso próprio  
 CP 1    calha + agua  
 SCU 1   sobrecarga  
 V 1     vento 0  
 V 2     vento 90

### ▪ E.L.U. Aço dobrado

| Comb. | PP    | CP 1  | SCU 1 | V 1 | V 2 |  |  |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----|--|--|
| 1     | 1.000 | 1.000 |       |     |     |  |  |
| 2     | 1.250 | 1.000 |       |     |     |  |  |





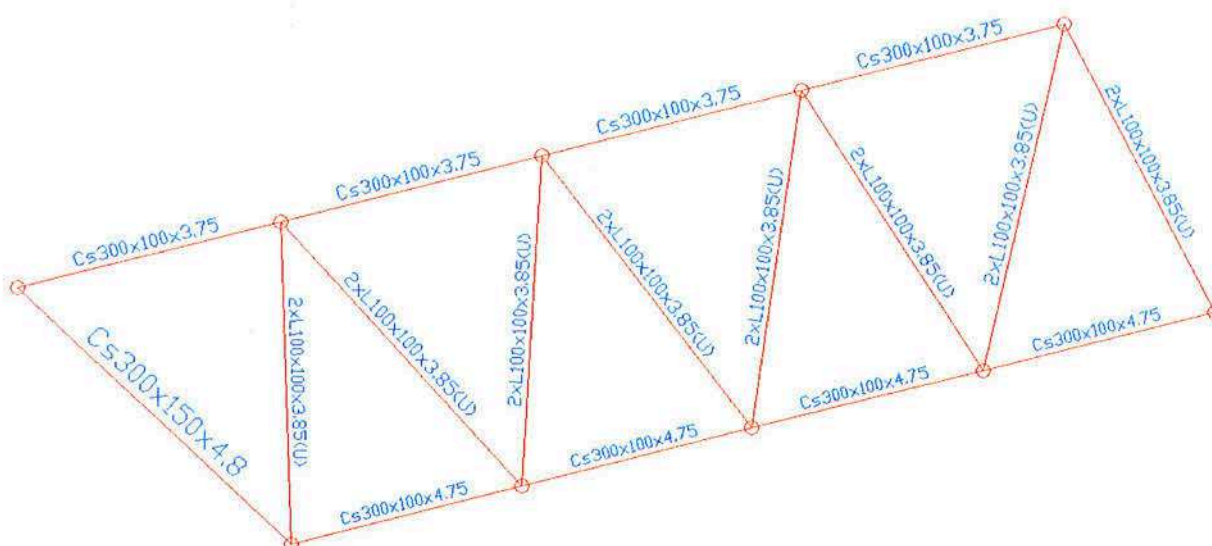
|    |       |       |       |       |       |  |  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 3  | 1.000 | 1.250 |       |       |       |  |  |
| 4  | 1.250 | 1.250 |       |       |       |  |  |
| 5  | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |       |  |  |
| 6  | 1.250 | 1.000 | 1.500 |       |       |  |  |
| 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 |       |  |  |
| 20 | 1.250 | 1.250 | 1.500 | 0.840 |       |  |  |
| 21 | 1.000 | 1.000 |       |       | 1.400 |  |  |
| 22 | 1.250 | 1.000 |       |       | 1.400 |  |  |
| 23 | 1.000 | 1.250 |       |       | 1.400 |  |  |
| 24 | 1.250 | 1.250 |       |       | 1.400 |  |  |
| 25 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |       | 1.400 |  |  |
| 26 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |       | 1.400 |  |  |
| 27 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |       | 1.400 |  |  |
| 28 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |       | 1.400 |  |  |
| 29 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       | 0.840 |  |  |
| 30 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |       | 0.840 |  |  |
| 31 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |       | 0.840 |  |  |
| 32 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |       | 0.840 |  |  |
| 33 | 1.000 | 1.000 |       |       |       |  |  |
| 34 | 1.250 | 1.000 |       |       |       |  |  |
| 35 | 1.000 | 1.250 |       |       |       |  |  |
| 36 | 1.250 | 1.250 |       |       |       |  |  |
| 37 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |       |       |  |  |
| 38 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |       |       |  |  |
| 39 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |       |       |  |  |
| 40 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |       |       |  |  |
| 41 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |       |       |  |  |
| 42 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |       |       |  |  |
| 43 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |       |       |  |  |
| 44 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |       |       |  |  |
| 45 | 1.000 | 1.000 |       |       |       |  |  |
| 46 | 1.250 | 1.000 |       |       |       |  |  |
| 47 | 1.000 | 1.250 |       |       |       |  |  |



|    |       |       |       |  |  |  |  |
|----|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| 48 | 1.250 | 1.250 |       |  |  |  |  |
| 49 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |  |  |  |  |
| 50 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |  |  |  |  |
| 51 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |  |  |  |  |
| 52 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |  |  |  |  |
| 53 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |  |  |  |  |
| 54 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |  |  |  |  |
| 55 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |  |  |  |  |
| 56 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |  |  |  |  |

1  
2 Dimensionamento

3 Tesoura TS1



4  
5 Banzo Superior TS1

**Perfil: UD 300x100x3.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**



**Perfil: UD 300x100x3.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Y

X

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N773    | N838  | 1.864              | 18.24                      | 2376.69                                             | 164.63                                              | 0.86                                                | -28.32                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.864     | 1.864    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)          |                                                         |                        |                                                 |                   |                        |                       |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | b/t                                         | λ                                                       | N <sub>t</sub>         | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>    | M <sub>y</sub>         | V <sub>x</sub>        | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                           |
| N773/N838                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | x: 0 m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤ 90<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.864 m<br>η = 35.4 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>η = 6.7 | x: 1.864 m<br>η = 13.3 | x: 1.864 m<br>η = 0.8 | η = 0.6        | x: 0 m<br>η = 0.4             | x: 1.864 m<br>η = 1.8         | N.P. <sup>(2)</sup>                             | x: 1.864 m<br>η = 54.9                       | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>η = 54.9 |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>λ: Limitação de esbeltez<br>N <sub>t</sub> : Resistência à tração<br>N <sub>c</sub> : Resistência à compressão<br>M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X<br>M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y<br>V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X<br>V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y<br>M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão<br>N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração<br>M <sub>t</sub> : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>η: Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                             |                                                         |                        |                                                 |                   |                        |                       |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                             |                                                         |                        |                                                 |                   |                        |                       |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |

**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 N773.

Elemento: Alma





Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b/t) : 75 \quad \checkmark$$

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.

$$b : 282.50 \text{ mm}$$

**t:** A espessura.

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

#### 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.

$$\lambda_{xx} : 16.3 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 62.0 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 1.864 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.864 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.41 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 3.00 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.354 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N838, para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

**$N_{t,SD}$ :** Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,SD} : 121.38 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:



$$N_{t,Rd} : 343.29 \text{ kN}$$

Onde:

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_v$ :** Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 18.24 \text{ cm}^2$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### **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:

$$\eta : 0.067 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N773, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 131.14 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$



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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.133} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : \underline{0.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{3.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{20.53} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : \underline{0.60} \text{ kN}$$





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

$$V_{Sd} : 0.30 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 38.64 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 24.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

$$h : 91.25 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.76 \text{ kN}$$

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

$$^{(2)}V_{Rd} : 119.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 75.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t**: 3.75 mm

**h**: Largura da alma.

**h**: 282.50 mm

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

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E**: 200000 MPa

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

**γ**: 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>**: 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 N773, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η**: 0.004 ✓

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>sd</sub>**: 1.65 kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**M<sub>0,Rd</sub>**: 24.68 kN·m

**V<sub>sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>sd</sub>**: 0.12 kN

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**V<sub>Rd</sub>**: 119.56 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 N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η**: 0.018 ✓

Onde:



$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.  
 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
 $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.  
 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.2.

$M_{Sd}$ : 0.51 kN·m  
 $M_{0,Rd}$ : 3.86 kN·m  
 $V_{Sd}$ : 0.60 kN  
 $V_{Rd}$ : 77.27 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 N838, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$ : 0.549 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.  
 $M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.  
 $N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.  
 $M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$ : 121.38 kN  
 $M_{x,Sd}$ : 1.54 kN·m  
 $M_{y,Sd}$ : 0.51 kN·m  
 $N_{Rd}$ : 343.29 kN  
 $M_{x,Rd}$ : 24.68 kN·m  
 $M_{y,Rd}$ : 3.86 kN·m

Banzo Inferior TS 1

**Perfil: UD 300x100x4.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Autenticação: Agc 91424 03/06/2019 14:07

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N19     | N18   | 1.659              | 22.99                      | 2971.68                                             | 205.34                                              | 1.73                                                | -27.92                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.659     | 1.659    | 0.000             | 0.000    |
| 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





1

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                           |                         |                             |                            |                            |              |                            |                            |                             |                     |                                           | Estado                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                     | $N_c$                   | $M_x$                       | $M_y$                      | $V_x$                      | $V_y$        | $M_x V_y$                  | $M_y V_x$                  | $N_c M_x M_y$               | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                     |                                |
| N19/N18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t, Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 51.9$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 21.5$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 8.7$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 0.5$ | $\eta = 1.7$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 4.7$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 0.8$ | x: 1.659 m<br>$\eta = 82.1$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t, Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>$\eta = 82.1$ |
| <p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p><math>\lambda</math>: Limitação de esbeltez</p> <p><math>N_t</math>: Resistência à tração</p> <p><math>N_c</math>: Resistência à compressão</p> <p><math>M_x</math>: Resistência à flexão eixo X</p> <p><math>M_y</math>: Resistência à flexão eixo Y</p> <p><math>V_x</math>: Resistência ao esforço cortante X</p> <p><math>V_y</math>: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p><math>M_x V_y</math>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados</p> <p><math>M_y V_x</math>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados</p> <p><math>N_c M_x M_y</math>: Resistência à flexo-compressão</p> <p><math>N_t M_x M_y</math>: Resistência à flexo-tração</p> <p><math>M_t</math>: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p><math>\eta</math>: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.</p> <p><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p> |                                    |                                                             |                                           |                         |                             |                            |                            |              |                            |                            |                             |                     |                                           |                                |

3

4

5

6

7

8

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 280.50 mm

**t** : 4.75 mm

9

10

11

12

13

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 14.6 ✓

$\lambda_{yy}$  : 55.5 ✓



Onde:

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

$$K_x L_x : 1.659 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.659 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.37 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 2.99 \text{ cm}$$

### **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)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.519 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N19, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 149.32 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : 287.81 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 19.10 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.87$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : 0.57$$

$$\lambda_{0,xz} : 0.15$$



Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 22.99 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 1472.71 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$ : 1472.71 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 21312.72 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 21312.72 kN

$N_{ez}$ :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$I_x$ : 2971.68 cm<sup>4</sup>

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

$I_y$ : 205.34 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$I_t$ : 1.73 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$C_w$ : 31289.05 cm<sup>6</sup>

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$G$ : 76923 MPa

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

$K_x L_x$ : 1.659 m

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

$K_y L_y$ : 1.659 m

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

$K_z L_z$ : 0.000 m





$$r_0 : 12.89 \text{ cm}$$

Sendo:

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

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

$$r_x : 11.37 \text{ cm}$$

$$r_y : 2.99 \text{ cm}$$

$$x_0 : -52.82 \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.215 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 7.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 177.45 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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



Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.087} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : \underline{0.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{4.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{25.62} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : \underline{0.47} \text{ kN}$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.23} \text{ kN}$$



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

$$^{(1)}V_{Rd} : 48.40 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 4.75 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 90.25 \text{ mm}$$

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

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

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 150.44 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 59.05$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$





Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

**t**: 4.75 mm

**h**: 280.50 mm

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 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 N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η**: 0.047 ✓

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**V<sub>sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>sd</sub>**: 7.19 kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>**: 33.39 kN·m

**V<sub>sd</sub>**: 2.51 kN

**V<sub>Rd</sub>**: 150.44 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·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η**: 0.008 ✓



Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$ : 0.42 kN·m

$M_{0,Rd}$ : 4.82 kN·m

$V_{Sd}$ : 0.47 kN

$V_{Rd}$ : 96.81 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$ : 0.821 ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$N_{c,Sd}$ : 149.23 kN

$M_{x,Sd}$ : 7.19 kN·m

$M_{y,Sd}$ : 0.42 kN·m

$N_{c,Rd}$ : 287.81 kN

$M_{x,Rd}$ : 33.39 kN·m

$M_{y,Rd}$ : 4.82 kN·m

Diagonal TS 1

**Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Material: Aço (AISI SAE 1020)

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N20     | N760  | 2.383              | 14.91                      | 150.04                                              | 4808.97                                             | 0.74                                                | 0.00                                  | -23.22                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>k</sub> | 2.383     | 2.383    | 0.000             | 0.000    |
| 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





| Barra                                                                            | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          | Estado                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                  | b/t                                | $\lambda$                 | $N_t$        | $N_c$          | $M_u$           | $M_v$         | $V_u$        | $V_v$        | $M_u V_v$       | $M_v V_u$    | $N_c M_u M_v$   | $N_t M_u M_v$   | $M_t$                                    |                              |
| N20/N760                                                                         | $(b/t) \leq 200$<br>Passa          | $\lambda_{uu,c} \leq 200$ | x:<br>2.383  | x:<br>2.383    | x:<br>2.383     | x:<br>2.383   | x:<br>2.383  | x:<br>2.383  | x:<br>2.383     | x:<br>2.383  | x:<br>2.185     | x:<br>2.383     | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | NÃO PASSA<br>$\eta > 1000.0$ |
|                                                                                  |                                    | $\lambda_{vv,c} \leq 200$ | m            | m              | m               | m             | m            | m            | m               | m            | m               | m               |                                          |                              |
|                                                                                  |                                    | Passa                     | $\eta = 5.2$ | $\eta = 117.2$ | $\eta > 1000.0$ | $\eta = 14.3$ | $\eta = 3.0$ | $\eta = 3.0$ | $\eta > 1000.0$ | $\eta = 2.1$ | $\eta > 1000.0$ | $\eta > 1000.0$ |                                          |                              |
| Notação:                                                                         |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura                            |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $\lambda$ : Limitação de esbeltez                                                |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $N_t$ : Resistência à tração                                                     |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $N_c$ : Resistência à compressão                                                 |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $M_u$ : Resistência à flexão eixo U                                              |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $M_v$ : Resistência à flexão eixo V                                              |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $V_u$ : Resistência ao esforço cortante U                                        |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $V_v$ : Resistência ao esforço cortante V                                        |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $M_u V_v$ : Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados      |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $M_v V_u$ : Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados      |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $N_c M_u M_v$ : Resistência à flexo-compressão                                   |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $N_t M_u M_v$ : Resistência à flexo-tração                                       |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $M_t$ : Resistência à torção                                                     |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| x: Distância à origem da barra                                                   |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| $\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)                                       |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| N.P.: Não procede                                                                |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):                        |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |
| <sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. |                                    |                           |              |                |                 |               |              |              |                 |              |                 |                 |                                          |                              |

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b : 92.30 mm

t : 3.85 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 75.1 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 40.3 ✓





$$\lambda_{uu,s} : 19.7 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{vv,s} : 40.3 \quad \checkmark$$

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,c} : 2.383 \text{ m}$$

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,c} : 7.239 \text{ m}$$

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,c} : 3.17 \text{ cm}$$

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : 17.96 \text{ cm}$$

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : 0.794 \text{ m}$$

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : 0.794 \text{ m}$$

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : 4.03 \text{ cm}$$

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : 1.97 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.052 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações PP+1.25·PPT+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 7.27 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 140.27 \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 7.45 \text{ cm}^2$$



$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 1.172 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$ : 62.69 kN

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

$N_{c,Rd}$ : 53.50 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$ : 6.53 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{vv}$ : 0.93

Sendo:

$\chi_{xz}$ : 0.48

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,vv}$ : 0.41

$\lambda_{0,xz}$ : 1.33

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A :** 7.45 cm<sup>2</sup>

**$f_v$  :** 207.00 MPa

**$\gamma$  :** 1.2

A força normal de flambagem elástica  **$N_e$**  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

**$N_e$  :** 86.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

**$N_{ev}$  :** 906.35 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

**$N_{exz}$  :** 86.78 kN

Onde:

**$N_{ex}$  :** 3785.84 kN

**$N_{ez}$  :** 87.55 kN

**$I_u$ :** Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

**$I_u$  :** 121.06 cm<sup>4</sup>

**$I_v$ :** Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

**$I_v$  :** 28.98 cm<sup>4</sup>

**$I_t$ :** Momento de inércia à torção uniforme.

**$I_t$  :** 0.37 cm<sup>4</sup>

**$C_w$ :** Constante de empenamento da seção.

**$C_w$  :** 0.01 cm<sup>6</sup>

**G:** Módulo de elasticidade transversal.

**E :** 200000 MPa

**G :** 76923 MPa

**$K_u L_u$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

**$K_u L_u$  :** 0.794 m

**$K_v L_v$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

**$K_v L_v$  :** 0.794 m

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

**$K_z L_z$  :** 0.794 m

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

**$r_0$  :** 5.69 cm

Sendo:





$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$r_u$  : 4.03 cm

$r_v$  : 1.97 cm

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$u_0$  : -34.98 mm

$v_0$  : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 41.783 X

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{sd}$  : 0.22 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 0.01 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 0.01 kN·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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$W_{ef}$  : 0.03 cm<sup>3</sup>

$f_v$  : 207.00 MPa

$\gamma$  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.143 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.030 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$



para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$



1

2

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.030 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.**h**: Largura da alma.**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.**E**: Módulo de elasticidade.**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.**K<sub>V</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma : 1.1$$

$$K_V : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$



para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

f<sub>v</sub>: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: 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:

$$K_v : 1.20$$

#### Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 1745.829 \text{ X}$$

Onde:

M<sub>Sd</sub>: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M<sub>0,Rd</sub>: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V<sub>Sd</sub>: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

V<sub>Rd</sub>: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

#### Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.021 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 2.185 m do nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

$$\eta : 30.212 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 0.20 \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Sd} : 0.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : 0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 53.50 \text{ kN}$$

$$M_{u,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : 1.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N760, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:





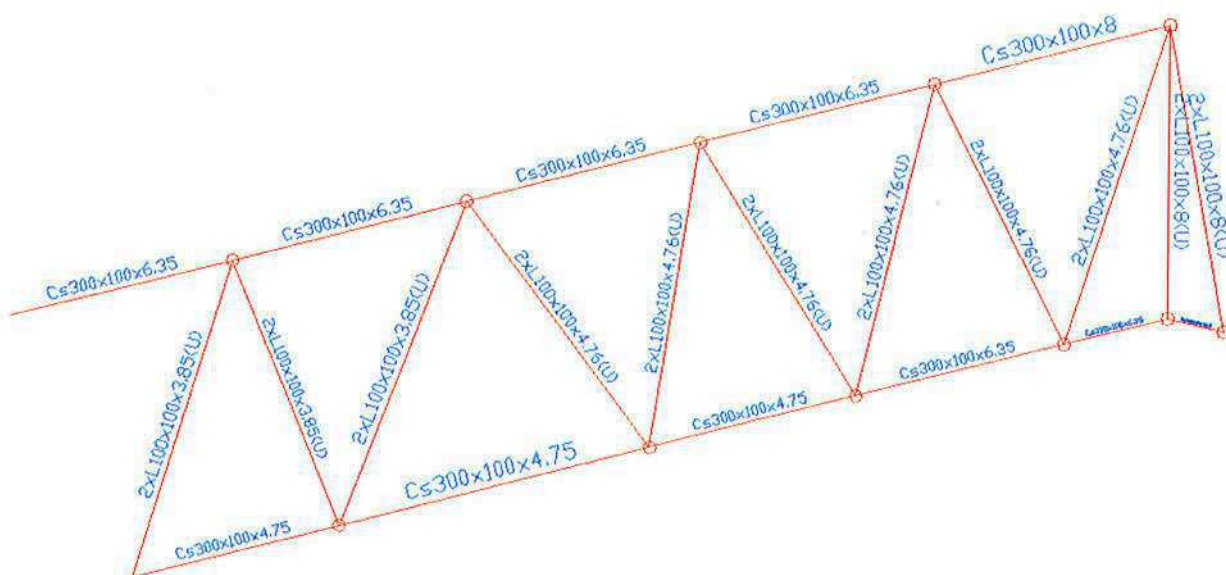
$\eta$  : 41.859 X

Onde:

 $N_{t,sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo. $M_{u,sd}$ ,  $M_{v,sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente. $N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. $M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

|            |   |        |      |
|------------|---|--------|------|
| $N_{t,sd}$ | : | 5.54   | kN   |
| $M_{u,sd}$ | : | 0.22   | kN·m |
| $M_{v,sd}$ | : | 0.06   | kN·m |
| $N_{Rd}$   | : | 140.27 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ | : | 0.01   | kN·m |
| $M_{v,Rd}$ | : | 1.52   | kN·m |

Tesoura TS5



Banzo superior TS 5

**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020 )**



**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| 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>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) |
| N799 | N8              | 1.977 | 30.49                     | 3890.53                                          | 267.79                                           | 4.10                                             | -27.28                             | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.977     | 1.977    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra       | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)                    |                                                         |                           |                                                 |                           |                           |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                               |
|-------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
|             | b/t                                                   | λ                                                       | N <sub>t</sub>            | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>            | M <sub>y</sub>            | V <sub>x</sub>           | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                                      |
| N799/<br>N8 | x: 0.395<br>m<br>(b <sub>w</sub> /t)<br>≤ 90<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.977<br>m<br>η = 98.5 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.977<br>m<br>η = 12.7 | x: 1.977<br>m<br>η = 20.1 | x: 1.977<br>m<br>η = 0.8 | η = 1.9        | x: 1.977<br>m<br>η = 1.6      | x: 1.977<br>m<br>η = 4.1      | N.P.<br>(2)                                     | x: 1.977<br>m<br>η = 131.1                   | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η = <b>131.1</b> |

**Notação:**

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N<sub>t</sub>: Resistência à tração

N<sub>c</sub>: Resistência à compressão

M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X

M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y

V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X

V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y

M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão

N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração

M<sub>t</sub>: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**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 0.395 m do nó N799.

Elemento: Alma



Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b/t) : 44 \quad \checkmark$$

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.

$$b : 277.30 \text{ mm}$$

**t:** A espessura.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

#### 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.

$$\lambda_{xx} : 17.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 66.7 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 1.977 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.977 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.30 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 2.96 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.985 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$N_{t,Sd}$ :** Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 565.08 \text{ kN}$$





A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 573.72 \text{ kN}$$

Onde:

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 30.49 \text{ cm}^2$$

**$f_y$ :** Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

#### **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:

$$\eta : 0.127 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$W_{ef}$ : 254.74 cm<sup>3</sup>

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : 1.1

## b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.201 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{Sd}$ : 1.31 kN·m

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

$M_{Rd}$ : 6.52 kN·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.

$W_{ef}$ : 34.65 cm<sup>3</sup>

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.008 ✓



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N8, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 1.06 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.53 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.019 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 3.72 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$





para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

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

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

$$\gamma : 1.1$$

**K<sub>v</sub>:** Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

#### 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 N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.016 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>:** Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>:** Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**V<sub>Sd</sub>:** Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

**V<sub>Rd</sub>:** Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$



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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.041 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$\begin{aligned} M_{Sd} &: 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{0,Rd} &: 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ &\text{kN} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} V_{Sd} &: 1.06 \\ V_{Rd} &: 127.12 \text{ kN} \end{aligned}$$

**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 N8, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.311 \times$$

Onde:

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

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

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

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos

$$\begin{aligned} N_{t,Sd} &: 565.08 \text{ kN} \\ M_{x,Sd} &: 5.96 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Sd} &: 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ N_{Rd} &: 573.72 \text{ kN} \\ M_{x,Rd} &: 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$





1 eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.  
2 Banzo Inferior TS 5

$M_{v,Rd}$  : 6.52 kN·m

**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N14     | N13   | 0.830              | 30.49                      | 3890.53                                             | 267.79                                              | 4.10                                                | -27.28                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 0.830     | 0.830    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |           |       |       |       |       |       |       |           |           |               |               | Estado |
|-------|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|--------|
|       | b/t                                | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_x$ | $M_y$ | $V_x$ | $V_y$ | $M_x V_y$ | $M_y V_x$ | $N_c M_x M_y$ | $N_t M_x M_y$ | $M_t$  |

|         |                                    |                                                             |                                          |                          |                         |                             |                            |              |                        |                             |                             |                     |                                          |                                    |
|---------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| N14/N13 | $(b_w/t) \leq 200$<br>200<br>Passa | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 130.1$ | x: 0 m<br>$\eta = 11.9$ | x: 0.83 m<br>$\eta = 146.5$ | x: 0.83 m<br>$\eta = 12.9$ | $\eta = 5.9$ | x: 0 m<br>$\eta = 1.8$ | x: 0.83 m<br>$\eta = 216.4$ | x: 0.83 m<br>$\eta = 285.0$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 285.0$ |
|---------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

$\lambda$ : Limitação de esbeltez

$N_t$ : Resistência à tração

$N_c$ : Resistência à compressão

$M_x$ : Resistência à flexão eixo X

$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y

$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X

$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y

$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

$N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão

$N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração

$M_t$ : Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma





Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

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

**b :** 277.30 mm  
**t :** 6.35 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 7.3 ✓

$\lambda_{yy}$  : 28.0 ✓

Onde:

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

**$K_x L_x$  :** 0.830 m

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

**$K_y L_y$  :** 0.830 m

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

**$r_x$  :** 11.30 cm

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

**$r_y$  :** 2.96 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)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 1.301 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N14, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.



$N_{c,Ed}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Ed}$  : 638.78 kN

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

$N_{c,Rd}$  : 491.14 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$  : 29.47 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy}$  : 0.97

$\chi_{zz}$  : 1.00

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$  : 0.29

$\lambda_{0,zz}$  : 0.08

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$  : 30.49 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$  : 7672.91 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$  : 7672.91 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$  : 111476.16 kN

Onde:

$$N_{ex} : 111476.16 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

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

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

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

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

$$I_x : 3890.53 \text{ cm}^4$$

$$I_y : 267.79 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 4.10 \text{ cm}^4$$

$$C_w : 40239.31 \text{ cm}^6$$

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

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

$$K_x L_x : 0.830 \text{ m}$$

$$K_y L_y : 0.830 \text{ m}$$

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

$$r_0 : 12.80 \text{ cm}$$

Sendo:

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

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

$$r_x : 11.30 \text{ cm}$$

$$r_y : 2.96 \text{ cm}$$

$$x_0 : -52.43 \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.119 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.465 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 9.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 6.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 34.46 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$



$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.129 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N13, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$V_{Sd}$ : 16.41 kN

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

$V_{Sd}$ : 8.20 kN

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

$(1)V_{Rd}$ : 63.56 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 36.77

para

$h/t$ : 13.96

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 47.67

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$t$ : 6.35 mm

$h$ : Largura da alma.

$h$ : 88.65 mm

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$ : 207.00 MPa

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v$ : 1.20

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

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.059 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 11.72 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.018 \quad \checkmark$$

Onde:

**$M_{sd}$** : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{0,Rd}$  : 47.94 kN·m

$V_{Sd}$  : 11.72 kN

$V_{Rd}$  : 198.82 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 2.164 \quad \text{X}$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$  : 9.50 kN·m

$M_{0,Rd}$  : 6.48 kN·m

$V_{Sd}$  : 16.41 kN

$V_{Rd}$  : 127.12 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 2.850 \quad \text{X}$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$N_{c,Sd}$  : 638.71 kN

$M_{x,Sd}$  : 4.05 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 9.50 kN·m

$N_{c,Rd}$  : 491.14 kN

Diagonal TS 5

**Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**



**Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

|                                                                                                                                                                          | Nós                                                                                                                                                                                                  |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
|                                                                                                                                                                          | Inicial                                                                                                                                                                                              | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |  |
|                                                                                                                                                                          | N14                                                                                                                                                                                                  | N799  | 2.163              | 18.29                      | 182.52                                              | 5925.30                                             | 1.38                                                | 0.00                                  | -22.80                                |  |
| Notas:<br><sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado<br><sup>(2)</sup> Momento de Inércia à torção uniforme<br><sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade |                                                                                                                                                                                                      |       |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                         | Flambagem                                                                                                                                                                                            |       |                    | Flambagem lateral          |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | Plano ZX                                                                                                                                                                                             |       | Plano ZY           | Aba sup.                   |                                                     | Aba inf.                                            |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | β                                                                                                                                                                                                    | 1.00  | 1.00               | 0.00                       |                                                     | 0.00                                                |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 2.163 | 2.163              | 0.000                      |                                                     | 0.000                                               |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -     | -                  | 1.000                      |                                                     | 1.000                                               |                                                     |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -     |                    |                            | 1.000                                               |                                                     | 1.000                                               |                                       |                                       |  |
|                                                                                                                                                                          | Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |       |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |

| Barra    | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                                   |                                          |                                 |                           |                         |                               |                               |                           |                         |                           |                     |                                          | Estado                       |
|----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------|
|          | b/t                                | $\lambda$                                                         | $N_t$                                    | $N_c$                           | $M_u$                     | $M_v$                   | $V_u$                         | $V_v$                         | $M_u V_v$                 | $M_v V_u$               | $N_c M_u M_v$             | $N_t M_u M_v$       | $M_t$                                    |                              |
| N14/N799 | $(b/t) \leq 200$<br>Passa          | $\lambda_{u,u,c} \leq 200$<br>$\lambda_{v,v,c} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x:<br>2.163 m<br>$\eta = 128.6$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 36.3$ | x:<br>2.163 m<br>$\eta = 3.1$ | x:<br>2.163 m<br>$\eta = 3.1$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 13.2$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | NÃO PASSA<br>$\eta > 1000.0$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 λ: Limitação de esbeltez  
 N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
 N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
 M<sub>u</sub>: Resistência à flexão eixo U  
 M<sub>v</sub>: Resistência à flexão eixo V  
 V<sub>u</sub>: Resistência ao esforço cortante U  
 V<sub>v</sub>: Resistência ao esforço cortante V  
 M<sub>u</sub>V<sub>v</sub>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados  
 M<sub>v</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados  
 N<sub>c</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-compressão  
 N<sub>t</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-tração  
 M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
 x: Distância à origem da barra  
 η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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





Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19 ✓

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.

**b :** 90.48 mm

**t:** A espessura.

**t :** 4.76 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 36.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.163 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 6.626 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.16 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.721 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.721 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.02 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.95 cm

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

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





1  
2  
3**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.286 \quad \text{X}$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N799, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : 116.47 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 8.52 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.94$$

$$\chi_{xz} : 0.62$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,vv} : 0.38$$

$$\lambda_{0,xz} : 1.08$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 9.14 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 163.65 \text{ kN}$$



a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidade.

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

G: Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.721 \text{ m}$$

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.721 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.721 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 5.67 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.02 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.95 \text{ cm}$$

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.85 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

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



Deve satisfazer:

$$\eta : 251.211 \quad \times$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.67 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 0.01 \quad \text{cm}^3 \\ f_y &: 207.00 \quad \text{MPa} \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.363 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a

$$M_{Sd} : 0.67 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$





combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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

$$M_{Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 9.81 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.031 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.10 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 47.67$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

**t**: 4.76 mm

**h**: 90.48 mm

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub>**: 68.77 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 36.77

para

**h/t**: 19.01

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 47.67

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

**t**: 4.76 mm

**h**: 90.48 mm

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 1.20

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

Deve satisfazer:

**η**: 0.031 ✓



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 2.10 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$





para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

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

**γ:** 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:

$$K_v : 1.20$$

#### **Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V 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·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 63107.067 \text{ X}$$

Onde:

**M<sub>sd</sub>:** Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>:** Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**V<sub>sd</sub>:** Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{sd} : 1.14 \text{ kN}$$

**V<sub>Rd</sub>:** Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

#### **Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U 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·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.



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:

$$\eta : 0.132 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 1.14 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 252.495 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{c,Sd} : 90.10 \text{ kN}$$

$$M_{u,Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

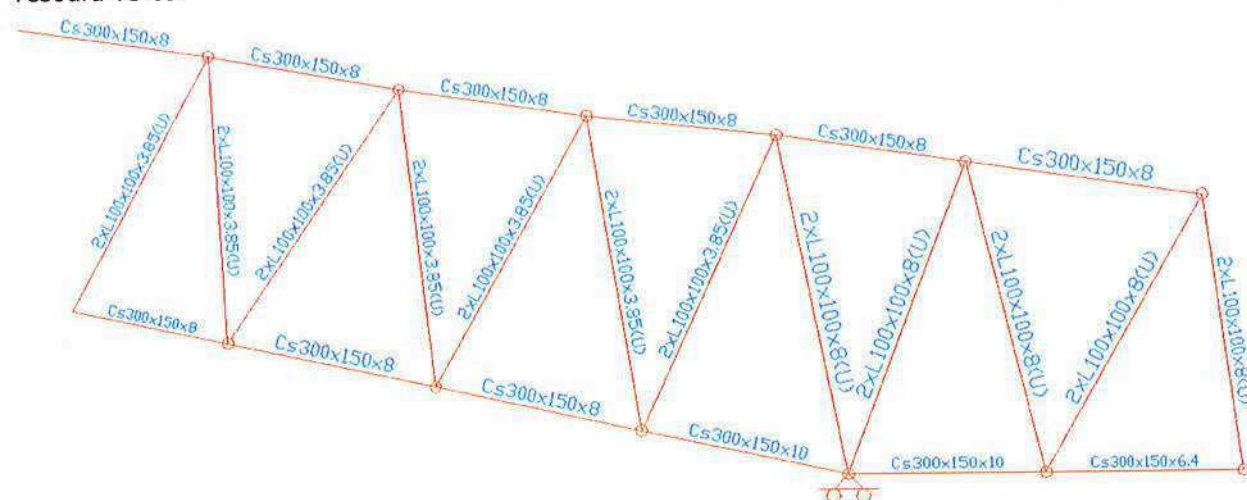
$$M_{v,Sd} : 0.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$$

$$M_{u,Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Tesoura TS 09





## 1 Banzo superior TS 9

Perfil: UD 300x150x8

Material: Aço (AISI-SAE 1020)

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N903                                                                                                                                                                                                 | N890      | 1.614              | 46.09                      | 6501.39                                             | 1028.10                                             | 9.83                                                | -33.98                                | 0.00                                  |
| Notas:<br>(1) Inércia em relação ao eixo indicado<br>(2) Momento de inércia à torção uniforme<br>(3) Coordenadas do centro de gravidade                                                              |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral          |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  |                    | Plano ZY                   |                                                     | Aba sup.                                            |                                                     | Aba inf.                              |                                       |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      |                    | 1.00                       |                                                     | 0.00                                                |                                                     | 0 00                                  |                                       |
| L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 1.614     |                    | 1.614                      |                                                     | 0.000                                               |                                                     | 0.000                                 |                                       |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | -                          |                                                     | 1.000                                               |                                                     | 1.000                                 |                                       |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | -                          |                                                     | 1.000                                               |                                                     | 1.000                                 |                                       |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                         |                            |                                                 |                          |                           |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                        |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
|           | b/t                                | λ                                                       | N <sub>t</sub>             | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>           | M <sub>y</sub>            | V <sub>x</sub>           | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                               |
| N903/N890 | (b <sub>w</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.614<br>m<br>η = 103.5 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.614<br>m<br>η = 2.5 | x: 1.614<br>m<br>η = 33.0 | x: 1.614<br>m<br>η = 1.3 | η = 0.1        | x: 1.614<br>m<br>η = 0.1      | x: 1.614<br>m<br>η = 10.9     | N.P. <sup>(2)</sup>                             | x: 1.614<br>m<br>η = 139.0                   | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η = 139.0 |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N<sub>t</sub>: Resistência à traçãoN<sub>c</sub>: Resistência à compressãoM<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo XM<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo YV<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante XV<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante YM<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinadosM<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinadosN<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressãoN<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-traçãoM<sub>t</sub>: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.





(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.**b** : 274.00 mm**t:** A espessura.**t** : 8.00 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.

 $\lambda_{xx}$  : 13.6 ✓ $\lambda_{yy}$  : 34.2 ✓

Onde:

 **$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$**  : 1.614 m **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$**  : 1.614 m **$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **$r_x$**  : 11.88 cm **$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **$r_y$**  : 4.72 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

 $\eta$  : 1.035 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N890, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 **$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. **$N_{t,Sd}$**  : 897.77 kNA força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como: **$N_{t,Rd}$**  : 867.28 kN

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$** : Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$** : Coeficiente de ponderação das resistências.

**A**: 46.09 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$** : 207.00 MPa  
 **$\gamma$** : 1.1

**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:

**$\eta$** : 0.025 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{Sd}$**  é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$M_{Sd}$** : 1.85 kN·m

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

**$M_{Rd}$** : 74.30 kN·m

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

**$M_{Rd}$** : 74.30 kN·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.

**$W_{ef}$** : 394.83 cm<sup>3</sup>  
 **$f_y$** : 207.00 MPa  
 **$\gamma$** : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  **$K_t L_t$**  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  **$K_y L_y^{pos}$**  e  **$K_y L_y^{neg}$**  são nulos.



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.330 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 5.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 94.30 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.013 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 3.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 1.64 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 123.75 \text{ kN}$$





$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 17.12$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f<sub>v</sub>: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

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

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 137.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V<sub>Sd</sub> produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.27 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V<sub>Rd</sub> deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 34.25$$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.**t** : 8.00 mm**h**: Largura da alma.**h** : 274.00 mm**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.**f<sub>v</sub>** : 207.00 MPa**E**: Módulo de elasticidade.**E** : 200000 MPa**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.**γ** : 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>** : 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 N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.**M<sub>sd</sub>** : 1.85 kN·m**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.**M<sub>0,Rd</sub>** : 74.30 kN·m**V<sub>sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.**V<sub>sd</sub>** : 0.07 kN**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.**V<sub>Rd</sub>** : 247.50 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 N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.



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:

$$\eta : 0.109 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 3.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

#### 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 desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N890, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.390 \quad \times$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : 897.77 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 5.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{Rd} : 867.28 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo inferior TS 9

**Perfil: UD 300x150x10**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020 )**





**Perfil: UD 300x150x10**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Material: Aço (AISI SAE 1020)

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm²)             | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm4) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N1      | N2    | 1.667              | 57.12                     | 7940.37                                | 1257.41                                | 19.04                                  | -33.16                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.667     | 1.667    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barr<br>a | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                   |               |                                |                                |                               |              |                               |                                |                            |                       | Estado                            |                                    |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                             | $N_c$         | $M_x$                          | $M_y$                          | $V_x$                         | $V_y$        | $M_x V_y$                     | $M_y V_x$                      | $N_c M_x M_y$              | $\frac{N_t M_x}{M_y}$ |                                   | $M_t$                              |
| N1/<br>N2 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>$N.P.^{(1)}$ | $\eta = 81.0$ | $x: 0$<br>$m$<br>$\eta = 10.4$ | $x: 0$<br>$m$<br>$\eta = 49.2$ | $x: 0$<br>$m$<br>$\eta = 2.9$ | $\eta = 2.3$ | $x: 0$<br>$m$<br>$\eta = 1.1$ | $x: 0$<br>$m$<br>$\eta = 24.3$ | $x: 0$ m<br>$\eta = 140.6$ | $N.P.^{(2)}$          | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>$N.P.^{(3)}$ | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 140.6$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N<sub>t</sub>: Resistência à tração

N<sub>c</sub>: Resistência à compressão

M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X

M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y

V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X

V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y

M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão

N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração

M<sub>t</sub>: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
 CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566

(b/t) : 27 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.**b** : 270.00 mm**t**: A espessura.**t** : 10.00 mm**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. $\lambda_{xx}$  : 14.1 ✓ $\lambda_{yy}$  : 35.5 ✓

Onde:

 **$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$**  : 1.667 m **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$**  : 1.667 m **$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **$r_x$**  : 11.79 cm **$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **$r_y$**  : 4.69 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)

Deve satisfazer:

 $\eta$  : 0.810 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 **$N_{c,Sd}$** : Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,Sd}$**  : 754.06 kNA força normal de compressão resistente de cálculo  **$N_{c,Rd}$**  deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 930.57 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$A_{ef} : 57.02 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{yy} : 0.95$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

$$\lambda_{0, yy} : 0.36$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.14$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 8931.75 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 8931.75 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 56402.60 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 56402.60 \text{ kN}$$





$N_{ez} : \infty$  $I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. $I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. $I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme. $C_w$ : Constante de empenamento da seção. $E$ : Módulo de elasticidade. $G$ : Módulo de elasticidade transversal. $K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção. $r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. $I_x : 7940.37 \text{ cm}^4$  $I_y : 1257.41 \text{ cm}^4$  $I_t : 19.04 \text{ cm}^4$  $C_w : 180189.44 \text{ cm}^6$  $E : 200000 \text{ MPa}$  $G : 76923 \text{ MPa}$  $K_x L_x : 1.667 \text{ m}$  $K_y L_y : 1.667 \text{ m}$  $K_z L_z : 0.000 \text{ m}$  $r_0 : 15.69 \text{ cm}$ 

Sendo:

 $r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. $x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. $r_x : 11.79 \text{ cm}$  $r_y : 4.69 \text{ cm}$  $x_0 : -92.30 \text{ mm}$  $y_0 : 0.00 \text{ mm}$ **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.104 \checkmark$ O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0. $M_{sd} : 10.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$ O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b): $M_{Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** $M_{Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 

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.

$$W_{ef} : 523.69 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

## b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.492 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 116.25 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N1, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : \underline{8.95} \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : \underline{4.48} \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{152.43} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{36.77}$$

para

$$h/t : \underline{13.50}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{47.67}$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : \underline{10.00} \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : \underline{135.00} \text{ mm}$$

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

**$K_v$ :** 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:

$$\eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$





O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 6.86 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 270.00 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

Onde:

$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 10.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{sd} : 6.86 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$



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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.243 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{sd} : 8.95 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 1.406 \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 754.06 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : 10.18 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 930.57 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Diagonal TS 9

**Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**



**Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Material: AutoCAD 2014 - Aula 07

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm4) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N1      | N903  | 2.806              | 29.88                      | 289.08                                 | 9833.96                                | 6.37                                   | 0.00                                  | -21.26                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.806     | 2.806    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                    |                                                             |                                                 |                            |                          |                           |                          |                          |                               |                               |                                              |                                              | Estado                                                                           |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Barra                              | b/t                                | λ                                                           | N <sub>t</sub>                                  | N <sub>c</sub>             | M <sub>u</sub>           | M <sub>v</sub>            | V <sub>u</sub>           | V <sub>v</sub>           | M <sub>u</sub> V <sub>v</sub> | M <sub>v</sub> V <sub>u</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> |                                                                                  |
| N1/N903                            | (b <sub>f</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | λ <sub>uu,c</sub> ≤ 200<br>λ <sub>vv,c</sub> ≤ 200<br>Passa | N <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.806<br>m<br>η = 124.3 | x: 2.806<br>m<br>η = 8.4 | x: 2.806<br>m<br>η = 18.7 | x: 2.806<br>m<br>η = 1.2 | x: 2.806<br>m<br>η = 1.2 | x: 2.806<br>m<br>η = 0.7      | x: 2.806<br>m<br>η = 3.5      | x: 2.806<br>m<br>η = 148.9                   | N.P. <sup>(2)</sup>                          | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup><br><b>NÃO PASSA</b><br>η = 148.9 |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N<sub>t</sub>: Resistência à tração

N<sub>c</sub>: Resistência à compressão

M<sub>u</sub>: Resistência à flexão eixo U

M<sub>v</sub>: Resistência à flexão eixo V

V<sub>u</sub>: Resistência ao esforço cortante U

V<sub>v</sub>: Resistência ao esforço cortante V

M<sub>u</sub>V<sub>v</sub>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados

M<sub>v</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados

N<sub>c</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-compressão

N<sub>t</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-tração

M<sub>t</sub>: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
 CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566



Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 11 ✓

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.

**b :** 84.00 mm

**t:** A espessura.

**t :** 8.00 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 90.2 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 51.9 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 23.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 49.5 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.806 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 9.409 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.11 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.14 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.934 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.934 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 3.97 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.89 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)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.243} \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N903, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Ed}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{224.02} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{180.29} \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{14.94} \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi : \underline{0.70}$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_0 : \underline{0.92}$$

Sendo:

$N_e$ : Esforço axial crítico elástico de flambagem mínimo.

$$N_e : \underline{362.35} \text{ kN}$$

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{14.94} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A tensão crítica elástica de flambagem  $\sigma_{cr}$  é o valor da menor das raízes da seguinte equação cúbica:



$$\sigma_{cr} : 242.57 \text{ MPa}$$

Onde:

$\sigma_{cr,x}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo X.

$$\sigma_{cr,x} : 242.57 \text{ MPa}$$

$\sigma_{cr,y}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo Y.

$$\sigma_{cr,y} : 782.22 \text{ MPa}$$

$\sigma_{cr,T}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por torção da seção composta.

$$\sigma_{cr,T} : \infty$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo X.

$$I_x : 289.08 \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : 9833.96 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Módulo de torção uniforme da seção composta.

$$I_t : 6.37 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção composta.

$$C_w : 0.00 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

$\lambda_x$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo X, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_x : 90.21$$

$\lambda_y$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo Y, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_y : 50.23$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção da seção composta.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 18.42 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 3.11 \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, relativas ao centro de gravidade da seção composta.

$$r_y : 18.14 \text{ cm}$$

$$x_0 : 0.00 \text{ cm}$$

$$y_0 : -0.78 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.084 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





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

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 33.35 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.187 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**$W_{ef}$ :** 14.90 cm<sup>3</sup>

**$f_v$ :** 207.00 MPa

**$\gamma$ :** 1.1

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

Deve satisfazer:

**$\eta$ :** 0.012 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  **$V_{sd}$**  produz-se no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**$V_{sd}$ :** 1.33 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante  **$V_{Rd}$**  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

**$V_{Rd}$ :** 107.30 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  **$V_{Rd}$** , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

**$V_{Rd}$ :** 107.30 kN

para

**$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ :** 36.77

para

**$h/t$ :** 10.50

para

**$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ :** 47.67

Onde:

**$t$ :** Espessura da alma.

**$t$ :** 8.00 mm

**$h$ :** Largura da alma.

**$h$ :** 84.00 mm

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$f_v$ :** 207.00 MPa

**$E$ :** Módulo de elasticidade.

**$E$ :** 200000 MPa

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**$\gamma$ :** 1.1

**$K_v$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**$K_v$ :** 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  **$V_{Rd}$** , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.



$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para  $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para  $h/t : 10.50$

para  $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.012 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 1.33 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V<sub>Rd</sub>** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$





a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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



$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_V$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_V$ : 1.20

#### Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$\eta$ : 0.007 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$ : 0.52 kN·m

$M_{0,Rd}$ : 6.28 kN·m

$V_{Sd}$ : 1.13 kN

$V_{Rd}$ : 107.30 kN

#### Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$\eta$ : 0.035 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$ : 0.52 kN·m

$M_{0,Rd}$ : 2.80 kN·m

$V_{Sd}$ : 1.13 kN

$V_{Rd}$ : 107.30 kN



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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$  : **1.489** X

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$  : 224.02 kN

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$M_{u,Sd}$  : 0.37 kN·m

$M_{v,Sd}$  : 0.52 kN·m

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

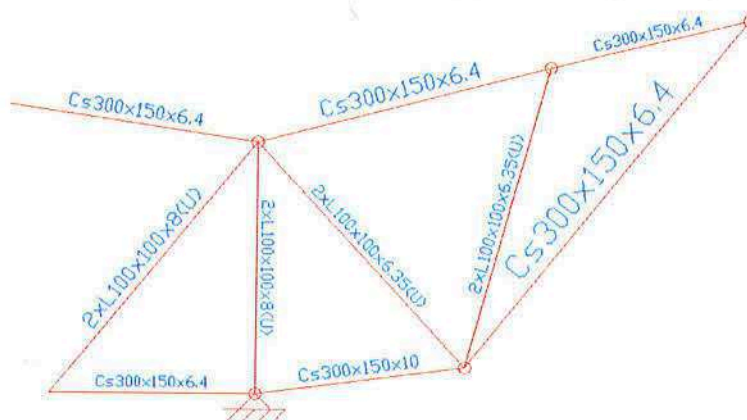
$N_{c,Rd}$  : 180.29 kN

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{u,Rd}$  : 6.28 kN·m

$M_{v,Rd}$  : 2.80 kN·m

Tesoura TS 13



Banzo Inferior TS 13

**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**



**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N7      | N929  | 2.445              | 37.12                      | 5297.81                                             | 836.84                                              | 5.07                                                | -34.63                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.445     | 2.445    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra    | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                         |                          |                      |                          |                       |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                    |
|----------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
|          | b/t                                | λ                                                       | N <sub>t</sub>           | N <sub>c</sub>       | M <sub>x</sub>           | M <sub>y</sub>        | V <sub>x</sub>           | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                           |
| N7/N 929 | (b <sub>w</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 200<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 200<br>Passa | x: 2.445<br>m<br>η = 2.2 | x: 0<br>m<br>η = 2.2 | x: 2.445<br>m<br>η = 9.4 | x: 0<br>m<br>η = 15.0 | x: 2.445<br>m<br>η = 0.8 | η = 1.5        | x: 2.445<br>m<br>η = 0.9      | x: 0<br>m<br>η = 2.2          | x: 0<br>m<br>η = 23.8                           | x: 2.445<br>m<br>η = 17.9                    | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS A</b><br>η = 23.8 |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 λ: Limitação de esbeltez  
 N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
 N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
 M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X  
 M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y  
 V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X  
 V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y  
 M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
 M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
 N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão  
 N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração  
 M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
 x: Distância à origem da barra  
 η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓



Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 277.20 mm

**t**: A espessura.

**t** : 6.40 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 20.5 ✓

$\lambda_{yy}$  : 51.5 ✓

Onde:

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

**$K_x L_x$**  : 2.445 m

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

**$K_y L_y$**  : 2.445 m

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

**$r_x$**  : 11.95 cm

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

**$r_y$**  : 4.75 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.022 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N929, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

**$N_{t,Sd}$**  : 15.63 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:

**$N_{t,Rd}$**  : 698.53 kN

Onde:



**A:** Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_v$ :** Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A:** 37.12 cm<sup>2</sup>  
 **$f_v$ :** 207.00 MPa  
 **$\gamma$ :** 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.022 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

**$N_{c,Sd}$ :** Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**$N_{c,Sd}$ :** 10.78 kN

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

**$N_{c,Rd}$ :** 497.99 kN

Onde:

**$A_{ef}$ :** Área efetiva da seção transversal da barra.

**$A_{ef}$ :** 32.43 cm<sup>2</sup>

**$\chi$ :** Fator de redução associado à flambagem,

**$\chi_{vv}$ :** 0.89

**$\chi_{xz}$ :** 0.98

Sendo:

**$\lambda_0$ :** Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

**$\lambda_{0,vv}$ :** 0.53

**$\lambda_{0,xz}$ :** 0.21

Sendo:

**$N_e$ :** Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A:** 37.12 cm<sup>2</sup>  
 **$f_v$ :** 207.00 MPa  
 **$\gamma$ :** 1.2





A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 2762.17 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 2762.17 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 17486.53 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 17486.53 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 5297.81 \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : 836.84 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 5.07 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 123666.07 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

$$K_x L_x : 2.445 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 2.445 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 15.88 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos

$$x_0 : -93.14 \text{ mm}$$



principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$y_0$  : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.094 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$M_{Sd}$  : 5.22 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 55.31 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 55.31 kN·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.

$W_{ef}$  : 293.92 cm<sup>3</sup>

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.150 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N7, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.008 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N929, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 1.63 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.82 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:





**t:** Espessura da alma.

**t:** 6.40 mm

**h:** Largura da alma.

**h:** 138.60 mm

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

**f<sub>v</sub>:** 207.00 MPa

**E:** Módulo de elasticidade.

**E:** 200000 MPa

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

**γ:** 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:

**η:** 0.015 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

**V<sub>sd</sub>:** 3.02 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V<sub>Rd</sub>** deve ser calculada por:

**(1)V<sub>Rd</sub>:** 200.31 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>:** 75.07

para

**h/t:** 43.31

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>:** 97.31

Onde:

**t:** Espessura da alma.

**t:** 6.40 mm

**h:** Largura da alma.

**h:** 277.20 mm

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

**f<sub>v</sub>:** 207.00 MPa

**E:** Módulo de elasticidade.

**E:** 200000 MPa

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

**γ:** 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>:** 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  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{sd} : 2.50 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.022 \checkmark$$

Onde:

$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{sd} : 0.79 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 0.238 \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$$\begin{aligned} N_{c,Sd} &: 8.83 \text{ kN} \\ M_{x,Sd} &: 3.93 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Sd} &: 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ N_{c,Rd} &: 497.99 \text{ kN} \\ M_{x,Rd} &: 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Rd} &: 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N929, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 0.179 \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} N_{t,Sd} &: 15.63 \text{ kN} \\ M_{x,Sd} &: 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Sd} &: 0.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ N_{t,Rd} &: 698.53 \text{ kN} \\ M_{x,Rd} &: 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Rd} &: 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Banzo Inferior TS 13

Perfil: UD 300x150x10

Material: Aço (AISI-SAE 1020)





**Perfil: UD 300x150x10**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós |         |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                   |                                   |                                   |                     |                     |
|-----|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
|     | Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $I_x^{(1)}$<br>(cm <sup>4</sup> ) | $I_y^{(1)}$<br>(cm <sup>4</sup> ) | $I_t^{(2)}$<br>(cm <sup>4</sup> ) | $x_a^{(3)}$<br>(mm) | $y_a^{(3)}$<br>(mm) |
|     | N4      | N5    |                    | 57.12                      | 7940.37                           | 1257.41                           | 19.04                             | -33.16              | 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. |
| $\beta$ | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| $L_K$   | 1.715     | 1.715    | 0.000             | 0.000    |
| $C_m$   | -         | -        | 1.000             | 1.000    |
| $C_b$   | -         | -        | 1.000             |          |

Notação:  
 $\beta$ : Coeficiente de flambagem  
 $L_K$ : Comprimento de flambagem (m)  
 $C_m$ : Coeficiente de momentos  
 $C_b$ : Fator de modificação para o momento crítico

| Barr<br>a | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |           |       |       |       |       |       |       |           |           |               |               |       | Estad<br>o |
|-----------|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|-------|------------|
|           | b/t                                | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_x$ | $M_y$ | $V_x$ | $V_y$ | $M_x V_y$ | $M_y V_x$ | $N_c M_x M_y$ | $N_t M_x M_y$ | $M_t$ |            |

|           |                             |                                                             |                               |                           |                           |                            |                               |              |                           |                            |                            |                            |                                          |                                                |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| N4/<br>N5 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | x: 1.715<br>m<br>$\eta = 0.8$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 3.4$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 9.1$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 36.2$ | x: 1.715<br>m<br>$\eta = 2.3$ | $\eta = 2.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 0.9$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 13.1$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 42.9$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 38.2$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS<br/>A<br/><math>\eta = 42.9</math></b> |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|

Notação:  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 $\lambda$ : Limitação de esbeltez  
 $N_t$ : Resistência à tração  
 $N_c$ : Resistência à compressão  
 $M_x$ : Resistência à flexão eixo X  
 $M_y$ : Resistência à flexão eixo Y  
 $V_x$ : Resistência ao esforço cortante X  
 $V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y  
 $M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
 $M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
 $N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão  
 $N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração  
 $M_t$ : Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
 $\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

$$(b/t) : 27 \quad \checkmark$$

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

$$b : 270.00 \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : 14.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 36.6 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 1.715 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.715 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.79 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 4.69 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.008 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

**$N_{t,sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,sd} : 8.63 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:



$$N_{t,Rd} : 1074.92 \text{ kN}$$

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

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

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

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.034 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**N<sub>c,Sd</sub>**: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 31.26 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo **N<sub>c,Rd</sub>** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 927.93 \text{ kN}$$

Onde:

**A<sub>ef</sub>**: Área efetiva da seção transversal da barra.

**χ**: Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$$A_{ef} : 57.04 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{vv} : 0.94$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

**λ<sub>0</sub>**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.37$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.15$$

Sendo:





$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 57.12 cm<sup>2</sup>

$f_v$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 8438.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$ : 8438.78 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 53289.55 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 53289.55 kN

$N_{ez}$ :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

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

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

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

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

$I_x$ : 7940.37 cm<sup>4</sup>

$I_y$ : 1257.41 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : 19.04 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : 180189.44 cm<sup>6</sup>

$E$ : 200000 MPa

$G$ : 76923 MPa

$K_x L_x$ : 1.715 m

$K_y L_y$ : 1.715 m

$K_z L_z$ : 0.000 m

$r_0$ : 15.69 cm



Sendo:

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

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

$r_x$  : 11.79 cm  
 $r_y$  : 4.69 cm  
 $x_0$  : -92.30 mm  
 $y_0$  : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.091 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$M_{Sd}$  : 8.94 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 98.55 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 98.55 kN·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.

$W_{ef}$  : 523.69 cm<sup>3</sup>  
 $f_y$  : 207.00 MPa  
 $\gamma$  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.362 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 7.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 116.25 \text{ cm}^3$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.023 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 7.03 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 3.52 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 152.43 \text{ kN}$$





$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 135.00 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

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

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1  
2  
3  
4  
5**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.020 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 6.06 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:



**t:** Espessura da alma.

**t:** 10.00 mm

**h:** Largura da alma.

**h:** 270.00 mm

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

**f<sub>y</sub>:** 207.00 MPa

**E:** Módulo de elasticidade.

**E:** 200000 MPa

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

**γ:** 1.1

**K<sub>y</sub>:** Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

**K<sub>y</sub>:** 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 N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

**η:** 0.009 ✓

Onde:

**M<sub>Sd</sub>:** Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>Sd</sub>:** 8.94 kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>:** Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**M<sub>0,Rd</sub>:** 98.55 kN·m

**V<sub>Sd</sub>:** Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>Sd</sub>:** 6.06 kN

**V<sub>Rd</sub>:** Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**V<sub>Rd</sub>:** 304.85 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 N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η:** 0.131 ✓

Onde:

**M<sub>Sd</sub>:** Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>Sd</sub>:** 7.91 kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>:** Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**M<sub>0,Rd</sub>:** 21.88 kN·m

**V<sub>Sd</sub>:** Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>Sd</sub>:** 6.10 kN



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

$V_{Rd}$ : 304.85 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$\eta$ : 0.429 ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$ : 31.26 kN

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

$M_{x,Sd}$ : 8.94 kN·m

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{y,Sd}$ : 6.66 kN·m

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

$N_{c,Rd}$ : 927.93 kN

$M_{x,Rd}$ : 98.55 kN·m

$M_{y,Rd}$ : 21.88 kN·m

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$ : 0.382 ✓

Onde:

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

$N_{t,Sd}$ : 3.33 kN

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

$M_{x,Sd}$ : 1.66 kN·m

$M_{y,Sd}$ : 7.91 kN·m

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

$N_{t,Rd}$ : 1074.92 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.

$M_{x,Rd}$ : 98.55 kN·m

$M_{y,Rd}$ : 21.88 kN·m

Diagonal TS 13

**Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e  
Ligação à distância máxima)  
Material: Aço (AISI-SAE 1020 )**





**Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Material: Vigas (Placa de aço) - 2023/2024

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm²)             | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm4) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N5      | N7    | 2.460              | 24.06                     | 236.56                                 | 7856.49                                | 3.23                                   | 0.00                                  | -22.05                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.460     | 2.460    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barr<br>a | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                                 |                            |                           |                              |                              |                              |                              |                               |                               |                                              |                                              |                                                 | Estad<br>o                                     |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                       | N <sub>t</sub>             | N <sub>c</sub>            | M <sub>u</sub>               | M <sub>v</sub>               | V <sub>u</sub>               | V <sub>v</sub>               | M <sub>u</sub> V <sub>v</sub> | M <sub>v</sub> V <sub>u</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                                                |
| N5/<br>N7 | (b <sub>f</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | $\lambda_{uu,c} \leq 200$<br>$\lambda_{vv,c} \leq 200$<br>Passa | x: 0<br>m<br>$\eta = 11.6$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 6.1$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 3.7$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 8.1$ | x: 2.46<br>m<br>$\eta = 1.3$ | x: 2.46<br>m<br>$\eta = 1.3$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 0.1$  | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 0.6$  | x: 0.615<br>m<br>$\eta = 12.6$               | x: 0<br>m<br>$\eta = 19.1$                   | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS<br/>A<br/><math>\eta = 19.1</math></b> |

Notação:  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 $\lambda$ : Limitação de esbeltez  
N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
M<sub>u</sub>: Resistência à flexão eixo U  
M<sub>v</sub>: Resistência à flexão eixo V  
V<sub>u</sub>: Resistência ao esforço cortante U  
V<sub>v</sub>: Resistência ao esforço cortante V  
M<sub>u</sub>V<sub>v</sub>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados  
M<sub>v</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados  
N<sub>c</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-compressão  
N<sub>t</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-tração  
M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
 $\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 14 ✓

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.

**b :** 87.30 mm

**t:** A espessura.

**t :** 6.35 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 78.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 26.2 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 20.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 42.7 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.460 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 4.725 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.14 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.07 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.820 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.820 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.00 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.92 cm

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

Deve satisfazer:





$$\eta : 0.116 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 26.20 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 226.40 \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 12.03 \text{ cm}^2$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.061 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 9.70 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : 158.08 \text{ kN}$$





Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 12.03 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.92$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.76$$

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.44$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.81$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 12.03 \text{ cm}^2$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 382.95 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1305.13 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 382.95 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5639.83 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 393.50 \text{ kN}$$



$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 192.11 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 44.46 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 1.62 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.11 \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidade.

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

G: Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.820 \text{ m}$$

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.820 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.820 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 5.62 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.00 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.92 \text{ cm}$$

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.58 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.037 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 27.17 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.081 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 12.46 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.013 \checkmark$$





O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 1.13 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 87.30 \text{ mm}$$

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

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

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t**: 6.35 mm

**h**: Largura da alma.

**h**: 87.30 mm

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

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E**: 200000 MPa

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

**γ**: 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 V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

**η**: 0.013 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**V<sub>sd</sub>**: 1.13 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V<sub>Rd</sub>** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

**V<sub>Rd</sub>**: 88.52 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante **V<sub>Rd</sub>**, supondo que existe ruptura da mesa vertical.

**V<sub>Rd</sub>**: 88.52 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 36.77

para

**h/t**: 13.75

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 47.67

Onde:



**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 6.35 mm  
**h**: 87.30 mm  
**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa  
**E**: 200000 MPa  
**γ**: 1.1  
**K<sub>v</sub>**: 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub>**: 88.52 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 36.77

para

**h/t**: 13.75

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 47.67

Onde:

**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 6.35 mm  
**h**: 87.30 mm  
**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa  
**E**: 200000 MPa  
**γ**: 1.1  
**K<sub>v</sub>**: 1.20

#### Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M<sub>sd</sub>** e **V<sub>sd</sub>** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:





$\eta : 0.001$  ✓

Onde:

 $M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 0.04 \text{ kN}$  $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$ **Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

 $\eta : 0.006$  ✓

Onde:

 $M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 0.04 \text{ kN}$  $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$ **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.615 m do nó N5, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

 $\eta : 0.126$  ✓

Onde:

 $N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd} : 8.72 \text{ kN}$  $M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente. $M_{u,Sd} : 0.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{v,Sd} : 0.09 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $N_{c,Rd} : 158.08 \text{ kN}$ 

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$\begin{aligned} M_{u,Rd} &: 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{v,Rd} &: 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N5, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 0.191 \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : 26.20 \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$$M_{u,Sd} : 0.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : 0.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{Rd} : 226.40 \text{ kN}$$

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

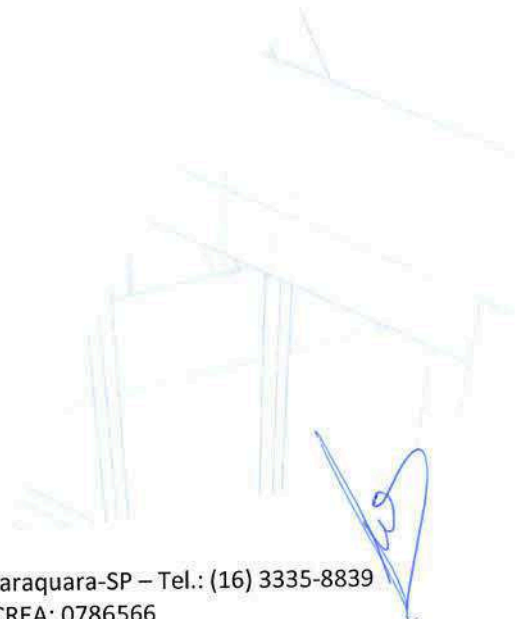
EM BRANCO



Memória de Cálculo Estrutura Atual  
USI SAC 300



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566



EM BRANCO

Banzo superior TS1

**Perfil: UD 300x100x4.8**  
**Material: Aço USI-SAC 300**

| 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>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) |
|     | N19     | N18   |                 | 22.99                     | 2971.68                                          | 205.34                                           | 1.73                                             | -27.92                             | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.659     | 1.659    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |   |                |                |                |                |                |                |                               |                               |                                              |                                              |                | Estado |
|-------|------------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|--------|
|       | b/t                                | λ | N <sub>t</sub> | N <sub>c</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> | V <sub>x</sub> | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub> |        |

|         |                                    |                                                         |                                                 |                    |                        |                       |                       |         |                       |                       |                        |                     |                                                 |                           |
|---------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
| N19/N18 | (b <sub>w</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 200<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 200<br>Passa | N <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>η = 41.2 | x: 1.659 m<br>η = 13.2 | x: 1.659 m<br>η = 5.9 | x: 1.659 m<br>η = 0.3 | η = 1.0 | x: 1.659 m<br>η = 1.8 | x: 1.659 m<br>η = 0.3 | x: 1.659 m<br>η = 60.3 | N.P. <sup>(2)</sup> | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>η = 60.3 |
|---------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|

Notação:  
 b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 λ: Limitação de esbeltez  
 N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
 N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
 M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X  
 M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y  
 V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X  
 V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y  
 M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
 M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
 N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão  
 N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração  
 M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
 x: Distância à origem da barra  
 η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.  
<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.  
<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

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

**b**: 280.50 mm  
**t**: 4.75 mm



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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : 14.6 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 55.5 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 1.659 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.659 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.37 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 2.99 \text{ cm}$$

**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)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.412 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N19, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 145.74 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : 353.50 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 17.20 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.82$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

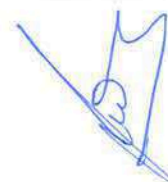
Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : 0.68$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.18$$

Sendo:



$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 22.99 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 1472.71 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$ : 1472.71 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 21312.72 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 21312.72 kN

$N_{ez}$ :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$I_x$ : 2971.68 cm<sup>4</sup>

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

$I_y$ : 205.34 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$I_t$ : 1.73 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$C_w$ : 31289.05 cm<sup>6</sup>

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$G$ : 76923 MPa

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

$K_x L_x$ : 1.659 m

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

$K_y L_y$ : 1.659 m

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

$K_z L_z$ : 0.000 m

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

$r_0$ : 12.89 cm

Sendo:

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

$r_x$ : 11.37 cm

$r_y$ : 2.99 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.

$x_0$ : -52.82 mm

$y_0$ : 0.00 mm

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.132 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 6.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 45.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 45.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 167.40 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.059 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 6.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$W_{ef}$ : 25.18 cm<sup>3</sup>

$f_v$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.003 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd}$ : 0.45 kN

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

$V_{Sd}$ : 0.23 kN

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

<sup>(1)</sup> $V_{Rd}$ : 70.15 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 30.55

para

$h/t$ : 19.00

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 39.60

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$t$ : 4.75 mm

$h$ : Largura da alma.

$h$ : 90.25 mm

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$ : 300.00 MPa

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v$ : 1.20

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd}$ : 2.18 kN

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 218.03 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 59.05$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 4.75 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 280.50 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 45.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 2.18 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 218.03 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$\eta$  : 0.003 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.  
 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
 $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.  
 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{Sd}$  : 0.40 kN·m  
 $M_{0,Rd}$  : 6.87 kN·m  
 $V_{Sd}$  : 0.45 kN  
 $V_{Rd}$  : 140.30 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$  : 0.603 ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.  
 $M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.  
 $N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.  
 $M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$  : 145.64 kN  
 $M_{x,Sd}$  : 6.03 kN·m  
 $M_{y,Sd}$  : 0.40 kN·m  
 $N_{c,Rd}$  : 353.50 kN  
 $M_{x,Rd}$  : 45.65 kN·m  
 $M_{y,Rd}$  : 6.87 kN·m



Banzo superior TS1

**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N838    | N825  | 1.875              | 30.49                      | 3890.53                                             | 267.79                                              | 4.10                                                | -27.28                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.875     | 1.875    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)          |                                                         |                           |                                                 |                          |                          |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | b/t                                         | λ                                                       | N <sub>t</sub>            | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>           | M <sub>y</sub>           | V <sub>x</sub>           | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                           |
| N838/N825                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | x: 0 m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤ 90<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.875<br>m<br>η = 21.2 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.875<br>m<br>η = 1.9 | x: 1.875<br>m<br>η = 6.2 | x: 1.875<br>m<br>η = 0.4 | η = 0.3        | x: 1.875<br>m<br>η < 0.1      | x: 1.875<br>m<br>η = 0.4      | N.P. <sup>(2)</sup>                             | x: 1.875<br>m<br>η = 29.0                    | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>η = 29.0 |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>λ: Limitação de esbeltez<br>N <sub>t</sub> : Resistência à tração<br>N <sub>c</sub> : Resistência à compressão<br>M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X<br>M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y<br>V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X<br>V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y<br>M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão<br>N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração<br>M <sub>t</sub> : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>η: Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                             |                                                         |                           |                                                 |                          |                          |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                             |                                                         |                           |                                                 |                          |                          |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |

### 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 N838.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44



Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 277.30 mm

t: A espessura.

t : 6.35 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.

$\lambda_{xx}$  : 16.6 ✓

$\lambda_{yy}$  : 63.2 ✓

Onde:

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

$K_x L_x$  : 1.875 m

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

$K_y L_y$  : 1.875 m

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

$r_x$  : 11.30 cm

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

$r_y$  : 2.96 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.212 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N825, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Ed}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Ed}$  : 176.20 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$  : 831.48 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 30.49 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 300.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.1

#### 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:

$$\eta : 0.019 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

$$M_{Sd} : 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 241.48 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.062 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 34.64 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$



$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.004 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N825, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$V_{Sd}$ : 0.71 kN

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

$V_{Sd}$ : 0.35 kN

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

$(1)V_{Rd}$ : 92.12 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 30.55

para

$h/t$ : 13.96

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 39.60

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t**: 6.35 mm

**h**: Largura da alma.

**h**: 88.65 mm

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

**$f_v$** : 300.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E**: 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**$K_v$** : 1.20

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.003 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.5 \cdot SCU1$ .

$V_{Sd}$ : 0.76 kN

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

$(1)V_{Rd}$ : 288.14 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 62.35

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

$$\gamma : 1.1$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

**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 N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

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:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**V<sub>sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{sd} : 0.37 \text{ kN}$$

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

**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 N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.004 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$  : 0.59 kN·m

$M_{0,Rd}$  : 9.45 kN·m

$V_{Sd}$  : 0.71 kN

$V_{Rd}$  : 184.23 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 N825, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.290 ✓

Onde:

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

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

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

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

$N_{t,Sd}$  : 176.20 kN

$M_{x,Sd}$  : 1.09 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 0.59 kN·m

$N_{Rd}$  : 831.48 kN

$M_{x,Rd}$  : 65.86 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 9.45 kN·m



**Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N20     | N760  | 2.383              | 14.91                      | 150.04                                              | 4808.97                                             | 0.74                                                | 0.00                                  | -23.22                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.383     | 2.383    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                               |                               |                                              |                                              |                                                 | Estado                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | b/t                                | λ                                                           | N <sub>t</sub>             | N <sub>c</sub>             | M <sub>u</sub>             | M <sub>v</sub>             | V <sub>u</sub>             | V <sub>v</sub>             | M <sub>u</sub> V <sub>u</sub> | M <sub>v</sub> V <sub>u</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                                |
| N20/N760                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (b/t) ≤ 200<br>Passa               | λ <sub>uu,c</sub> ≤ 200<br>λ <sub>vv,c</sub> ≤ 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa | x: 2.383<br>m 200<br>Passa    | x: 2.383<br>m 200<br>Passa    | x: 2.185<br>m 200<br>Passa                   | x: 2.383<br>m 200<br>Passa                   | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η > 1000.0 |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>λ: Limitação de esbeltez<br>N <sub>t</sub> : Resistência à tração<br>N <sub>c</sub> : Resistência à compressão<br>M <sub>u</sub> : Resistência à flexão eixo U<br>M <sub>v</sub> : Resistência à flexão eixo V<br>V <sub>u</sub> : Resistência ao esforço cortante U<br>V <sub>v</sub> : Resistência ao esforço cortante V<br>M <sub>u</sub> V <sub>u</sub> : Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados<br>M <sub>v</sub> V <sub>u</sub> : Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados<br>N <sub>c</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> : Resistência à flexo-compressão<br>N <sub>t</sub> M <sub>u</sub> M <sub>v</sub> : Resistência à flexo-tração<br>M <sub>t</sub> : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>η: Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                    |                                                             |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                               |                               |                                              |                                              |                                                 |                                |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                                                             |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                               |                               |                                              |                                              |                                                 |                                |

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24



Sendo:

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

**b :** 92.30 mm  
**t :** 3.85 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 75.1 ✓  
 $\lambda_{vv,c}$  : 40.3 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 19.7 ✓  
 $\lambda_{vv,s}$  : 40.3 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.383 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 7.239 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.17 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 17.96 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.794 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.794 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.03 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.97 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.036 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações PP+1.25·PPT+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$  : 7.27 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$  : 203.29 kN

Onde:

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$ :** Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A :** 7.45 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$  :** 300.00 MPa  
 **$\gamma$  :** 1.1

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

Deve satisfazer:

**$\eta$  :** 1.142 **X**

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$N_{c,sd}$ :** Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**$N_{c,sd}$  :** 62.69 kN

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

**$N_{c,Rd}$  :** 54.90 kN

Onde:

**$A_{ef}$ :** Área efetiva da seção transversal da barra.

**$A_{ef}$  :** 6.45 cm<sup>2</sup>

**$\chi$ :** Fator de redução associado à flambagem,

**$\chi_{vv}$  :** 0.90

Sendo:

**$\chi_{xz}$  :** 0.34

**$\lambda_0$ :** Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

**$\lambda_{0, vv}$  :** 0.50

**$\lambda_{0, xz}$  :** 1.61

Sendo:

**$N_e$ :** Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

**A :** 7.45 cm<sup>2</sup>

**$f_y$ :** Tensão de escoamento.

**$f_y$  :** 300.00 MPa

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**$\gamma$  :** 1.2

A força normal de flambagem elástica  **$N_e$**  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

**$N_e$  :** 86.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

**$N_{ev}$  :** 906.35 kN



b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 86.78 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 3785.84 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 87.55 \text{ kN}$$

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 121.06 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 28.98 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.37 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.01 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.794 \text{ m}$$

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.794 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.794 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 5.69 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.03 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.97 \text{ cm}$$

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.98 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 25.578 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.03 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.098 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 2.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$




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

Deve satisfazer:

$\eta$  : **0.021** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$V_{Sd}$  : **1.71** kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$V_{Rd}$  : **82.24** kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$V_{Rd}$  : **82.24** kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$  : **30.55**

para

$h/t$  : **23.97**

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$  : **39.60**

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$t$  : **3.85** mm

$h$ : Largura da alma.

$h$  : **92.30** mm

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$  : **300.00** MPa

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$  : **200000** MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : **1.1**

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v$  : **1.20**

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$V_{Rd}$  : **82.24** kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$  : **30.55**

para

$h/t$  : **23.97**

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$  : **39.60**

Onde:

**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>y</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 3.85 mm  
**h**: 92.30 mm  
**f<sub>y</sub>**: 300.00 MPa  
**E**: 200000 MPa  
**γ**: 1.1  
**K<sub>y</sub>**: 1.20

#### **Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V 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 N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 654.224 \quad \times$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.  
**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.  
**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>Sd</sub>**: 0.22 kN·m  
**M<sub>0,Rd</sub>**: 0.01 kN·m  
**V<sub>Sd</sub>**: 1.71 kN  
**V<sub>Rd</sub>**: 82.24 kN

#### **Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U 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 N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.010 \quad \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.  
**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.  
**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>Sd</sub>**: 0.22 kN·m  
**M<sub>0,Rd</sub>**: 2.22 kN·m  
**V<sub>Sd</sub>**: 1.71 kN  
**V<sub>Rd</sub>**: 82.24 kN

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 2.185 m do nó N20, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V90$ .

$\eta : 18.498$  X

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

|            |   |       |      |
|------------|---|-------|------|
| $N_{c,Sd}$ | : | 0.20  | kN   |
| $M_{u,Sd}$ | : | 0.16  | kN·m |
| $M_{v,Sd}$ | : | 0.04  | kN·m |
| $N_{c,Rd}$ | : | 54.90 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ | : | 0.01  | kN·m |
| $M_{v,Rd}$ | : | 2.16  | kN·m |

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N760, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta : 25.631$  X

Onde:

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

$M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

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

$M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

|            |   |        |      |
|------------|---|--------|------|
| $N_{t,Sd}$ | : | 5.54   | kN   |
| $M_{u,Sd}$ | : | 0.22   | kN·m |
| $M_{v,Sd}$ | : | 0.06   | kN·m |
| $N_{Rd}$   | : | 203.29 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ | : | 0.01   | kN·m |
| $M_{v,Rd}$ | : | 2.16   | kN·m |



**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço USI SAC 300**

Material: aço 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300 300

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                          |                                    |                                  |                                       |                                     |              |                                  |                                       |                                       |                     |                                          | Estado                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                    | $N_c$                              | $M_x$                            | $M_y$                                 | $V_x$                               | $V_y$        | $M_x V_y$                        | $M_y V_x$                             | $N_c M_x M_y$                         | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                    |                                    |
| N14/N13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | $x: 0 \text{ m}$<br>$\eta = 101.0$ | $x: 0 \text{ m}$<br>$\eta = 8.6$ | $x: 0.83 \text{ m}$<br>$\eta = 102.5$ | $x: 0.83 \text{ m}$<br>$\eta = 8.9$ | $\eta = 4.1$ | $x: 0 \text{ m}$<br>$\eta = 0.9$ | $x: 0.83 \text{ m}$<br>$\eta = 105.8$ | $x: 0.83 \text{ m}$<br>$\eta = 209.5$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 209.5$ |
| Notação:<br><i>b/t</i> : Valores máximos da relação comprimento-espessura<br><i>λ</i> : Limitação de esbeltez<br><i>N<sub>t</sub></i> : Resistência à tração<br><i>N<sub>c</sub></i> : Resistência à compressão<br><i>M<sub>x</sub></i> : Resistência à flexão eixo X<br><i>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexão eixo Y<br><i>V<sub>x</sub></i> : Resistência ao esforço cortante X<br><i>V<sub>y</sub></i> : Resistência ao esforço cortante Y<br><i>M<sub>x</sub>V<sub>y</sub></i> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br><i>M<sub>y</sub>V<sub>x</sub></i> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br><i>N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexo-compressão<br><i>N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexo-tração<br><i>M<sub>t</sub></i> : Resistência à torção<br><i>x</i> : Distância à origem da barra<br><i>η</i> : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                    |                                                             |                                          |                                    |                                  |                                       |                                     |              |                                  |                                       |                                       |                     |                                          |                                    |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                                                             |                                          |                                    |                                  |                                       |                                     |              |                                  |                                       |                                       |                     |                                          |                                    |

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44



Sendo:



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

**b :** 277.30 mm  
**t :** 6.35 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 7.3 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 28.0 ✓

Onde:

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

$K_x L_x$  : 0.830 m

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

$K_y L_y$  : 0.830 m

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

$r_x$  : 11.30 cm

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

$r_y$  : 2.96 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)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 1.010 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N14, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$  : 638.78 kN

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

$N_{c,Rd}$  : 632.76 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$  : 26.61 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy}$  : 0.95

Sendo:

$\chi_{xz}$  : 1.00

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0, yy}$  : 0.35

$\lambda_{0, xz}$  : 0.09

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 30.49 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 7672.91 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$ : 7672.91 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 111476.16 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 111476.16 kN

$N_{ez}$ :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

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

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

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

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

$I_x$ : 3890.53 cm<sup>4</sup>

$I_y$ : 267.79 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : 4.10 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : 40239.31 cm<sup>6</sup>

$E$ : 200000 MPa

$G$ : 76923 MPa

$K_x L_x$ : 0.830 m

$K_y L_y$ : 0.830 m

$K_z L_z$ : 0.000 m

$r_0$ : 12.80 cm

Sendo:

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

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

$r_x$ : 11.30 cm

$r_y$ : 2.96 cm

$x_0$ : -52.43 mm

$y_0$ : 0.00 mm



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.086 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{Sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 241.48 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.025 \quad \times$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N13, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{Sd} : 9.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 9.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.01 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.089 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 16.41 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 8.20 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 92.12 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.041 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 11.72 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

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:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 11.72 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

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:



$$\eta : 1.058 \quad \times$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 9.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 9.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 16.41 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 184.23 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 2.095 \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 638.71 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Sd} : 4.05 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 9.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 632.76 \text{ kN}$$

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

$$M_{x,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 9.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



**Perfil: UD 300x100x6.4**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N799                                                                                                                                                                                                 | N8        | 1.977              | 30.49                      | 3890.53                                             | 267.79                                              | 4.10                                                | -27.28                                | 0.00                                  |
| Notas:<br>(1) Inércia em relação ao eixo indicado<br>(2) Momento de inércia à torção uniforme<br>(3) Coordenadas do centro de gravidade                                                              |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral          |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  | Plano ZY           | Aba sup.                   |                                                     | Aba inf.                                            |                                                     |                                       |                                       |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      | 1.00               | 0.00                       |                                                     | 0.00                                                |                                                     |                                       |                                       |
| L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 1.977     | 1.977              | 0.000                      |                                                     | 0.000                                               |                                                     |                                       |                                       |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         | -                  | 1.000                      |                                                     | 1.000                                               |                                                     |                                       |                                       |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    |                            |                                                     | 1.000                                               |                                                     |                                       |                                       |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)                 |                                                         |                           |                                                 |                          |                           |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 | Estado                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | b/t                                                | λ                                                       | N <sub>t</sub>            | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>           | M <sub>y</sub>            | V <sub>x</sub>           | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub><br>M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                           |
| N799/<br>N8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | x: 0.395<br>m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤ 90<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.977<br>m<br>η = 68.0 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.977<br>m<br>η = 9.2 | x: 1.977<br>m<br>η = 13.9 | x: 1.977<br>m<br>η = 0.6 | η = 1.3        | x: 1.977<br>m<br>η = 0.9      | x: 1.977<br>m<br>η = 1.9      | N.P. <sup>(2)</sup>                             | x: 1.977<br>m<br>η = 90.9                    | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>η = 90.9 |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>λ: Limitação de esbeltez<br>N <sub>t</sub> : Resistência à tração<br>N <sub>c</sub> : Resistência à compressão<br>M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X<br>M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y<br>V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X<br>V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y<br>M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão<br>N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração<br>M <sub>t</sub> : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>η: Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                                    |                                                         |                           |                                                 |                          |                           |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                    |                                                         |                           |                                                 |                          |                           |                          |                |                               |                               |                                                 |                                              |                                                 |                           |

**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 0.395 m do nó N799.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44



Sendo:

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

**b** : 277.30 mm  
**t** : 6.35 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.

$\lambda_{xx}$  : 17.5 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 66.7 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.  
 **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.  
 **$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.  
 **$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$K_x L_x$**  : 1.977 m  
 **$K_y L_y$**  : 1.977 m  
 **$r_x$**  : 11.30 cm  
 **$r_y$**  : 2.96 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.680 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

**$N_{t,Sd}$**  : 565.08 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:

**$N_{t,Rd}$**  : 831.48 kN

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$** : Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$** : Coeficiente de ponderação das resistências.

**A** : 30.49 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$**  : 300.00 MPa  
 **$\gamma$**  : 1.1

#### 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:

$$\eta : 0.092 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 241.48 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.139 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$W_{ef}$ : 34.64 cm<sup>3</sup>

$f_v$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.006 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd}$ : 1.06 kN

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

$V_{Sd}$ : 0.53 kN

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

<sup>(1)</sup> $V_{Rd}$ : 92.12 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 30.55

para

$h/t$ : 13.96

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 39.60

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$t$ : 6.35 mm

$h$ : Largura da alma.

$h$ : 88.65 mm

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$ : 300.00 MPa

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v$ : 1.20

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.013 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd}$ : 3.72 kN

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:



$\eta$  : **0.019** ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$  : 1.31 kN·m

$M_{0,Rd}$  : 9.45 kN·m

$V_{Sd}$  : 1.06 kN

$V_{Rd}$  : 184.23 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 N8, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : **0.909** ✓

Onde:

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

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

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

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

$N_{t,Sd}$  : 565.08 kN

$M_{x,Sd}$  : 5.96 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 1.31 kN·m

$N_{Rd}$  : 831.48 kN

$M_{x,Rd}$  : 65.86 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 9.45 kN·m

**Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                      |                      |                      |                     |                     |
|---------|-------|--------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm²)             | $I_x^{(1)}$<br>(cm4) | $I_y^{(1)}$<br>(cm4) | $I_t^{(2)}$<br>(cm4) | $x_a^{(3)}$<br>(mm) | $y_a^{(3)}$<br>(mm) |
| N14     | N799  | 2.163              | 18.29                     | 182.52               | 5925.30              | 1.38                 | 0.00                | -22.80              |

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. |
| $\beta$ | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| $L_K$   | 2.163     | 2.163    | 0.000             | 0.000    |
| $C_m$   | -         | -        | 1.000             | 1.000    |
| $C_b$   | -         |          | 1.000             |          |

Notação:

$\beta$ : Coeficiente de flambagem

$L_K$ : Comprimento de flambagem (m)

$C_m$ : Coeficiente de momentos

$C_b$ : Fator de modificação para o momento crítico

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                               |                                          |                                 |                           |                         |                            |                            |                           |                        |                           |                     |                                          | Estado                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b/t                                | $\lambda$                                                     | $N_t$                                    | $N_c$                           | $M_u$                     | $M_v$                   | $V_u$                      | $V_v$                      | $M_u V_v$                 | $M_v V_u$              | $N_c M_u M_v$             | $N_t M_u M_v$       | $M_t$                                    |                                     |
| N14/N799                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $(b/t) \leq 200$<br>Passa          | $\lambda_{u,c} \leq 200$<br>$\lambda_{v,c} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.163<br>m<br>$\eta = 115.4$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 25.2$ | x: 2.163 m<br>$\eta = 2.1$ | x: 2.163 m<br>$\eta = 2.1$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 6.4$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta > 1000.0$ |
| Notação:<br>$b/t$ : Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>$\lambda$ : Limitação de esbeltez<br>$N_t$ : Resistência à tração<br>$N_c$ : Resistência à compressão<br>$M_u$ : Resistência à flexão eixo U<br>$M_v$ : Resistência à flexão eixo V<br>$V_u$ : Resistência ao esforço cortante U<br>$V_v$ : Resistência ao esforço cortante V<br>$M_u V_v$ : Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados<br>$M_v V_u$ : Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados<br>$N_c M_u M_v$ : Resistência à flexo-compressão<br>$N_t M_u M_v$ : Resistência à flexo-tração<br>$M_t$ : Resistência à torção<br>$x$ : Distância à origem da barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>$N.P.$ : Não procede |                                    |                                                               |                                          |                                 |                           |                         |                            |                            |                           |                        |                           |                     |                                          |                                     |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                    |                                                               |                                          |                                 |                           |                         |                            |                            |                           |                        |                           |                     |                                          |                                     |

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19



Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 90.48 mm

**t** : 4.76 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 36.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.163 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 6.626 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.16 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.721 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.721 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.02 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.95 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)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 1.154 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N799, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$  : 116.47 kN

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



$$N_{c,Rd} : 100.96 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 8.15 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.92$$

$$\chi_{xz} : 0.50$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,vv} : 0.45$$

$$\lambda_{0,xz} : 1.29$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 9.14 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 163.65 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.  
 $K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.  
 $K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.  
 $r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$K_u L_u$ : 0.721 m  
 $K_v L_v$ : 0.721 m  
 $K_z L_z$ : 0.721 m

$r_0$ : 5.67 cm

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$r_u$ : 4.02 cm

$r_v$ : 1.95 cm

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$u_0$ : -34.85 mm

$v_0$ : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 77.230 X

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{sd}$ : 0.67 kN·m

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

$M_{Rd}$ : 0.01 kN·m

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

$M_{Rd}$ : 0.01 kN·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.

$W_{ef}$ : 0.03 cm<sup>3</sup>

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.252 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 2.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 9.75 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 2.10 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$h$ : Largura da alma.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$



**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

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub> :** 99.67 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup> :** 30.55

para

**h/t :** 19.01

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup> :** 39.60

Onde:

**t:** Espessura da alma.

**t :** 4.76 mm

**h:** Largura da alma.

**h :** 90.48 mm

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

**f<sub>v</sub> :** 300.00 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 V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.021 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**V<sub>Sd</sub> :** 2.10 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

**V<sub>Rd</sub> :** 99.67 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

**V<sub>Rd</sub> :** 99.67 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup> :** 30.55

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 5964.512 \text{ X}$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

|              |       |      |
|--------------|-------|------|
| $M_{Sd}$ :   | 0.67  | kN·m |
| $M_{0,Rd}$ : | 0.01  | kN·m |
| $V_{Sd}$ :   | 1.14  | kN   |
| $V_{Rd}$ :   | 99.67 | kN   |

**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.064 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

|              |       |      |
|--------------|-------|------|
| $M_{Sd}$ :   | 0.67  | kN·m |
| $M_{0,Rd}$ : | 2.66  | kN·m |
| $V_{Sd}$ :   | 1.14  | kN   |
| $V_{Rd}$ :   | 99.67 | kN   |

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 78.323 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

|              |        |      |
|--------------|--------|------|
| $N_{c,Sd}$ : | 90.10  | kN   |
| $M_{u,Sd}$ : | 0.67   | kN·m |
| $M_{v,Sd}$ : | 0.53   | kN·m |
| $N_{c,Rd}$ : | 100.96 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ : | 0.01   | kN·m |
| $M_{v,Rd}$ : | 2.66   | kN·m |



**Perfil: UD 300x150x10**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N1      | N9    | 1.787              | 57.12                      | 7940.37                                             | 1257.41                                             | 19.04                                               | -33.16                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.787     | 1.787    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barr<br>a                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                          |                            |                           |                            |                           |              |                           |                           |                          |                     |                                          | Estado                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                    | $N_c$                      | $M_x$                     | $M_y$                      | $V_x$                     | $V_y$        | $M_x V_y$                 | $M_y V_x$                 | $N_c M_x M_y$            | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                    |                                    |
| N1/<br>N9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0<br>m<br>$\eta = 72.8$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 7.8$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 29.6$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.4$ | $\eta = 1.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 0.6$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 8.8$ | x: 0 m<br>$\eta = 110.2$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 110.2$ |
| Notação:<br>$b/t$ : Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>$\lambda$ : Limitação de esbeltez<br>$N_t$ : Resistência à tração<br>$N_c$ : Resistência à compressão<br>$M_x$ : Resistência à flexão eixo X<br>$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y<br>$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X<br>$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y<br>$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>$N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão<br>$N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração<br>$M_t$ : Resistência à torção<br>$x$ : Distância à origem da barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                    |                                                             |                                          |                            |                           |                            |                           |              |                           |                           |                          |                     |                                          |                                    |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |                                                             |                                          |                            |                           |                            |                           |              |                           |                           |                          |                     |                                          |                                    |

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 27



Sendo:

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

**b :** 270.00 mm  
**t :** 10.00 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 15.2 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 38.1 ✓

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.  
 $K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.  
 $r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.  
 $r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$  : 1.787 m  
 $K_y L_y$  : 1.787 m  
 $r_x$  : 11.79 cm  
 $r_y$  : 4.69 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)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.728 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Ed}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Ed}$  : 905.25 kN

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

$N_{c,Rd}$  : 1243.82 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$A_{ef}$  : 54.56 cm<sup>2</sup>  
 $\chi_{yy}$  : 0.91  
 $\chi_{xz}$  : 0.99

$\lambda_{0, yy}$  : 0.47  
 $\lambda_{0, xz}$  : 0.19

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 57.12 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 7772.46 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$ : 7772.46 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 49081.88 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 49081.88 kN

$N_{ez}$ :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

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

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

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

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

$I_x$ : 7940.37 cm<sup>4</sup>

$I_y$ : 1257.41 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : 19.04 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : 180189.44 cm<sup>6</sup>

$E$ : 200000 MPa

$G$ : 76923 MPa

$K_x L_x$ : 1.787 m

$K_y L_y$ : 1.787 m

$K_z L_z$ : 0.000 m

$r_0$ : 15.69 cm

Sendo:

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

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

$r_x$ : 11.79 cm

$r_y$ : 4.69 cm

$x_0$ : -92.30 mm

$y_0$ : 0.00 mm



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.078 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 10.44 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 491.83 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.296 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 9.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$W_{ef}$ : 116.25 cm<sup>3</sup>

$f_v$ : 300.00 MPa

$\gamma$ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.014 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd}$ : 6.19 kN

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

$V_{Sd}$ : 3.09 kN

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

<sup>(1)</sup> $V_{Rd}$ : 220.91 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 30.55

para

$h/t$ : 13.50

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 39.60

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$t$ : 10.00 mm

$h$ : Largura da alma.

$h$ : 135.00 mm

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$f_v$ : 300.00 MPa

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v$ : 1.20

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 4.43 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 270.00 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**$\gamma$** : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

Onde:

**$M_{sd}$** : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 10.44 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**$M_{0,Rd}$** : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**$V_{sd}$** : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{sd} : 4.32 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:



$\eta$  : **0.088** ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$  : 9.39 kN·m

$M_{0,Rd}$  : 31.70 kN·m

$V_{Sd}$  : 6.19 kN

$V_{Rd}$  : 441.82 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$  : **1.102** ✗

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$N_{c,Sd}$  : 905.25 kN

$M_{x,Sd}$  : 10.44 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 9.39 kN·m

$N_{c,Rd}$  : 1243.82 kN

$M_{x,Rd}$  : 134.14 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 31.70 kN·m

**Perfil: UD 300x150x8**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N890    | N877  | 1.613              | 46.09                      | 6501.39                                             | 1028.10                                             | 9.83                                                | -33.98                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.613     | 1.613    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)              |                                                             |                             |                                          |                        |                         |                        |              |                        |                        |                     |                         |                                          | Estado                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | b/t                                             | $\lambda$                                                   | $N_t$                       | $N_c$                                    | $M_x$                  | $M_y$                   | $V_x$                  | $V_y$        | $M_x V_y$              | $M_y V_x$              | $N_c M_x$<br>$M_v$  | $N_t M_x$<br>$M_v$      | $M_t$                                    |                                |
| N890/N877                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | x: 1.411 m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤ 90<br>Passa | $\lambda_{xx} \leq 300$<br>$\lambda_{yy} \leq 300$<br>Passa | x: 1.613 m<br>$\eta = 65.7$ | $N_{c,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 1.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 23.9$ | x: 0 m<br>$\eta = 1.3$ | $\eta = 0.1$ | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$ | x: 0 m<br>$\eta = 5.7$ | N.P. <sup>(2)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 89.6$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>PASS A</b><br>$\eta = 89.6$ |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>$\lambda$ : Limitação de esbeltez<br>$N_t$ : Resistência à tração<br>$N_c$ : Resistência à compressão<br>$M_x$ : Resistência à flexão eixo X<br>$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y<br>$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X<br>$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y<br>$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>$N_c M_x$ : Resistência à flexo-compressão<br>$N_t M_x$ : Resistência à flexo-tração<br>$M_t$ : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                                 |                                                             |                             |                                          |                        |                         |                        |              |                        |                        |                     |                         |                                          |                                |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.<br><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<br><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                 |                                                             |                             |                                          |                        |                         |                        |              |                        |                        |                     |                         |                                          |                                |

### 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 1.411 m do nó N890.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 34



Sendo:

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

**b** : 274.00 mm  
**t** : 8.00 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.

$\lambda_{xx}$  : 13.6 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 34.1 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.  
 **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.  
 **$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.  
 **$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$K_x L_x$**  : 1.613 m  
 **$K_y L_y$**  : 1.613 m  
 **$r_x$**  : 11.88 cm  
 **$r_y$**  : 4.72 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.657 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N877, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

**$N_{t,Sd}$**  : 825.38 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:

**$N_{t,Rd}$**  : 1256.93 kN

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$** : Tensão de escoamento.  
 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

**A** : 46.09 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$**  : 300.00 MPa  
 $\gamma$  : 1.1

**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:

$$\eta : 0.010 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 0.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 100.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 100.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 368.06 \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.239 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 6.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 25.56 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

**$W_{ef}$** : 93.71 cm<sup>3</sup>

**$f_v$** : 300.00 MPa

**$\gamma$** : 1.1

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

Deve satisfazer:

**$\eta$** : 0.013 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  **$V_{sd}$**  produz-se no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$V_{sd}$** : 4.59 kN

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

**$V_{sd}$** : 2.30 kN

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

**$(1)V_{Rd}$** : 179.35 kN

para

**$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$** : 30.55

para

**$h/t$** : 17.12

para

**$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$** : 39.60

Onde:

**$t$** : Espessura da alma.

**$t$** : 8.00 mm

**$h$** : Largura da alma.

**$h$** : 137.00 mm

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

**$f_v$** : 300.00 MPa

**$E$** : Módulo de elasticidade.

**$E$** : 200000 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

**$\gamma$** : 1.1

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**$K_v$** : 1.20

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

Deve satisfazer:

**$\eta$** : 0.001 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  **$V_{sd}$**  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+PPT+1.4·V0.

**$V_{sd}$** : 0.37 kN

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 358.69 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 34.25$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 274.00 \text{ mm}$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

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:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 100.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 0.31 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 358.69 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

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:



$\eta$  : **0.057** ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$  : 6.10 kN·m

$M_{0,Rd}$  : 25.56 kN·m

$V_{Sd}$  : 4.59 kN

$V_{Rd}$  : 358.69 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 N890, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : **0.896** ✓

Onde:

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

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

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

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

$N_{t,Sd}$  : 825.29 kN

$M_{x,Sd}$  : 0.10 kN·m

$M_{y,Sd}$  : 6.10 kN·m

$N_{Rd}$  : 1256.93 kN

$M_{x,Rd}$  : 100.38 kN·m

$M_{y,Rd}$  : 25.56 kN·m



$$(b/t) : 24 \quad \checkmark$$

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento,

$$b : 92.15 \text{ mm}$$

**t:** A espessura.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 300. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 300.

$$\lambda_{uu,c} : 85.9 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{vv,c} : 28.6 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{uu,s} : 22.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{vv,s} : 46.1 \quad \checkmark$$

Onde:

**$K_u L_{u,c}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,c} : 2.725 \text{ m}$$

**$K_v L_{v,c}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,c} : 5.143 \text{ m}$$

**$r_{u,c}$ :** Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,c} : 3.17 \text{ cm}$$

**$r_{v,c}$ :** Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : 17.96 \text{ cm}$$

**$K_u L_{u,s}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : 0.908 \text{ m}$$

**$K_v L_{v,s}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : 0.908 \text{ m}$$

**$r_{u,s}$ :** Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : 4.03 \text{ cm}$$

**$r_{v,s}$ :** Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : 1.97 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.316 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N890, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**$N_{t,sd}$ :** Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,sd} : 64.27 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:



$$N_{t,Rd} : 203.22 \text{ kN}$$

Onde:

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$ :** Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} A &: 7.45 \text{ cm}^2 \\ f_y &: 300.00 \text{ MPa} \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

#### **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 U** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 27.722 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N9, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$M_{sd} : 0.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 0.03 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 300.00 \text{ MPa} \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.107 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N9, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$M_{Sd} : 0.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 2.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 8.14 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N9, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$V_{Sd} : 0.82 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.94$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$h$ : Largura da alma.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**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

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub> :** 82.10 kN

para

**1.08(EK<sub>V</sub>/f<sub>V</sub>)<sup>0.5</sup> :** 30.55

para

**h/t :** 23.94

para

**1.4(EK<sub>V</sub>/f<sub>V</sub>)<sup>0.5</sup> :** 39.60

Onde:

**t:** Espessura da alma.

**t :** 3.85 mm

**h:** Largura da alma.

**h :** 92.15 mm

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

**f<sub>V</sub> :** 300.00 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 V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N9, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**V<sub>Sd</sub> :** 0.82 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

**V<sub>Rd</sub> :** 82.10 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

**V<sub>Rd</sub> :** 82.10 kN

para

**1.08(EK<sub>V</sub>/f<sub>V</sub>)<sup>0.5</sup> :** 30.55

para

**h/t :** 23.94



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.94$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N9, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

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:

$$\eta : 768.532 \text{ X}$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.  
 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
 $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.  
 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{Sd}$  : 0.24 kN·m  
 $M_{0,Rd}$  : 0.01 kN·m  
 $V_{Sd}$  : 0.82 kN  
 $V_{Rd}$  : 82.10 kN

**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N9, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$\eta$  : 0.012 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.  
 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
 $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.  
 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{Sd}$  : 0.24 kN·m  
 $M_{0,Rd}$  : 2.22 kN·m  
 $V_{Sd}$  : 0.82 kN  
 $V_{Rd}$  : 82.10 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 N9, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 28.101 ✗

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.  
 $M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.  
 $N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.  
 $M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$  : 58.13 kN  
 $M_{u,Sd}$  : 0.24 kN·m  
 $M_{v,Sd}$  : 0.20 kN·m  
 $N_{Rd}$  : 203.22 kN  
 $M_{u,Rd}$  : 0.01 kN·m  
 $M_{v,Rd}$  : 2.22 kN·m

**Perfil: UD 300x150x10**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| 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>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup> (mm) |      |
|     | N4              | N5    | 1.715                     | 57.12                                            | 7940.37                                          | 1257.41                                          | 19.04                              | -33.16                             | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.715     | 1.715    | 0.000             | 0.000    |
| C <sub>m</sub> | -         | -        | 1.000             | 1.000    |
| C <sub>b</sub> | -         | -        | 1.000             | 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

| Barr<br>a | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)    |                                                               |                             |                      |                      |                       |                             |                |                               |                               |                                              |                                              |                                                    | Estado                         |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|           | b/t                                   | λ                                                             | N <sub>t</sub>              | N <sub>c</sub>       | M <sub>x</sub>       | M <sub>y</sub>        | V <sub>x</sub>              | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                     |                                |
| N4/<br>N5 | (b <sub>w</sub> /t) ≤<br>200<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤<br>200<br>λ <sub>yy</sub> ≤<br>200<br>Passa | x:<br>1.715<br>m<br>η = 0.6 | x: 0<br>m<br>η = 2.5 | x: 0<br>m<br>η = 6.7 | x: 0<br>m<br>η = 25.0 | x:<br>1.715<br>m<br>η = 1.6 | η = 1.4        | x: 0<br>m<br>η = 0.5          | x: 0<br>m<br>η = 6.3          | x: 0<br>m<br>η = 30.2                        | x: 0<br>m<br>η = 26.4                        | M <sub>t,Sd</sub> =<br>0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS<br/>A<br/>η = 30.2</b> |

Notação:  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
λ: Limitação de esbeltez  
N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X  
M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y  
V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X  
V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y  
M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão  
N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração  
M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 27



Sendo:

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

**b** : 270.00 mm  
**t** : 10.00 mm



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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : 14.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 36.6 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 1.715 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.715 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.79 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 4.69 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.006 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4.V90.

$N_{t,Ed}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Ed} : 8.63 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 1557.86 \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.025 \quad \checkmark$$


O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$  : 31.26 kN

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

$N_{c,Rd}$  : 1251.64 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$  : 54.51 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy}$  : 0.92

$\chi_{xz}$  : 0.99

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$  : 0.45

$\lambda_{0,xz}$  : 0.18

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$  : 57.12 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 300.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$  : 8438.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$  : 8438.78 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$  : 53289.55 kN

Onde:

$N_{ex}$  : 53289.55 kN

$N_{ez}$  :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

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

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

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

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

$$I_x : 7940.37 \text{ cm}^4$$

$$I_y : 1257.41 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 19.04 \text{ cm}^4$$

$$C_w : 180189.44 \text{ cm}^6$$

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

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

$$K_x L_x : 1.715 \text{ m}$$

$$K_y L_y : 1.715 \text{ m}$$

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

$$r_0 : 15.69 \text{ cm}$$

Sendo:

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

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

$$r_x : 11.79 \text{ cm}$$

$$r_y : 4.69 \text{ cm}$$

$$x_0 : -92.30 \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.067 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 8.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 491.83 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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



Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.250 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 7.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 116.24 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.016 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 7.03 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 3.52 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 220.91 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

**t**: 10.00 mm

**h**: 135.00 mm

**f<sub>v</sub>**: 300.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 1.20

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

Deve satisfazer:

**η**: 0.014 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

**V<sub>sd</sub>**: 6.06 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V<sub>Rd</sub>** deve ser calculada por:

**(1)V<sub>Rd</sub>**: 441.82 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 62.35

para

**h/t**: 27.00

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 80.83

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

**t**: 10.00 mm

**h**: 270.00 mm

**f<sub>v</sub>**: 300.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 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 N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.005 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 8.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 6.06 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.063 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 7.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 6.10 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$\eta : 0.302 \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$$N_{c,Sd} : 31.26 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 8.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 6.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 1251.64 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.264} \quad \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$N_{t,Sd} : \underline{3.33} \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{7.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : \underline{1557.86} \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{134.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{31.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N7      | N929  | 2.445              | 37.12                      | 5297.81                                             | 836.84                                              | 5.07                                                | -34.63                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.445     | 2.445    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                               |                           |                               |                            |                               |              |                               |                           |                            |                                |                                          |                                | Estado |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                         | $N_c$                     | $M_x$                         | $M_y$                      | $V_x$                         | $V_y$        | $M_x V_y$                     | $M_y V_x$                 | $N_c M_x$<br>$M_y$         | $N_t M_x M_y$                  | $M_t$                                    |                                |        |
| N7/N9<br>29                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | x: 2.445<br>m<br>$\eta = 1.5$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.7$ | x: 2.445<br>m<br>$\eta = 7.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 10.5$ | x: 2.445<br>m<br>$\eta = 0.6$ | $\eta = 1.0$ | x: 2.445<br>m<br>$\eta = 0.5$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.1$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 17.2$ | x: 2.445<br>m<br>$\eta = 12.9$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS A</b><br>$\eta = 17.2$ |        |
| Notação:<br>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>$\lambda$ : Limitação de esbeltez<br>$N_t$ : Resistência à tração<br>$N_c$ : Resistência à compressão<br>$M_x$ : Resistência à flexão eixo X<br>$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y<br>$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X<br>$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y<br>$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados<br>$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados<br>$N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão<br>$N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração<br>$M_t$ : Resistência à torção<br>x: Distância à origem da barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>N.P.: Não procede |                                    |                                                             |                               |                           |                               |                            |                               |              |                               |                           |                            |                                |                                          |                                |        |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |                                                             |                               |                           |                               |                            |                               |              |                               |                           |                            |                                |                                          |                                |        |

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43



Sendo:

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

**b**: 277.20 mm  
**t**: 6.40 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : 20.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 51.5 \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : 2.445 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 2.445 \text{ m}$$

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

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.015 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N929, para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 15.63 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 1012.36 \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 37.12 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \quad \checkmark$$




O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$  : 10.78 kN

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

$N_{c,Rd}$  : 620.06 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$  : 29.36 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{vv}$  : 0.84

$\chi_{xz}$  : 0.97

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0, vv}$  : 0.63

$\lambda_{0, xz}$  : 0.25

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$  : 37.12 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 300.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$  : 2762.17 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$N_{ey}$  : 2762.17 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$  : 17486.53 kN

Onde:

$N_{ex}$  : 17486.53 kN

$N_{ez}$  :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.  
 $I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.  
 $I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.  
 $C_w$ : Constante de empenamento da seção.  
 $E$ : Módulo de elasticidade.  
 $G$ : Módulo de elasticidade transversal.  
 $K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.  
 $K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.  
 $K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.  
 $r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$I_x$ : 5297.81 cm<sup>4</sup>  
 $I_y$ : 836.84 cm<sup>4</sup>  
 $I_t$ : 5.07 cm<sup>4</sup>  
 $C_w$ : 123666.07 cm<sup>6</sup>  
 $E$ : 200000 MPa  
 $G$ : 76923 MPa

$K_x L_x$ : 2.445 m  
 $K_y L_y$ : 2.445 m  
 $K_z L_z$ : 0.000 m

$r_0$ : 15.88 cm

Sendo:

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

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

$r_x$ : 11.95 cm  
 $r_y$ : 4.75 cm  
 $x_0$ : -93.14 mm  
 $y_0$ : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.070 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$M_{Sd}$ : 5.22 kN·m

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

$M_{Rd}$ : 74.59 kN·m

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

$M_{Rd}$ : 74.59 kN·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.

$W_{ef}$ : 273.50 cm<sup>3</sup>  
 $f_y$ : 300.00 MPa  
 $\gamma$ : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.105 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 20.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 74.67 \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.006 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.63 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.82 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 145.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

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

**t** : 6.40 mm

**h** : 138.60 mm

**f<sub>v</sub>** : 300.00 MPa

**E** : 200000 MPa

**γ** : 1.1

**K<sub>v</sub>** : 1.20

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

Deve satisfazer:

**η** : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

**V<sub>sd</sub>** : 3.02 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V<sub>Rd</sub>** deve ser calculada por:

<sup>(1)</sup>**V<sub>Rd</sub>** : 290.30 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>** : 62.35

para

**h/t** : 43.31

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>** : 80.83

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

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

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

**t** : 6.40 mm

**h** : 277.20 mm

**f<sub>v</sub>** : 300.00 MPa

**E** : 200000 MPa

**γ** : 1.1

**K<sub>v</sub>** : 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 N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

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:

$$\eta : 0.005 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 2.50 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 290.30 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.011 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 20.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 0.79 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 290.30 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 0.172 \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$$N_{c,Sd} : 8.83 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 3.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 620.06 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 20.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N929, para a combinação  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.129} \quad \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$N_{t,Sd} : 15.63 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 1012.36 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 20.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



**Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço USI SAC 300**

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm²)             | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm⁴) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm⁴) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm⁴) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N5                                                                                                                                                                                                   | N7        | 2.460              | 24.06                     | 236.56                                 | 7856.49                                | 3.23                                   | 0.00                                  | -22.05                                |
| Notas:<br>(1) Inércia em relação ao eixo indicado<br>(2) Momento de inércia à torção uniforme<br>(3) Coordenadas do centro de gravidade                                                              |           |                    |                           |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral         |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  | Plano ZY           | Aba sup.                  |                                        | Aba inf.                               |                                        |                                       |                                       |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      | 1.00               | 0.00                      |                                        | 0.00                                   |                                        |                                       |                                       |
| L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 2.460     | 2.460              | 0.000                     |                                        | 0.000                                  |                                        |                                       |                                       |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         | -                  | 1.000                     |                                        | 1.000                                  |                                        |                                       |                                       |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | 1.000                     |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                           |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |

| Barr<br>a                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                                 |                           |                           |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                            |                                          | Estad<br>o                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b/t                                | $\lambda$                                                       | $N_t$                     | $N_c$                     | $M_u$                        | $M_v$                        | $V_u$                        | $V_v$                        | $M_u V_v$                    | $M_v V_u$                    | $N_c M_u M_v$                | $N_t M_u M_v$              | $M_t$                                    |                                                |
| N5/<br>N7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $(b_f/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{uu,c} \leq 200$<br>$\lambda_{vv,c} \leq 200$<br>Passa | x: 0<br>m<br>$\eta = 8.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 4.9$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 3.1$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 5.6$ | x: 2.46<br>m<br>$\eta = 0.9$ | x: 2.46<br>m<br>$\eta = 0.9$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 0.1$ | x: 0.82<br>m<br>$\eta = 0.3$ | x: 0.41<br>m<br>$\eta = 9.8$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 13.3$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | <b>PASS<br/>A<br/><math>\eta = 13.3</math></b> |
| Notação:<br>$b/t$ : Valores máximos da relação comprimento-espessura<br>$\lambda$ : Limitação de esbeltez<br>$N_t$ : Resistência à tração<br>$N_c$ : Resistência à compressão<br>$M_u$ : Resistência à flexão eixo U<br>$M_v$ : Resistência à flexão eixo V<br>$V_u$ : Resistência ao esforço cortante U<br>$V_v$ : Resistência ao esforço cortante V<br>$M_u V_v$ : Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados<br>$M_v V_u$ : Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados<br>$N_c M_u M_v$ : Resistência à flexo-compressão<br>$N_t M_u M_v$ : Resistência à flexo-tração<br>$M_t$ : Resistência à torção<br>$x$ : Distância à origem da barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)<br>$N.P.$ : Não procede |                                    |                                                                 |                           |                           |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                            |                                          |                                                |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):<br><sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                                                 |                           |                           |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                            |                                          |                                                |

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 14 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 87.30 mm

**t** : 6.35 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 78.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 26.2 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 20.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 42.7 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.460 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 4.725 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.14 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.07 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.820 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.820 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.00 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.92 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.080 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$  : 26.20 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$  : 328.12 kN

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$** : Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$** : Coeficiente de ponderação das resistências.

**A** : 12.03 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$**  : 300.00 MPa  
 **$\gamma$**  : 1.1

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

Deve satisfazer:

**$\eta$**  : 0.049 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

**$N_{c,Sd}$** : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**$N_{c,Sd}$**  : 9.70 kN

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

**$N_{c,Rd}$**  : 198.67 kN

Onde:

**$A_{ef}$** : Área efetiva da seção transversal da barra.

**$A_{ef}$**  : 11.79 cm<sup>2</sup>

**$\chi$** : Fator de redução associado à flambagem,

**$\chi_{vv}$**  : 0.89

Sendo:

**$\chi_{xz}$**  : 0.67

**$\lambda_0$** : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

**$\lambda_{0,vv}$**  : 0.53

**$\lambda_{0,xz}$**  : 0.97

Sendo:

**$N_e$** : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

**A** : 12.03 cm<sup>2</sup>

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

**$f_y$**  : 300.00 MPa

**$\gamma$** : Coeficiente de ponderação das resistências.

**$\gamma$**  : 1.2

A força normal de flambagem elástica  **$N_e$**  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

**$N_e$**  : 382.95 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.



$$N_{ev} : 1305.13 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 382.95 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5639.83 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 393.50 \text{ kN}$$

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 192.11 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 44.46 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 1.62 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.11 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.820 \text{ m}$$

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.820 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.820 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 5.62 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.00 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.92 \text{ cm}$$

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.58 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.031 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.  $M_{sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$$M_{Rd} : 6.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 6.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 22.31 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.056 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.  $M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$$M_{Rd} : 3.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 12.46 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$


O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 1.13 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 87.30 \text{ mm}$$

**$f_V$** : Tensão de escoamento.

$$f_V : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_V$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 87.30 \text{ mm}$$

**$f_V$** : Tensão de escoamento.

$$f_V : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_V$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 1.13 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 87.30 \text{ mm}$$

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

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**γ**: 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:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 128.29 \text{ kN}$$

para

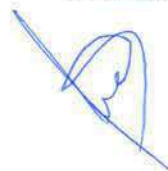
$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.75$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t** : 6.35 mm  
**h** : 87.30 mm  
**f<sub>v</sub>** : 300.00 MPa  
**E** : 200000 MPa  
**γ** : 1.1  
**K<sub>v</sub>** : 1.20

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

η : 0.001 ✓

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.  
**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.  
**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>Sd</sub>** : 0.19 kN·m  
**M<sub>0,Rd</sub>** : 6.08 kN·m  
**V<sub>Sd</sub>** : 0.04 kN  
**V<sub>Rd</sub>** : 128.29 kN

**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M<sub>Sd</sub>** e **V<sub>Sd</sub>** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

η : 0.003 ✓

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.  
**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.  
**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>Sd</sub>** : 0.19 kN·m  
**M<sub>0,Rd</sub>** : 3.40 kN·m  
**V<sub>Sd</sub>** : 0.04 kN  
**V<sub>Rd</sub>** : 128.29 kN



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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.410 m do nó N5, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

$\eta$  : **0.098** ✓

Onde:

|                                                                                                                                            |              |        |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|------|
| $N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.                                                                            | $N_{c,Sd}$ : | 9.04   | kN   |
| $M_{u,Sd}$ , $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.                                 | $M_{u,Sd}$ : | 0.16   | kN·m |
|                                                                                                                                            | $M_{v,Sd}$ : | 0.09   | kN·m |
| $N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.                                                               | $N_{c,Rd}$ : | 198.67 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ , $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. | $M_{u,Rd}$ : | 6.08   | kN·m |
|                                                                                                                                            | $M_{v,Rd}$ : | 3.40   | kN·m |

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

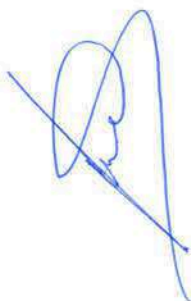
Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N5, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : **0.133** ✓

Onde:

|                                                                                                                                            |              |        |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|------|
| $N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.                                                                                | $N_{t,Sd}$ : | 26.20  | kN   |
| $M_{u,Sd}$ , $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.                                 | $M_{u,Sd}$ : | 0.06   | kN·m |
|                                                                                                                                            | $M_{v,Sd}$ : | 0.15   | kN·m |
| $N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.                                                                      | $N_{Rd}$ :   | 328.12 | kN   |
| $M_{u,Rd}$ , $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. | $M_{u,Rd}$ : | 6.08   | kN·m |
|                                                                                                                                            | $M_{v,Rd}$ : | 3.40   | kN·m |





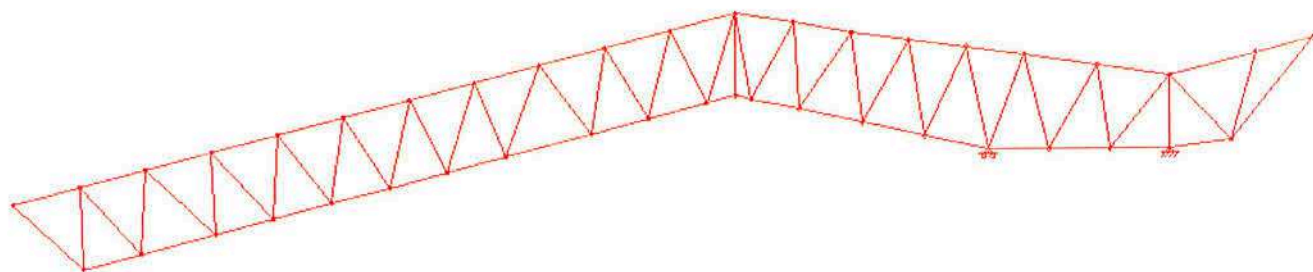
## ANEXO II

### Memória de Cálculo Estrutura Ampliada



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

EM BRANCO



**Figura 8- Esquema estático ampliação**

Memória de Cálculo : Para estrutura da estrutura ampliada

Dados da Obra

Dimensão total =  $36,00 \times 122 = 4.392,00 \text{ m}^2$

-a altura da edificação 26,22 m;

Carregamentos Adotados

- peso próprio da estrutura

- peso próprio calha + água + iluminação -  $0,15 \text{ KN/m}$

- Passarela técnica -  $1,5 \text{ KN/m}^2$  ( passarela + iluminação)

- peso próprio da telha -  $0,14 \text{ KN/m}^2$

(telha Recheada 30 mm poliuretano ( $e = 0,65 \text{ mm}$ )  $13,64 \text{ kg/m}^2$  -  $0,1364 \text{ KN/m}^2$  - fonte([www.tuper.com.br](http://www.tuper.com.br)))

-sobrecarga de utilização no telhado -  $0.15 \text{ KN/m}^2$

- vento (NBR 6123)

$V_o = 40,00 \text{ m/s}$

$S1 = 1,0$  (terreno plano fracamente acidentado)

$S2 = 0.93$  ( CAT IV - classe C)

$h = 26,00 \text{ m}$

$S3 = 1,0$  ( grupo 2 - alto fator de ocupação)

$V_k = 40,00 \times 1,0 \times 0.93 \times 1,00 = 37,20 \text{ m/s}$

$q = 0,613 \times 37,20^2 = 848,30 \text{ N/m}^2 = 0.84 \text{ KN/m}^2$



1  
2 Coeficiente de pressão interna ( Cpi 4 faces igualmente permeáveis)

3 Cpi 1 = - 0,30

4 Cpi2 = 0,00

## 5 Estados limites

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| E.L.U. Aço dobrado  | NBR 14762: 2010       |
| E.L.U. Aço laminado | NBR 8800: 2008        |
| Deslocamentos       | Ações características |

## 6 Combinações

### 7 Nomes das ações

8  
PP Peso próprio  
CP 1 calha + água  
SCU 1 sobrecarga  
V 1 vento 0  
V 2 vento 90

### 9 E.L.U. Aço dobrado

| Comb. | PP    | CP 1  | SCU 1 | V 1   | V 2   |  |  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 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 |       |  |  |
| 20    | 1.250 | 1.250 | 1.500 | 0.840 |       |  |  |
| 21    | 1.000 | 1.000 |       |       | 1.400 |  |  |



|    |       |       |       |  |       |  |  |
|----|-------|-------|-------|--|-------|--|--|
| 22 | 1.250 | 1.000 |       |  | 1.400 |  |  |
| 23 | 1.000 | 1.250 |       |  | 1.400 |  |  |
| 24 | 1.250 | 1.250 |       |  | 1.400 |  |  |
| 25 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |  | 1.400 |  |  |
| 26 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |  | 1.400 |  |  |
| 27 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |  | 1.400 |  |  |
| 28 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |  | 1.400 |  |  |
| 29 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |  | 0.840 |  |  |
| 30 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |  | 0.840 |  |  |
| 31 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |  | 0.840 |  |  |
| 32 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |  | 0.840 |  |  |
| 33 | 1.000 | 1.000 |       |  |       |  |  |
| 34 | 1.250 | 1.000 |       |  |       |  |  |
| 35 | 1.000 | 1.250 |       |  |       |  |  |
| 36 | 1.250 | 1.250 |       |  |       |  |  |
| 37 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |  |       |  |  |
| 38 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |  |       |  |  |
| 39 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |  |       |  |  |
| 40 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |  |       |  |  |
| 41 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |  |       |  |  |
| 42 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |  |       |  |  |
| 43 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |  |       |  |  |
| 44 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |  |       |  |  |
| 45 | 1.000 | 1.000 |       |  |       |  |  |
| 46 | 1.250 | 1.000 |       |  |       |  |  |
| 47 | 1.000 | 1.250 |       |  |       |  |  |
| 48 | 1.250 | 1.250 |       |  |       |  |  |
| 49 | 1.000 | 1.000 | 1.050 |  |       |  |  |
| 50 | 1.250 | 1.000 | 1.050 |  |       |  |  |
| 51 | 1.000 | 1.250 | 1.050 |  |       |  |  |
| 52 | 1.250 | 1.250 | 1.050 |  |       |  |  |
| 53 | 1.000 | 1.000 | 1.500 |  |       |  |  |
| 54 | 1.250 | 1.000 | 1.500 |  |       |  |  |
| 55 | 1.000 | 1.250 | 1.500 |  |       |  |  |
| 56 | 1.250 | 1.250 | 1.500 |  |       |  |  |

- 1
- 2 Dimensionamento
- 3
- 4 Banzo Superior TS1

**Perfil: UD 300x100x3.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020 )**





**Perfil: UD 300x100x3.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Y

X

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N785    | N850  | 1.864              | 18.24                      | 2376.69                                             | 164.63                                              | 0.86                                                | -28.32                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.864     | 1.864    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)          |                                                         |                      |                                                 |                       |                        |                       |                |                               |                               |                                              |                                              |                                                 | Estado                        |
|-----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
|           | b/t                                         | λ                                                       | N <sub>t</sub>       | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>x</sub>        | M <sub>y</sub>         | V <sub>x</sub>        | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                               |
| N785/N850 | x: 0 m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤ 90<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 300<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 1.864<br>η = 88.1 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.864 m<br>η = 7.7 | x: 1.864 m<br>η = 20.8 | x: 1.864 m<br>η = 1.0 | η = 0.8        | x: 1.864 m<br>η = 0.6         | x: 1.864 m<br>η = 4.4         | N.P. <sup>(2)</sup>                          | x: 1.864 m<br>η = 116.0                      | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η = 116.0 |

Notação:  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
λ: Limitação de esbeltez  
N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X  
M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y  
V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X  
V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y  
M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão  
N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração  
M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.  
<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.  
<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**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 N785.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.



(b/t) : 75 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 282.50 mm

t: A espessura.

t : 3.75 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.

 $\lambda_{xx}$  : 16.3 ✓ $\lambda_{yy}$  : 62.0 ✓

Onde:

 $K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x L_x$  : 1.864 m $K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y L_y$  : 1.864 m $r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. $r_x$  : 11.41 cm $r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. $r_y$  : 3.00 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

 $\eta$  : 0.881 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N850, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{t,Ed}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. $N_{t,Ed}$  : 302.32 kNA força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como: $N_{t,Rd}$  : 343.29 kN

Onde:

**A:** Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_v$ :** Tensão de escoamento.  
 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A:** 18.24 cm<sup>2</sup>  
 **$f_v$ :** 207.00 MPa  
 **$\gamma$ :** 1.1

**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:

$\eta$  : 0.077 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{sd}$**  é obtido para o nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

**$M_{sd}$**  : 1.90 kN·m

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

**$M_{Rd}$**  : 24.68 kN·m

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

**$M_{Rd}$**  : 24.68 kN·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.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**$W_{ef}$**  : 131.14 cm<sup>3</sup>

**$f_v$**  : 207.00 MPa

**$\gamma$**  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  **$K_t L_t$**  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  **$K_v L_v^{pos}$**  e  **$K_v L_v^{neg}$**  são nulos.



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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.208 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 3.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 20.53 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 0.81 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.41 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 38.64 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para





$$h/t : 24.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 91.25 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

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

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1  
2  
3  
4  
5**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.008 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{sd} : 0.99 \text{ kN}$$

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

$$^{(2)}V_{Rd} : 119.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 75.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 282.50 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

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



$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

$K_V$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$K_V$ : 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  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

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:

$\eta$ : 0.006 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$ : 1.90 kN·m

$M_{0,Rd}$ : 24.68 kN·m

$V_{Sd}$ : 0.65 kN

$V_{Rd}$ : 119.56 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$\eta$ : 0.044 ✓

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$M_{Sd}$ : 0.81 kN·m

$M_{0,Rd}$ : 3.86 kN·m

$V_{Sd}$ : 0.81 kN

$V_{Rd}$ : 77.27 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 N850, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.160 \quad \times$$

Onde:

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

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

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

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

$$N_{t,sd} : 302.32 \text{ kN}$$

$$M_{x,sd} : 1.74 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,sd} : 0.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 343.29 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 3.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Inferior TS1

**Perfil: UD 300x100x4.8**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |  |  |  |  |
| N349                                                                                                                                                                                                 | N295      | 0.701              | 22.99                      | 2971.68                                             | 205.34                                              | 1.73                                                | -27.92                                | 0.00                                  |  |  |  |  |
| Notas:<br><sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado<br><sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme<br><sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade                             |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral          |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  | Plano ZY           | Aba sup.                   | Aba inf.                                            |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      | 1.00               | 0.00                       | 0.00                                                |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
| L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 0.701     | 0.701              | 0.000                      | 0.000                                               |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         | -                  | 1.000                      | 1.000                                               |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | 1.000                      |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |  |  |  |  |

| VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |     |           |       |       |       |       |       |       |           |           |               |               | Estado |
|------------------------------------|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|--------|
| Barra                              | b/t | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_x$ | $M_y$ | $V_x$ | $V_y$ | $M_x V_y$ | $M_y V_x$ | $N_c M_x M_y$ | $N_t M_x M_y$ |        |



| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                           |                         |                        |                             |                            |              |                        |                            |                              |                     |                                           | Estado                             |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                     | $N_c$                   | $M_x$                  | $M_y$                       | $V_x$                      | $V_y$        | $M_x V_y$              | $M_y V_x$                  | $N_c M_x M_y$                | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                     |                                    |
| N349/N295 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t, Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 80.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 8.9$ | x: 0.701 m<br>$\eta = 23.7$ | x: 0.701 m<br>$\eta = 2.6$ | $\eta = 5.2$ | x: 0 m<br>$\eta = 1.0$ | x: 0.701 m<br>$\eta = 5.7$ | x: 0.701 m<br>$\eta = 111.2$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t, Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 111.2$ |

**Notação:**  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 $\lambda$ : Limitação de esbeltez  
 $N_t$ : Resistência à tração  
 $N_c$ : Resistência à compressão  
 $M_x$ : Resistência à flexão eixo X  
 $M_y$ : Resistência à flexão eixo Y  
 $V_x$ : Resistência ao esforço cortante X  
 $V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y  
 $M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
 $M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
 $N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão  
 $N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração  
 $M_t$ : Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
 $\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

**Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):**  
<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.  
<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.  
<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

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

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

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

**b**: 280.50 mm  
**t**: 4.75 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 6.2 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 23.4 ✓



Onde:

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

$K_x L_x$ : 0.701 m

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

$K_y L_y$ : 0.701 m

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

$r_x$ : 11.37 cm

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

$r_y$ : 2.99 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)

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.800 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N349, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$ : 248.17 kN

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

$N_{c,Rd}$ : 310.07 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$ : 18.41 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy}$ : 0.98

$\chi_{xz}$ : 1.00

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$ : 0.24

$\lambda_{0,xz}$ : 0.06

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.



**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

**A :** 22.99 cm<sup>2</sup>

**$f_v$  :** 207.00 MPa

**$\gamma$  :** 1.2

A força normal de flambagem elástica  **$N_e$**  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

**$N_e$  :** 8258.58 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

**$N_{ev}$  :** 8258.58 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

**$N_{exz}$  :** 119516.43 kN

Onde:

**$N_{ex}$  :** 119516.43 kN

**$N_{ez}$  :**  $\infty$

**$I_x$ :** Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

**$I_x$  :** 2971.68 cm<sup>4</sup>

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

**$I_y$  :** 205.34 cm<sup>4</sup>

**$I_t$ :** Momento de inércia à torção uniforme.

**$I_t$  :** 1.73 cm<sup>4</sup>

**$C_w$ :** Constante de empenamento da seção.

**$C_w$  :** 31289.05 cm<sup>6</sup>

**E:** Módulo de elasticidade.

**E :** 200000 MPa

**G:** Módulo de elasticidade transversal.

**G :** 76923 MPa

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

**$K_x L_x$  :** 0.701 m

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

**$K_y L_y$  :** 0.701 m

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

**$K_z L_z$  :** 0.000 m

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

**$r_0$  :** 12.89 cm

Sendo:

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

**$r_x$  :** 11.37 cm

**$r_y$  :** 2.99 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.

$x_0$  : -52.82 mm

$y_0$  : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.089 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N349, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.4·V90.

$M_{sd}$  : 2.97 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 33.39 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 33.39 kN·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.

$W_{ef}$  : 177.45 cm<sup>3</sup>

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.237 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 4.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 25.62 \text{ cm}^3$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 1.26 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 48.40 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:



**t:** Espessura da alma.

**t:** 4.75 mm

**h:** Largura da alma.

**h:** 90.25 mm

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

**f<sub>v</sub>:** 207.00 MPa

**E:** Módulo de elasticidade.

**E:** 200000 MPa

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

**γ:** 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:

**η:** 0.052 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**V<sub>sd</sub>:** 7.76 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V<sub>Rd</sub>** deve ser calculada por:

**(1)V<sub>Rd</sub>:** 150.44 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>:** 75.07

para

**h/t:** 59.05

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>:** 97.31

Onde:

**t:** Espessura da alma.

**t:** 4.75 mm

**h:** Largura da alma.

**h:** 280.50 mm

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

**f<sub>v</sub>:** 207.00 MPa

**E:** Módulo de elasticidade.

**E:** 200000 MPa

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

**γ:** 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>:** 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  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N349, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.010 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 2.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 7.76 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 150.44 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.057 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 4.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : 96.81 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 1.112 \quad \times$$



Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

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

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

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

$N_{c,Sd}$ : 248.13 kN

$M_{x,Sd}$ : 2.49 kN·m

$M_{y,Sd}$ : 1.14 kN·m

$N_{c,Rd}$ : 310.07 kN

$M_{x,Rd}$ : 33.39 kN·m

$M_{y,Rd}$ : 4.82 kN·m

Diagonais TS1

**Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N296    | N772  | 2.383              | 14.91                      | 150.04                                              | 4808.97                                             | 0.74                                                | 0.00                                  | -23.22                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.383     | 2.383    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                           |                                                               |                                          |                                 |                                  |                                |                               |                               |                                  |                               |                                  |                     |                                          | Estado                              |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| Barra                              | b/t                       | $\lambda$                                                     | $N_t$                                    | $N_c$                           | $M_u$                            | $M_v$                          | $V_u$                         | $V_v$                         | $M_u V_v$                        | $M_v V_u$                     | $N_c M_u M_v$                    | $N_t M_u M_v$       | $M_t$                                    |                                     |
| N296/N772                          | $(b/t) \leq 200$<br>Passa | $\lambda_{u,c} \leq 200$<br>$\lambda_{v,c} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.383<br>m<br>$\eta = 173.2$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta = 20.3$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta = 3.2$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta = 3.2$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta = 4.2$ | x: 2.383<br>m<br>$\eta > 1000.0$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta > 1000.0$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

$\lambda$ : Limitação de esbeltez

$N_t$ : Resistência à tração

$N_c$ : Resistência à compressão

$M_u$ : Resistência à flexão eixo U

$M_v$ : Resistência à flexão eixo V

$V_u$ : Resistência ao esforço cortante U

$V_v$ : Resistência ao esforço cortante V

$M_u V_v$ : Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados

$M_v V_u$ : Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados

$N_c M_u M_v$ : Resistência à flexo-compressão

$N_t M_u M_v$ : Resistência à flexo-tração

$M_t$ : Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede



| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |           |       |       |       |       |       |       |           |           |               |               |       | Estado |
|-------|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|-------|--------|
|       | b/t                                | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_u$ | $M_v$ | $V_u$ | $V_v$ | $M_u V_v$ | $M_v V_u$ | $N_c M_u M_v$ | $N_t M_u M_v$ | $M_t$ |        |

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

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

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

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

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24 ✓

Sendo:

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

**b :** 92.30 mm  
**t :** 3.85 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 75.1 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 42.4 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 19.7 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 40.3 ✓

Onde:

**$K_u L_{u,c}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

**$K_u L_{u,c}$  :** 2.383 m

**$K_v L_{v,c}$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

**$K_v L_{v,c}$  :** 7.619 m

**$r_{u,c}$ :** Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

**$r_{u,c}$  :** 3.17 cm





$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$ : 17.96 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$ : 0.794 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$ : 0.794 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$ : 4.03 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$ : 1.97 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)

Deve satisfazer:

$\eta$ : 1.732 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N772, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$ : 92.68 kN

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

$N_{c,Rd}$ : 53.50 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$ : 6.53 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{vv}$ : 0.93

$\chi_{xz}$ : 0.48

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,vv}$ : 0.41

$\lambda_{0,xz}$ : 1.33

Sendo:



$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A$ : 7.45 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 86.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$N_{ev}$ : 906.35 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$N_{exz}$ : 86.78 kN

Onde:

$N_{ex}$ : 3785.84 kN

$N_{ez}$ : 87.55 kN

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

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

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

$I_u$ : 121.06 cm<sup>4</sup>

$I_v$ : 28.98 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : 0.37 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : 0.01 cm<sup>6</sup>

$E$ : 200000 MPa

$G$ : 76923 MPa

$K_u L_u$ : 0.794 m

$K_v L_v$ : 0.794 m

$K_z L_z$ : 0.794 m

$r_0$ : 5.69 cm

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$r_u$ : 4.03 cm

$r_v$ : 1.97 cm



$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$u_0$  : -34.98 mm

$v_0$  : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$\eta$  : 59.454 X

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{Sd}$  : 0.31 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 0.01 kN·m

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

$M_{Rd}$  : 0.01 kN·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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$W_{ef}$  : 0.03 cm<sup>3</sup>

$f_v$  : 207.00 MPa

$\gamma$  : 1.1

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:





$$\eta : 0.203 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.032 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.83 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t**: 3.85 mm

**h**: Largura da alma.

**h**: 92.30 mm

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

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E**: 200000 MPa

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

**γ**: 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

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub>**: 56.74 kN

para

**1.08(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 36.77

para

**h/t**: 23.97

para

**1.4(EK<sub>v</sub>/f<sub>v</sub>)<sup>0.5</sup>**: 47.67

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**t**: 3.85 mm

**h**: Largura da alma.

**h**: 92.30 mm

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

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: Módulo de elasticidade.

**E**: 200000 MPa

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

**γ**: 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

1  
2  
3  
4  
5

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

Deve satisfazer:

**η**: 0.032 ✓



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N772, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 1.83 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$





Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

**E**: Módulo de elasticidade.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 3.85 mm

**h**: 92.30 mm

**$f_v$** : 207.00 MPa

**E**: 200000 MPa

$\gamma$ : 1.1

**$K_v$** : 1.20

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  **$M_{sd}$**  e  **$V_{sd}$**  são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 3534.817 \quad \times$$

Onde:

**$M_{sd}$** : Momento fletor solicitante de cálculo.

**$M_{0,Rd}$** : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**$V_{sd}$** : Força cortante solicitante de cálculo.

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

**$M_{sd}$** : 0.31 kN·m

**$M_{0,Rd}$** : 0.01 kN·m

**$V_{sd}$** : 1.83 kN

**$V_{Rd}$** : 56.74 kN

**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  **$M_{sd}$**  e  **$V_{sd}$**  são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.042 \quad \checkmark$$

Onde:



$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{sd}$  : 0.31 kN·m

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd}$  : 1.53 kN·m

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

$V_{sd}$  : 1.83 kN

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

$V_{Rd}$  : 56.74 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$  : 59.737 X

Onde:

$N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$  : 15.08 kN

$M_{u,sd}$ ,  $M_{v,sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$M_{u,sd}$  : 0.31 kN·m

$M_{v,sd}$  : 0.00 kN·m

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$N_{c,Rd}$  : 53.50 kN

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{u,Rd}$  : 0.01 kN·m

$M_{v,Rd}$  : 1.52 kN·m

Banzo Superior TS5

Perfil: UD 300x100x6.4

Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Material Age (1981-01-01 1981-01-01)

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm²)             | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm4) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |  |  |  |
| N811                                                                                                                                                                                                 | N284      | 1.977              | 30.49                     | 3890.53                                | 267.79                                 | 4.10                                   | -27.28                                | 0.00                                  |  |  |  |
| Notas:<br>(1) Inércia em relação ao eixo indicado<br>(2) Momento de inércia à torção uniforme<br>(3) Coordenadas do centro de gravidade                                                              |           |                    |                           |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral         |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  | Plano ZY           | Aba sup.                  |                                        | Aba inf.                               |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      | 1.00               | 0.00                      |                                        | 0.00                                   |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
| L <sub>K</sub>                                                                                                                                                                                       | 1.977     | 1.77               | 0.000                     |                                        | 0.000                                  |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         | -                  | 1.000                     |                                        | 1.000                                  |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | 1.000                     |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |  |  |  |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                           |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |  |  |  |

Barra

VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)

Estado





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | b/t                                                      | $\lambda$                                                         | $N_t$                                 | $N_c$                                       | $M_x$                                | $M_y$                                | $V_x$                            | $V_y$           | $M_x V_y$                        | $M_y V_x$                        | $N_c M_x$<br>$M_y$  | $N_t M_x M_y$                         | $M_t$                                       |                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| N811/N<br>284                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | x:<br>0.395<br>m<br>(b <sub>w</sub> /t) ≤<br>90<br>Passa | $\lambda_{xx} \leq$<br>300<br>$\lambda_{yy} \leq$<br>300<br>Passa | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta =$<br>166.3 | $N_{c,Sd} =$<br>0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta =$<br>14.3 | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta =$<br>28.4 | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta = 1.0$ | $\eta =$<br>2.1 | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta = 2.1$ | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta = 8.1$ | N.P. <sup>(2)</sup> | x:<br>1.977<br>m<br>$\eta =$<br>208.7 | $M_{t,Sd} =$<br>0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO<br/>PASSA</b><br>$\eta =$<br><b>208.7</b> |
| <p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p><math>\lambda</math>: Limitação de esbeltez</p> <p><math>N_t</math>: Resistência à tração</p> <p><math>N_c</math>: Resistência à compressão</p> <p><math>M_x</math>: Resistência à flexão eixo X</p> <p><math>M_y</math>: Resistência à flexão eixo Y</p> <p><math>V_x</math>: Resistência ao esforço cortante X</p> <p><math>V_y</math>: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p><math>M_x V_y</math>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados</p> <p><math>M_y V_x</math>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados</p> <p><math>N_c M_x</math>: Resistência à flexo-compressão</p> <p><math>N_t M_x M_y</math>: Resistência à flexo-tração</p> <p><math>M_t</math>: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p><math>\eta</math>: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p> <p><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p> |                                                          |                                                                   |                                       |                                             |                                      |                                      |                                  |                 |                                  |                                  |                     |                                       |                                             |                                                  |

### 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 0.395 m do nó N811.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 277.30 mm

**t** : 6.35 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.

$\lambda_{xx}$  : 17.5 ✓

$\lambda_{yy}$  : 66.7 ✓





Onde:

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

$K_x L_x$ : 1.977 m

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

$K_y L_y$ : 1.977 m

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

$r_x$ : 11.30 cm

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

$r_y$ : 2.96 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta$ : 1.663 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N284, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Ed}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Ed}$ : 953.87 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$ : 573.72 kN

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$ : 30.49 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

### 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:

$\eta$ : 0.143 ✓



O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N284, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$M_{sd} : 6.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.284 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N284, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 34.65 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N284, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 1.30 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.65 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$h$ : Largura da alma.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

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





Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{sd} : 4.25 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_V$** : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N284, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

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:

$$\eta : 0.021 \quad \checkmark$$

Onde:



$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 6.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 4.15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N284, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.081 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

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

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

$$M_{Sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 1.30 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 127.12 \text{ kN}$$

#### 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 desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N284, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.087 \times$$

Onde:

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

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

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

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos

$$N_{t,Sd} : 953.87 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 6.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 573.72 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

 $M_{v,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 

Banzo Inferior TS5

**Perfil: UD 300x100x6.4****Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N291    | N290  | 1.659              | 30.49                      | 3890.53                                             | 267.79                                              | 4.10                                                | -27.28                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.659     | 1.659    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                          |                             |                            |                                |                           |              |                           |                               |                             |                     |                                          | Estado                             |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                    | $N_c$                       | $M_x$                      | $M_y$                          | $V_x$                     | $V_y$        | $M_x V_y$                 | $M_y V_x$                     | $N_c M_x M_y$               | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                    |                                    |
| N291/N290 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0<br>m<br>$\eta = 194.4$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 17.0$ | x: 1.659<br>m<br>$\eta = 18.7$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.1$ | $\eta = 2.6$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 2.9$ | x: 1.659<br>m<br>$\eta = 3.5$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 222.8$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 222.8$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

 $\lambda$ : Limitação de esbeltez $N_t$ : Resistência à tração $N_c$ : Resistência à compressão $M_x$ : Resistência à flexão eixo X $M_y$ : Resistência à flexão eixo Y $V_x$ : Resistência ao esforço cortante X $V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão $N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração $M_t$ : Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

 $\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma





Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

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

**b :** 277.30 mm  
**t :** 6.35 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 14.7 ✓

$\lambda_{yy}$  : 56.0 ✓

Onde:

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

**$K_x L_x$  :** 1.659 m

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

**$K_y L_y$  :** 1.659 m

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

**$r_x$  :** 11.30 cm

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

**$r_y$  :** 2.96 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)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 1.944 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N291, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

**$N_{c,Ed}$ :** Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**$N_{c,Ed}$  :** 884.18 kN



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

$$N_{c,Rd} : 454.88 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 30.26 \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.87$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.99$$

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : 0.57$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.15$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 30.49 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 1920.54 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 1920.54 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 27902.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 27902.65 \text{ kN}$$



$$N_{ez} : \infty$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 3890.53 \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : 267.79 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 4.10 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 40239.31 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

$$K_x L_x : 1.659 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 1.659 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 12.80 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 11.30 \text{ cm}$$

$$r_y : 2.96 \text{ cm}$$

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

$$x_0 : -52.43 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

### Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.170 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 8.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

#### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.187 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 1.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.65 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.011 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 1.42 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{sd} = 0.5 V_{sd}$ .

$$V_{sd} : 0.71 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

**$f_v$** : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 5.21 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$



para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

**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 N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.029 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 8.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 5.21 \text{ kN}$$

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

**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 N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.



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:

$$\eta : 0.035 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.95 \text{ kN}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 127.12 \text{ kN}$$

### Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 2.228 \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 884.18 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 8.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.74 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 454.88 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 6.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Diagonal TS5

**Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

**Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | X <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | Y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N290    | N811  | 2.163              | 18,29                      | 182.52                                              | 5925.30                                             | 1.38                                                | 0.00                                  | -22.80                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.163     | 2.163    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra         | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                               |                                          |                                              |                           |                            |                                  |                                  |                           |                            |                           |                     | Estado                                   |                                 |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
|               | b/t                                | $\lambda$                                                     | $N_t$                                    | $N_c$                                        | $M_u$                     | $M_v$                      | $V_u$                            | $V_v$                            | $M_u V_v$                 | $M_v V_u$                  | $N_c M_u M_v$             | $N_t M_u M_v$       |                                          | $M_t$                           |
| N290/N<br>811 | $(b/t) \leq 200$<br>Passa          | $\lambda_{u,c} \leq 200$<br>$\lambda_{v,c} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x:<br>2.163<br>m<br>$\eta = 1000.0$<br>159.4 | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 52.4$ | x:<br>2.163<br>m<br>$\eta = 3.3$ | x:<br>2.163<br>m<br>$\eta = 3.3$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 27.5$ | x: 0 m<br>$\eta > 1000.0$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | NÃO<br>PASSA<br>$\eta > 1000.0$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N<sub>t</sub>: Resistência à tração

N<sub>c</sub>: Resistência à compressão

M<sub>u</sub>: Resistência à flexão eixo U

M<sub>v</sub>: Resistência à flexão eixo V

V<sub>u</sub>: Resistência ao esforço cortante U

V<sub>v</sub>: Resistência ao esforço cortante V

M<sub>u</sub>V<sub>v</sub>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados

M<sub>v</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados

N<sub>c</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-compressão

N<sub>t</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-tração

M<sub>t</sub>: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)





Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 90.48 mm

**t**: A espessura.

**t** : 4.76 mm

#### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$  : 38.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$  : 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$  : 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$  : 2.163 m

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$  : 6.983 m

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$  : 3.16 cm

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$  : 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$  : 0.721 m

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$  : 0.721 m

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$  : 4.02 cm

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$  : 1.95 cm

#### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.





1

2

**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.594} \quad \text{X}$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N811, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : \underline{144.35} \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : \underline{90.54} \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{8.52} \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : \underline{0.94}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.62}$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,vv} : \underline{0.38}$$

$$\lambda_{0,xz} : \underline{1.08}$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{9.14} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{163.65} \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

$I_u$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

$I_v$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.721 \text{ m}$$

$K_v L_v$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.721 \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.721 \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 5.67 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_u, r_v$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.02 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.95 \text{ cm}$$

$u_0, v_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.85 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo U** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 362.868 \text{ X}$$



O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{sd}$  : 0.97 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$M_{Rd}$  : 0.00 kN·m

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$M_{Rd}$  : 0.00 kN·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.

$W_{ef}$  : 0.01 cm<sup>3</sup>

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$  : 1.1

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

#### Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.524 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{sd}$  : 0.97 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$M_{Rd}$  : 1.85 kN·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.

$$W_{ef} : 9.81 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

### Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.033 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N811, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 2.29 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$h$ : Largura da alma.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.



$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : 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:

$$K_v : 1.20$$

1  
2  
3  
4  
5**Resistência ao esforço cortante V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.033 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V<sub>sd</sub>** produz-se no nó N811, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 2.29 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V<sub>Rd</sub>** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante **V<sub>Rd</sub>**, supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$



para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)





Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 131672.939 \quad \text{X}$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd} : 0.97 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd} : 0.88 \quad \text{kN}$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd} : 68.77 \quad \text{kN}$

#### **Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.275 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd} : 0.97 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd} : 1.85 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd} : 0.88 \quad \text{kN}$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd} : 68.77 \quad \text{kN}$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 364.612 \quad \text{X}$$



Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 118.50 \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos flettores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$$M_{u,Sd} : 0.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : 0.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$$

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Superior TS9

Perfil: UD 300x150x8

Material: Aço (AISI-SAE 1020)

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N915    | N902  | 1.614              | 46.09                      | 6501.39                                             | 1028.10                                             | 9.83                                                | -33.98                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.614     | 1.614    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                 |                                          |                               |                                |                               |              |                               |                                |                     |                                 |                                          | Estado                             |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                           | $N_c$                                    | $M_x$                         | $M_y$                          | $V_x$                         | $V_y$        | $M_x V_y$                     | $M_y V_x$                      | $N_c M_x$<br>$M_y$  | $N_t M_x M_y$                   | $M_t$                                    |                                    |
| N915/N902 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 300$<br>$\lambda_{yy} \leq 300$<br>Passa | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 152.9$ | $N_{c,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 2.7$ | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 45.2$ | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 1.8$ | $\eta = 0.1$ | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 0.1$ | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 20.5$ | N.P. <sup>(2)</sup> | x: 1.614<br>m<br>$\eta = 200.8$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 200.8$ |



| Barra                                                                                                                                        | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       | Estado |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------------------|---------------|-------|--------|
|                                                                                                                                              | b/t                                | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_x$ | $M_y$ | $V_x$ | $V_y$ | $M_x V_y$ | $M_y V_x$ | $\frac{N_c M_x}{M_y}$ | $N_t M_x M_y$ | $M_t$ |        |
| Notação:                                                                                                                                     |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>b/t</i> : Valores máximos da relação comprimento-espessura                                                                                |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>λ</i> : Limitação de esbeltez                                                                                                             |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>N<sub>t</sub></i> : Resistência à tração                                                                                                  |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>N<sub>c</sub></i> : Resistência à compressão                                                                                              |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>M<sub>x</sub></i> : Resistência à flexão eixo X                                                                                           |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexão eixo Y                                                                                           |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>V<sub>x</sub></i> : Resistência ao esforço cortante X                                                                                     |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>V<sub>y</sub></i> : Resistência ao esforço cortante Y                                                                                     |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>M<sub>x</sub>V<sub>y</sub></i> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados                                          |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>M<sub>y</sub>V<sub>x</sub></i> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados                                          |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexo-compressão                                                              |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub></i> : Resistência à flexo-tração                                                                  |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>M<sub>t</sub></i> : Resistência à torção                                                                                                  |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>x</i> : Distância à origem da barra                                                                                                       |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>η</i> : Coeficiente de aproveitamento (%)                                                                                                 |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| <i>N.P.</i> : Não procede                                                                                                                    |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):                                                                                    |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.                                                         |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| (2) Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |
| (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                        |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |               |       |        |

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 274.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 8.00 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.

$\lambda_{xx}$  : 13.6 ✓

$\lambda_{yy}$  : 34.2 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

**$K_x L_x$**  : 1.614 m

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

**$K_y L_y$**  : 1.614 m

**$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

**$r_x$**  : 11.88 cm

**$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$r_y$**  : 4.72 cm





**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.529} \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N902, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{1326.18} \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{867.28} \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{46.09} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**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:

$$\eta : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{1.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{74.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 394.83 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.452 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 94.30 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$



**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 4.44 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : 2.22 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 123.75 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 17.12$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 137.00 \text{ mm}$$

 **$f_V$ :** Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 **$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 **$K_V$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$





O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 0.25 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 34.25$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : 274.00 \text{ mm}$$

$f_V$ : Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

$K_V$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.13 \text{ kN}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$



**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.205 \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 4.44 \text{ kN}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

**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 desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N902, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.008 \quad \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 1326.18 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 1.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 867.28 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Inferior TS9

**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**





**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N278    | N279  | 1.667              | 37.12                      | 5297.81                                             | 836.84                                              | 5.07                                                | -34.63                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.667     | 1.667    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                          |                |                               |                            |                           |              |                               |                           |                             |                     |                                          | Estado                             |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                                    | $N_c$          | $M_x$                         | $M_y$                      | $V_x$                     | $V_y$        | $M_x V_y$                     | $M_y V_x$                 | $N_c M_x M_y$               | $N_t M_x M_y$       | $M_t$                                    |                                    |
| N278/N279 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 200$<br>$\lambda_{yy} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | $\eta = 117.7$ | x: 1.667<br>m<br>$\eta = 5.2$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 12.9$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 0.4$ | $\eta = 1.0$ | x: 1.667<br>m<br>$\eta = 0.3$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.7$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 131.4$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 131.4$ |

**Notação:**

$b/t$ : Valores máximos da relação comprimento-espessura

$\lambda$ : Limitação de esbeltez

$N_t$ : Resistência à tração

$N_c$ : Resistência à compressão

$M_x$ : Resistência à flexão eixo X

$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y

$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X

$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y

$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

$N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão

$N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração

$M_t$ : Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

**Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):**

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.





(b/t) : 43 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 277.20 mm

t: A espessura.

t : 6.40 mm

**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. $\lambda_{xx}$  : 14.0 ✓ $\lambda_{yy}$  : 35.1 ✓

Onde:

 $K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x L_x$  : 1.667 m $K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y L_y$  : 1.667 m $r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. $r_x$  : 11.95 cm $r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. $r_y$  : 4.75 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)

Deve satisfazer:

 $\eta$  : 1.177 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{c,Ed}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Ed}$  : 612.46 kNA força normal de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$A_{ef} : 31.84 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{vv} : 0.95$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

$$\lambda_{0,vv} : 0.36$$

$$\lambda_{0,xz} : 0.14$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 37.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 5944.30 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 5944.30 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 37631.77 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 37631.77 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$



$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$I_x$ : 5297.81 cm<sup>4</sup>

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$I_y$ : 836.84 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$I_t$ : 5.07 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$C_w$ : 123666.07 cm<sup>6</sup>

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$ : 200000 MPa

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$G$ : 76923 MPa

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$ : 1.667 m

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$ : 1.667 m

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$K_z L_z$ : 0.000 m

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$r_0$ : 15.88 cm

Sendo:

$r_x, r_y$ : Ralos de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$r_x$ : 11.95 cm

$r_y$ : 4.75 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.

$x_0$ : -93.14 mm

$y_0$ : 0.00 mm

### Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.052 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{sd}$ : 2.86 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$M_{Rd}$ : 55.31 kN·m

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$M_{Rd}$ : 55.31 kN·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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

#### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.129 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.004 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N278, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$V_{Sd} : 0.74 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : 0.37 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

**$f_V$** : Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_V$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 1.97 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 75.07$$

para



$$h/t : 43.31$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.20 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

#### Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

Onde:

 $M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 2.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

 $V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{sd} : 1.97 \text{ kN}$$

 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

#### Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:





$\eta : 0.017$  ✓

Onde:

 $M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $M_{sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $V_{sd} : 0.71 \text{ kN}$  $V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$ **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $\eta : 1.314$  ✗

Onde:

 $N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo. $M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $N_{c,sd} : 612.46 \text{ kN}$  $M_{x,sd} : 0.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{y,sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$  $M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$  $M_{y,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 

Diagonal TS9

**Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

**Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas |                                        |                                        |                                        |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm²)             | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm4) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm4) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N279    | N928  | 2.348              | 29.88                     | 289.08                                 | 9833.96                                | 6.37                                   | 0.00                                  | -21.26                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.348     | 2.348    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                            |                                                 |                       |                       |                      |                      |                               |                               |                                                 |                                                 |                                                 | Estado                        |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
|           | b/t                                | λ                                                           | N <sub>t</sub>             | N <sub>c</sub>                                  | M <sub>u</sub>        | M <sub>v</sub>        | V <sub>u</sub>       | V <sub>v</sub>       | M <sub>u</sub> V <sub>u</sub> | M <sub>v</sub> V <sub>u</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>u</sub><br>M <sub>v</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>u</sub><br>M <sub>v</sub> | M <sub>t</sub>                                  |                               |
| N279/N928 | (b/t) ≤ 200<br>Passa               | λ <sub>uu,c</sub> ≤ 300<br>λ <sub>vv,c</sub> ≤ 300<br>Passa | x: 2.348<br>m<br>η = 124.5 | N <sub>c,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0<br>m<br>η = 28.0 | x: 0<br>m<br>η = 62.8 | x: 0<br>m<br>η = 2.6 | x: 0<br>m<br>η = 2.6 | x: 0<br>m<br>η = 7.9          | x: 0<br>m<br>η = 39.5         | N.P. <sup>(2)</sup>                             | x: 0 m<br>η = 206.5                             | M <sub>t,Sd</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η = 206.5 |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
 λ: Limitação de esbeltez  
 N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
 N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
 M<sub>u</sub>: Resistência à flexão eixo U  
 M<sub>v</sub>: Resistência à flexão eixo V  
 V<sub>u</sub>: Resistência ao esforço cortante U  
 V<sub>v</sub>: Resistência ao esforço cortante V  
 M<sub>u</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados  
 M<sub>v</sub>V<sub>u</sub>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados  
 N<sub>c</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-compressão  
 N<sub>t</sub>M<sub>u</sub>M<sub>v</sub>: Resistência à flexo-tração  
 M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
 x: Distância à origem da barra  
 η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

<sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

<sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

<sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.





**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

**(b/t) : 11** ✓

Sendo:

**b:** Comprimento do elemento.**b : 84.00 mm****t:** A espessura.**t : 8.00 mm****Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 300. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 300.

 $\lambda_{uu,c} : 75.5$  ✓ $\lambda_{vv,c} : 25.2$  ✓ $\lambda_{uu,s} : 19.7$  ✓ $\lambda_{vv,s} : 41.5$  ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

 $K_u L_{u,c} : 2.348 \text{ m}$ 

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

 $K_v L_{v,c} : 4.566 \text{ m}$ 

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

 $r_{u,c} : 3.11 \text{ cm}$ 

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

 $r_{v,c} : 18.14 \text{ cm}$ 

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

 $K_u L_{u,s} : 0.783 \text{ m}$ 

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

 $K_v L_{v,s} : 0.783 \text{ m}$ 

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

 $r_{u,s} : 3.97 \text{ cm}$ 

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

 $r_{v,s} : 1.89 \text{ cm}$ **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566



Deve satisfazer:

$$\eta : 1.245 \quad \text{X}$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N928, para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 349.86 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 281.11 \text{ kN}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 14.94 \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**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 U** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.280 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$M_{Sd} : 1.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**



$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 33.35 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_v L_v^{pos}$  e  $K_v L_v^{neg}$  são nulos.

### Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.628 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$f_v$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 14.90 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

### Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.026 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{sd} : 2.79 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para  $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para  $h/t : 10.50$

para  $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para  $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para  $h/t : 10.50$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

**Resistência ao esforço cortante V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 2.79 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 8.00 mm  
**h**: 84.00 mm  
**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa  
**E**: 200000 MPa  
**γ**: 1.1  
**K<sub>v</sub>**: 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

**V<sub>Rd</sub>**: 107.30 kN

para  $1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 36.77

para  $h/t$ : 10.50

para  $1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$ : 47.67

Onde:

**t**: Espessura da alma.  
**h**: Largura da alma.  
**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.  
**E**: Módulo de elasticidade.  
**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.  
**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 8.00 mm  
**h**: 84.00 mm  
**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa  
**E**: 200000 MPa  
**γ**: 1.1  
**K<sub>v</sub>**: 1.20

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V 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 N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

**η**: 0.079 ✓



Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd}$  : 1.76 kN·m

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd}$  : 6.28 kN·m

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd}$  : 2.79 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 107.30 kN

#### **Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.395 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd}$  : 1.76 kN·m

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd}$  : 2.80 kN·m

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd}$  : 2.79 kN

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$V_{Rd}$  : 107.30 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 N279, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.065 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd}$  : 325.52 kN

$M_{u,Sd}$ ,  $M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V.

$M_{u,Sd}$  : 1.76 kN·m





V, respectivamente.

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{u,Rd}$ ,  $M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{v,Sd}$ : 1.76 kN·m

$N_{Rd}$ : 281.11 kN

$M_{u,Rd}$ : 6.28 kN·m

$M_{v,Rd}$ : 2.80 kN·m

Banzo Superior TS13

Perfil: UD 300x150x6.4

Material: Aço (AISI-SAE 1020)

| Nós                                                                                                                                                                                                  |           | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial                                                                                                                                                                                              | Final     |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N283                                                                                                                                                                                                 | N928      | 2.016              | 37.12                      | 5297.81                                             | 836.84                                              | 5.07                                                | -34.63                                | 0.00                                  |
| Notas:<br><sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado<br><sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme<br><sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade                             |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Flambagem |                    | Flambagem lateral          |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | Plano ZX  | Plano ZY           | Aba sup.                   | Aba inf.                                            |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
| β                                                                                                                                                                                                    | 1.00      | 1.00               | 0.00                       | 0.00                                                |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
| L <sub>k</sub>                                                                                                                                                                                       | 2.016     | 2.016              | 0.000                      | 0.000                                               |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
| C <sub>m</sub>                                                                                                                                                                                       | -         | -                  | 1.000                      | 1.000                                               |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
| C <sub>b</sub>                                                                                                                                                                                       | -         |                    | 1.000                      |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
| Notação:<br>β: Coeficiente de flambagem<br>L <sub>k</sub> : Comprimento de flambagem (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico |           |                    |                            |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                             |                                |                                          |                            |                            |                               |              |                           |                            |                     |                             |                                          | Estado                             |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|           | b/t                                | $\lambda$                                                   | $N_t$                          | $N_c$                                    | $M_x$                      | $M_y$                      | $V_x$                         | $V_y$        | $M_x V_y$                 | $M_y V_x$                  | $N_c M_x$<br>$M_y$  | $N_t M_x M_y$<br>$v$        | $M_t$                                    |                                    |
| N283/N928 | $(b_w/t) \leq 200$<br>Passa        | $\lambda_{xx} \leq 300$<br>$\lambda_{yy} \leq 300$<br>Passa | x: 2.016<br>m<br>$\eta = 74.5$ | $N_{c,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0<br>m<br>$\eta = 10.3$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 53.7$ | x: 2.016<br>m<br>$\eta = 3.6$ | $\eta = 1.8$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.1$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 28.9$ | N.P. <sup>(2)</sup> | x: 0<br>m<br>$\eta = 136.2$ | $M_{t,Sd} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 136.2$ |

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

$\lambda$ : Limitação de esbeltez

$N_t$ : Resistência à tração

$N_c$ : Resistência à compressão

$M_x$ : Resistência à flexão eixo X

$M_y$ : Resistência à flexão eixo Y

$V_x$ : Resistência ao esforço cortante X

$V_y$ : Resistência ao esforço cortante Y

$M_x V_y$ : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

$M_y V_x$ : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

$N_c M_x M_y$ : Resistência à flexo-compressão

$N_t M_x M_y$ : Resistência à flexo-tração

$M_t$ : Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

$\eta$ : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

| Barra                                                                                                                                        | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |                       |       | Estado |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------|--------|
|                                                                                                                                              | b/t                                | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_x$ | $M_y$ | $V_x$ | $V_y$ | $M_x V_y$ | $M_y V_x$ | $\frac{N_c M_x}{M_v}$ | $\frac{N_t M_x M}{v}$ | $M_t$ |        |
| Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):                                                                                    |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |                       |       |        |
| (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.                                                         |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |                       |       |        |
| (2) Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |                       |       |        |
| (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.                                                                        |                                    |           |       |       |       |       |       |       |           |           |                       |                       |       |        |

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 277.20 mm

**t** : 6.40 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.

$\lambda_{xx}$  : 16.9 ✓

$\lambda_{yy}$  : 42.4 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

**$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

**$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$K_x L_x$**  : 2.016 m

**$K_y L_y$**  : 2.016 m

**$r_x$**  : 11.95 cm

**$r_y$**  : 4.75 cm

### Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.745 ✓





O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N928, para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$  : 520.32 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$  : 698.53 kN

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$  : 37.12 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.1

#### **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:

$\eta$  : 0.103 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N283, para a combinação de hipóteses  $PP + PPT + 1.4 \cdot V90$ .

$M_{Sd}$  : 5.72 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$M_{Rd}$  : 55.31 kN·m

#### **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$M_{Rd}$  : 55.31 kN·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.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

#### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.537 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.036 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N928, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 7.28 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t:** Espessura da alma.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

**h:** Largura da alma.

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

**$f_v$ :** Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

**E:** Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_v$ :** Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

#### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 3.65 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.31$$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.**t** : 6.40 mm**h**: Largura da alma.**h** : 277.20 mm**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.**f<sub>v</sub>** : 207.00 MPa**E**: Módulo de elasticidade.**E** : 200000 MPa**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.**γ** : 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>** : 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 N283, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.**M<sub>Sd</sub>** : 5.72 kN·m**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.**M<sub>0,Rd</sub>** : 55.31 kN·m**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.**V<sub>Sd</sub>** : 3.65 kN**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.**V<sub>Rd</sub>** : 200.31 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 N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:





$$\eta : 0.289 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 6.57 \text{ kN}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

#### 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 desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N283, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.362 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 513.40 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 4.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 698.53 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Inferior TS13

**Perfil: UD 300x150x6.4**  
**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**



**Perfil: UD 300x150x6.4****Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N279    | N280  | 1.667              | 37.12                      | 5297.81                                             | 836.84                                              | 5.07                                                | -34.63                                | 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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 1.667     | 1.667    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| Barra     | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                         |                |                |                        |                        |                   |                |                               |                               |                                              |                                              |                                              | Estado                        |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
|           | b/t                                | λ                                                       | N <sub>t</sub> | N <sub>c</sub> | M <sub>x</sub>         | M <sub>y</sub>         | V <sub>x</sub>    | V <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> | M <sub>t</sub>                               |                               |
| N279/N280 | (b <sub>w</sub> /t) ≤ 200<br>Passa | λ <sub>xx</sub> ≤ 200<br>λ <sub>yy</sub> ≤ 200<br>Passa | η = 0.1        | η = 8.4        | x: 1.667 m<br>η = 15.7 | x: 1.667 m<br>η = 96.8 | x: 0 m<br>η = 6.8 | η = 3.1        | x: 1.667 m<br>η = 2.6         | x: 1.667 m<br>η = 94.2        | x: 1.667 m<br>η = 110.3                      | x: 1.667 m<br>η = 79.4                       | M <sub>t,sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>η = 110.3 |

Notação:  
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura  
λ: Limitação de esbeltez  
N<sub>t</sub>: Resistência à tração  
N<sub>c</sub>: Resistência à compressão  
M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X  
M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y  
V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X  
V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y  
M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados  
M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados  
N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão  
N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração  
M<sub>t</sub>: Resistência à torção  
x: Distância à origem da barra  
η: Coeficiente de aproveitamento (%)  
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):  
<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓





Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b** : 277.20 mm  
**t** : 6.40 mm

#### Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 14.0 ✓  
 $\lambda_{yy}$  : 35.1 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.  
 **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.  
 **$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.  
 **$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$K_x L_x$**  : 1.667 m  
 **$K_y L_y$**  : 1.667 m  
 **$r_x$**  : 11.95 cm  
 **$r_y$**  : 4.75 cm

#### Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.001 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

**$N_{t,Sd}$**  : 0.36 kN

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:

**$N_{t,Rd}$**  : 698.53 kN

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.  
 **$f_y$** : Tensão de escoamento.

**A** : 37.12 cm<sup>2</sup>  
 **$f_y$**  : 207.00 MPa





$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.1

### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$\eta$ : 0.084 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{c,Ed}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Ed}$ : 43.74 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$ : 520.24 kN

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$ : 31.84 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy}$ : 0.95

$\chi_{xz}$ : 0.99

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$ : 0.36

$\lambda_{0,xz}$ : 0.14

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$ : 37.12 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$ : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$ : 1.2

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$N_e$ : 5944.30 kN



a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 5944.30 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 37631.77 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 37631.77 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 5297.81 \text{ cm}^4$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : 836.84 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 5.07 \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 123666.07 \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 1.667 \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 1.667 \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 15.88 \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

$$x_0 : -93.14 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.157 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

#### Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.968 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 13.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





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.

$$W_{ef} : 75.58 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

### Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.068 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$ .

$$V_{Sd} : 13.62 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : 6.81 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$h$ : Largura da alma.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$E$ : Módulo de elasticidade.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$



**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.031} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$V_{sd} : \underline{6.18} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{200.31} \text{ kN}$$

para  $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{75.07}$

para  $h/t : \underline{43.31}$

para  $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{97.31}$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.40} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{277.20} \text{ mm}$$

 $f_v$ : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

 $\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

 $K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

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:



$$\eta : 0.026 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 6.18 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.942 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 13.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 13.02 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$\eta : 1.103 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos

$$N_{c,Sd} : 43.74 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 12.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$





eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{v,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N280, para a combinação PP+PPT+1.4.V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 0.794 \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{t,Sd} : 0.36 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 3.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 10.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 698.53 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Diagonal TS13

**Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)**

**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

| Nós     |       | Comprimento<br>(m) | Características mecânicas  |                                                     |                                                     |                                                     |                                       |                                       |
|---------|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Inicial | Final |                    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup><br>(cm <sup>4</sup> ) | x <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) | y <sub>a</sub> <sup>(3)</sup><br>(mm) |
| N279    | N283  | 2.678              | 29.88                      | 289.08                                              | 9833.96                                             | 6.37                                                | 0.00                                  | -21.26                                |

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              | 1.00      | 1.00     | 0.00              | 0.00     |
| L <sub>K</sub> | 2.678     | 2.678    | 0.000             | 0.000    |
| 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

| VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |     |           |       |       |       |       |       |       |           |           |               |               |       | Estado |
|------------------------------------|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|-------|--------|
| Barra                              | b/t | $\lambda$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_u$ | $M_v$ | $V_u$ | $V_v$ | $M_u V_v$ | $M_v V_u$ | $N_c M_u M_v$ | $N_t M_u M_v$ | $M_t$ |        |

| Barra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) |                                                                 |                                          |                                 |                            |                            |                               |                               |                           |                           |                          |                     |                                          | Estado                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | b/t                                | $\lambda$                                                       | $N_t$                                    | $N_c$                           | $M_u$                      | $M_v$                      | $V_u$                         | $V_v$                         | $M_u V_v$                 | $M_v V_u$                 | $N_c M_u M_v$            | $N_t M_u M_v$       | $M_t$                                    |                                    |
| N279/N283                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $(b/t) \leq 200$<br>Passa          | $\lambda_{uu,c} \leq 200$<br>$\lambda_{vv,c} \leq 200$<br>Passa | $N_{t,SD} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.678<br>m<br>$\eta = 225.6$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 13.1$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 29.3$ | x: 2.678<br>m<br>$\eta = 1.7$ | x: 2.678<br>m<br>$\eta = 1.7$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 1.7$ | x: 0<br>m<br>$\eta = 8.6$ | x: 0 m<br>$\eta = 263.3$ | N.P. <sup>(2)</sup> | $M_{t,SD} = 0.00$<br>N.P. <sup>(3)</sup> | <b>NÃO PASSA</b><br>$\eta = 263.3$ |
| <p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p><math>\lambda</math>: Limitação de esbeltez</p> <p><math>N_t</math>: Resistência à tração</p> <p><math>N_c</math>: Resistência à compressão</p> <p><math>M_u</math>: Resistência à flexão eixo U</p> <p><math>M_v</math>: Resistência à flexão eixo V</p> <p><math>V_u</math>: Resistência ao esforço cortante U</p> <p><math>V_v</math>: Resistência ao esforço cortante V</p> <p><math>M_u V_v</math>: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados</p> <p><math>M_v V_u</math>: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados</p> <p><math>N_c M_u M_v</math>: Resistência à flexo-compressão</p> <p><math>N_t M_u M_v</math>: Resistência à flexo-tração</p> <p><math>M_t</math>: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p><math>\eta</math>: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.</p> <p><sup>(2)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(3)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p> |                                    |                                                                 |                                          |                                 |                            |                            |                               |                               |                           |                           |                          |                     |                                          |                                    |

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

#### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 11 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 84.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 8.00 mm

#### Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$  : 86.1 ✓





$$\lambda_{vv,c} : 49.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{uu,s} : 22.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{vv,s} : 47.3 \quad \checkmark$$

Onde:

$K_u L_{u,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,c} : 2.678 \text{ m}$$

$K_v L_{v,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,c} : 8.988 \text{ m}$$

$r_{u,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,c} : 3.11 \text{ cm}$$

$r_{v,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : 18.14 \text{ cm}$$

$K_u L_{u,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : 0.893 \text{ m}$$

$K_v L_{v,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : 0.893 \text{ m}$$

$r_{u,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : 3.97 \text{ cm}$$

$r_{v,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : 1.89 \text{ cm}$$

#### 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)

Deve satisfazer:

$$\eta : 2.256 \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N283, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 419.97 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 186.12 \text{ kN}$$





Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef}$  : 14.94 cm<sup>2</sup>

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi$  : 0.72

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_0$ , ft : 0.88

Sendo:

$N_e$ : Esforço axial crítico elástico de flambagem mínimo.

$N_e$  : 397.79 kN

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$A$  : 14.94 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$f_y$  : 207.00 MPa

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma$  : 1.2

A tensão crítica elástica de flambagem  $\sigma_{cr}$  é o valor da menor das raízes da seguinte equação cúbica:

$\sigma_{cr}$  : 266.29 MPa

Onde:

$\sigma_{cr,x}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo X.

$\sigma_{cr,x}$  : 266.29 MPa

$\sigma_{cr,y}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo Y.

$\sigma_{cr,y}$  : 832.12 MPa

$\sigma_{cr,T}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por torção da seção composta.

$\sigma_{cr,T}$  :  $\infty$

$I_x$ : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo X.

$I_x$  : 289.08 cm<sup>4</sup>

$I_y$ : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo Y.

$I_y$  : 9833.96 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Módulo de torção uniforme da seção composta.

$I_t$  : 6.37 cm<sup>4</sup>

$C_w$ : Constante de empenamento da seção composta.

$C_w$  : 0.00 cm<sup>6</sup>

$E$ : Módulo de elasticidade.

$E$  : 200000 MPa

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$G$  : 76923 MPa

$\lambda_x$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo X, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$\lambda_x$  : 86.10

$\lambda_y$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo Y, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$\lambda_y$  : 48.70

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção da seção composta.

$K_z L_z$  : 0.000 m

$r_0$ : Raio de giração polar da seção composta, em relação ao centro de torção.

$r_0$  : 18.42 cm

Sendo:



$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção composta, em relação aos eixos principais de inércia X e Y.

$$r_x : 3.11 \text{ cm}$$

$$r_y : 18.14 \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, relativas ao centro de gravidade da seção composta.

$$x_0 : 0.00 \text{ cm}$$

$$y_0 : -0.78 \text{ cm}$$

### Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.131 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 33.35 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

### Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.293 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : 14.90 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

#### **Resistência ao esforço cortante U** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{sd} : 1.80 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd1}$  supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para





$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.

**E**: Módulo de elasticidade.

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.

**E**: Módulo de elasticidade.

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

### **Resistência ao esforço cortante V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N283, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$ .

$$V_{sd} : 1.80 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$  é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

**$f_V$** : Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**$K_V$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante  $V_{Rd}$ , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$



Onde:

**t**: Espessura da alma.

**h**: Largura da alma.

**f<sub>v</sub>**: Tensão de escoamento.

**E**: Módulo de elasticidade.

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

**t**: 8.00 mm

**h**: 84.00 mm

**f<sub>v</sub>**: 207.00 MPa

**E**: 200000 MPa

**γ**: 1.1

**K<sub>v</sub>**: 1.20

**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V 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 N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

**M<sub>Sd</sub>**: 0.82 kN·m

**M<sub>0,Rd</sub>**: 6.28 kN·m

**V<sub>Sd</sub>**: 0.90 kN

**V<sub>Rd</sub>**: 107.30 kN

**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U 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 N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

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:

$$\eta : 0.086 \checkmark$$





Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.  
 $M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.  
 $V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.  
 $V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{Sd}$ : 0.82 kN·m  
 $M_{0,Rd}$ : 2.80 kN·m  
 $V_{Sd}$ : 0.90 kN  
 $V_{Rd}$ : 107.30 kN

**Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta$ : 2.633 X

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.  
 $M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$ : Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.  
 $N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.  
 $M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$ : 411.51 kN  
 $M_{u,Sd}$ : 0.82 kN·m  
 $M_{v,Sd}$ : 0.82 kN·m  
 $N_{c,Rd}$ : 186.12 kN  
 $M_{u,Rd}$ : 6.28 kN·m  
 $M_{v,Rd}$ : 2.80 kN·m

## Anexo III – Resultado dos Ensaaios



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

EM BRANCO



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ001/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS13 – peças identificadas como:  
UDC 300 X 150 X 6,35 ( BZ inf)  
UDC 300 X 150 X 6,35 ( BZ sup)  
2 L 100 x 8,00 (diag)- numero 3 no desenho  
2 L 100 x 6,35 (diag)- numero 4 no desenho

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.

**3. OBJETIVO**

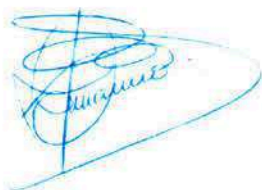
Verificação dimensional e geometrica das peças  
Documento de referencia Prancha F-007 B

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na prancha prancha F-007 B, portanto atendem.

No entanto foi detectado uma não conformidade no eixo 8 com o eixo D1- a diagonal teve sua seção reduzida, com o corte das abas das cantoneiras ( fotos 23 e 24 do laudo).

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



EM BRANCO

**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ002/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS14 – peças identificadas como:  
UDC 300 X 150 X 6,35 ( BZ inf)  
UDC 300 X 150 X 6,35 ( BZ sup)  
2 L 100 x 8,00 (diag)- numero 3 no desenho  
2 L 100 x 6,35 (diag)- numero 4 no desenho

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.

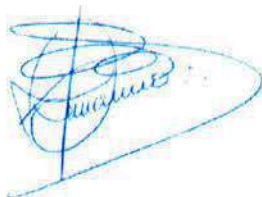
**3. OBJETIVO**

Verificação dimensional e geometrica das peças  
Documento de referencia Prancha F-007 B

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na prancha prancha F-007 B, portanto atendem.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452





**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ003/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS3A – peças identificadas como:  
UDC 300 X 100 X 4,75 ( BZ inf)  
UDC 300 X 100 X 4,75 ( BZ sup)  
2 L 100 x 3,75 (diag)- numero 1 no desenho

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.

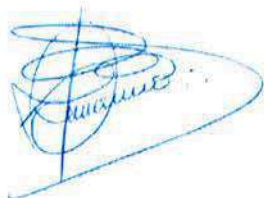
**3. OBJETIVO**

Verificação dimensional e geometrica das peças  
Documento de referencia Prancha F-002 C

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na prancha prancha F-002 C, portanto atendem.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ004/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO:** Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Junção das tesouras TS10/ TS14 (eixo 7 com eixo C')  
Banzo inferior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Ensaio visual direto a olho nu. Realizado a uma distancia máxima de 600 mm e um ângulo não menor que 30° em relação a superfície a ser ensaiada.

**3. OBJETIVO**

Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies  
Documento de referencia Prancha F-007 B e F-005 C

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não está de acordo , pois os parafusos apresentam avançado estado de corrosão com delaminação pronunciada, desalinhamento na montagem dos banzos, corrosão avançada nos perfis (fotos 17 e 18) e tala de junção fabricada menor do que indicado em projeto. Portanto não atendem.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ005/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Junção das tesouras TS11A/ TS7A (eixo 13 com eixo D1)  
Banzo inferior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Ensaio visual remoto. Realizado com o auxílio de câmera fotográfica EOS Canon.

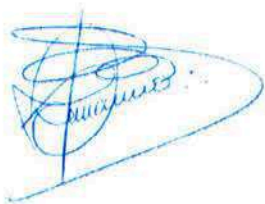
**3. OBJETIVO**

Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies  
Documento de referencia Prancha F-006 C e F-004 C

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não está de acordo , pois os parafusos necessitam de reaperto (fotos 20 e 21). Portanto não atendem.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452





**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ006/2019- REV 0**  
**Ensaio Visual**

**INTERESSADO:** Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Junção das tesouras TS9/ TS5 (eixo 18 com eixo D1)  
Banzo superior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 315 – Ensaios Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.  
Ensaio visual remoto. Realizado com o auxílio de câmera fotográfica EOS Canon.

**3. OBJETIVO**

Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies  
Documento de referencia Prancha F-003 C e F-005 C

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não apresenta qualquer  
descontinuidade evidente. Portanto atende.

Araraquara, 18 de março de 2019

Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ007/2019- REV 0**  
**Liquido Penetrante**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Liquido Penetrante**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS9 (eixo 5 com eixo C')  
Banzo Inferior com placa de apoio (topo pilarete com roletes) e junção dos banzos.

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Liquido Penetrante - Terminologia  
NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Liquido Penetrante – Detecção de descontinuidades  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Liquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019  
Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019  
Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do liquido penetrante com spray, limpeza para retirar o liquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uam inspeção da peça.

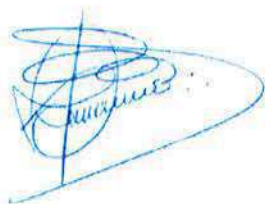
**3. OBJETIVO**

Detectar descontinuidades superficiais na solda

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Nas duas soldas ensaiadas não constatamos qualquer descontinuidade evidente. Portanto atende.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ008/2019- REV 0**  
**Líquido Penetrante**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Líquido Penetrante**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Junção dos banzos TS9 (eixo 8)  
Banzo Inferior (foto 12)

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Líquido Penetrante - Terminologia  
NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Líquido Penetrante – Detecção de descontinuidades  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Líquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019  
Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019  
Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do líquido penetrante com spray, limpeza para retirar o líquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uma inspeção da peça.

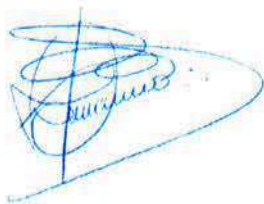
**3. OBJETIVO**

Detectar descontinuidades superficiais na solda

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

Na solda ensaiada não foi constatado qualquer descontinuidade evidente. Portanto atende.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452





**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ009/2019- REV 0**  
**Liquido Penetrante**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Liquido Penetrante**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

VT2 (entre os eixos 8 e 9)  
Banzo Inferior (foto 13)

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Liquido Penetrante - Terminologia  
NBR NM 327 – Ensaios Não destrutivos – Liquido Penetrante – Detecção de descontinuidades  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Liquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019  
Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019  
Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do liquido penetrante com spray, limpeza para retirar o liquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uam inspeção da peça.

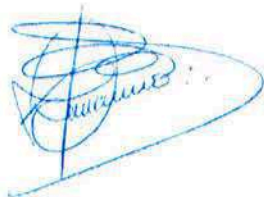
**3. OBJETIVO**

Detectar descontinuidades superficiais na solda

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

A solda ensaiada apresenta descontinuidade, bem como o perfil que apresenta corrosão avançada e muita porosidade.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ010/2019- REV 1**  
**Ultrassom**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio ultrassom**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS9 (eixo 19 com eixo C')  
Banzo Inferior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Dados do equipamento:  
Instrutherm ME-215  
Bloco de referencia e calibração acoplado  
Escala: 1,5 a 200 mm  
Precisão:  $\pm 0,5\% + 0,2$   
Resolução: 0,1mm

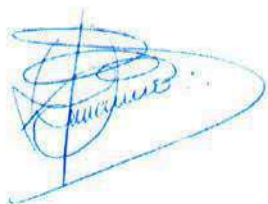
**3. OBJETIVO**

Detectar espessuras reais dos perfis metálicos

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ011/2019- REV 1**  
**Ultrassom**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio ultrassom**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS12 (eixo 12)  
Banzo superior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Dados do equipamento:  
Instrutherm ME-215  
Bloco de referencia e calibração acoplado  
Escala: 1,5 a 200 mm  
Precisão: +- 0,5%+0,2  
Resolução: 0,1mm

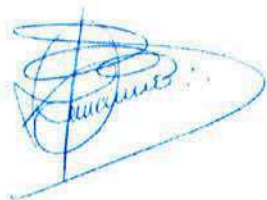
**3. OBJETIVO**

Detectar espessuras reais dos perfis metálicos

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452





**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ012/2019- REV 1**  
**Ultrassom**

**INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio Ultrassom**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS1 (eixo 16)  
Banzo superior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Dados do equipamento:  
Instrutherm ME-215  
Bloco de referencia e calibração acoplado  
Escala: 1,5 a 200 mm  
Precisão: +- 0,5%+0,2  
Resolução: 0,1mm

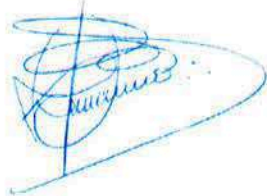
**3. OBJETIVO**

Detectar espessuras reais dos perfis metálicos

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ013/2019- REV 1**  
**Ensaio espessura película seca**

**INTERESSADO:** Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio medição de espessura película seca**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS3A (eixo 13)  
Banzo superior

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR 10443 – Determinação da espessura da película seca.  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Dados do equipamento:  
Minipa MCT-300  
Película de espessura padrão  
Base metálica de calibração  
Escala: 0 a 1000  $\mu\text{m}$   
Precisão:  $\pm 0,4$  mils

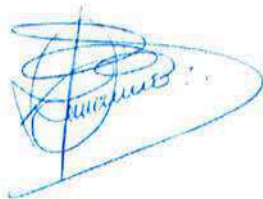
**3. OBJETIVO**

Detectar espessuras de camadas aplicadas sobre bases ferrosas, espessura de película seca.

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

O perfil ensaiado apresentou a medida de 179  $\mu\text{m}$  esta em conformidade. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019



Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452



**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ014/2019- REV 1**  
**Ensaio espessura película seca**

**INTERESSADO:** Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.  
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro  
CEP89.221-005 – Joinville – SC

**Ref.: Ensaio medição de espessura película seca**

**1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

Tesoura TS10 (eixo 7)  
diagonais

**2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

NBR 10443 – Determinação da espessura da película seca.  
Ensaio à temperatura ambiente.  
Dados do equipamento:  
Minipa MCT-300  
Película de espessura padrão  
Base metálica de calibração  
Escala: 0 a 1000 µm  
Precisão: +- 0,4 mils

**3. OBJETIVO**

Detectar espessuras de camadas aplicadas sobre bases ferrosas, espessura de película seca.

**4. RESULTADOS OBTIDOS**

O perfil ensaiado apresentou a medida de 198 µm esta em conformidade. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019

Marcos Donisete Zavaglio  
Eng Civil / Mec  
crea-sp 5060488452







## Anexo IV – Check List



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

EM BRANCO



|         | apoio |    | banzo superior |      |      | banzo inferior |       |       | montantes |    |    |    |    |    |    | diagonais |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | juntas parafusadas |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |     |     |
|---------|-------|----|----------------|------|------|----------------|-------|-------|-----------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| tesoura | A1    | A2 | bzs 1          | bzs2 | bzs3 | bzi 1          | bzi 2 | bzi 3 | M1        | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | D1        | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 | D10 | D11 | D12 | D13 | D14 | D15 | D16 | D17 | D18 | D19 | D20 | D21 | D22 | D23 | D24 | D25 | D26 | D27 | D28 | D29                | D30 | D31 | D32 | D33 | D34 | J1 | J2 | J3 | J4  | J5  | J6  |     |     |
| eixo 5  | S1    | M  | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | M  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | M   | M   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | A12 |     |     |     |
| eixo 6  | SB    | B  | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | M                  | M   | B   | B   | B   | B   | B  | N  | B  | N   | B   | A12 |     |     |
| eixo 7  | S1    | B1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | M                  | M   | B   | B   | B   | B   | N  | B  | N  | B   | A12 |     |     |     |
| eixo 8  | S1    | M1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | N   | B  | N  | B  | A12 |     |     |     |     |
| eixo 9  | B1    | B1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | N  | B  | N  | B   | A12 |     |     |     |
| eixo 11 | N1    | N1 | B              | B    | B    | B              | B     | M2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B12 |     |     |     |
| eixo 12 | N1    | N1 | B              | B    | B    | B              | B     | M2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | N   | N  | N  | N  | B12 |     |     |     |     |
| eixo 13 | N1    | B1 | B              | B    | B    | B              | B     | M2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B12 |
| eixo 15 | B12   | B  | B              | B    | B    | B              | B     | B2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B   | B12 |     |     |
| eixo 16 | S1    | N1 | N              | N    | N    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B12 |     |
| eixo 17 | S1    | B1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B12 |
| eixo 18 | B1    | B1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | A12 |
| eixo 19 | M1    | M1 | B              | B    | B    | B              | B     | A2    | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B         | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B  | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B                  | B   | B   | B   | B   | B   | B  | M  | M  | M   | M   | A12 |     |     |

legenda levantamento

S - Anomalia detectada

N - Anomalia não detectada

A - Corrosão avançada/ perda de seção/puntiforme (pite)

M - Corrosão média (alveolar)

B - Corrosão uniforme

redução na seção da cantoneira

parafusos frouxos

delaminação das porcas

considerações:

desgaste acentuado em toda a pintura

perda de aderência

todas as soldas analisadas desta peça estão em conformidade

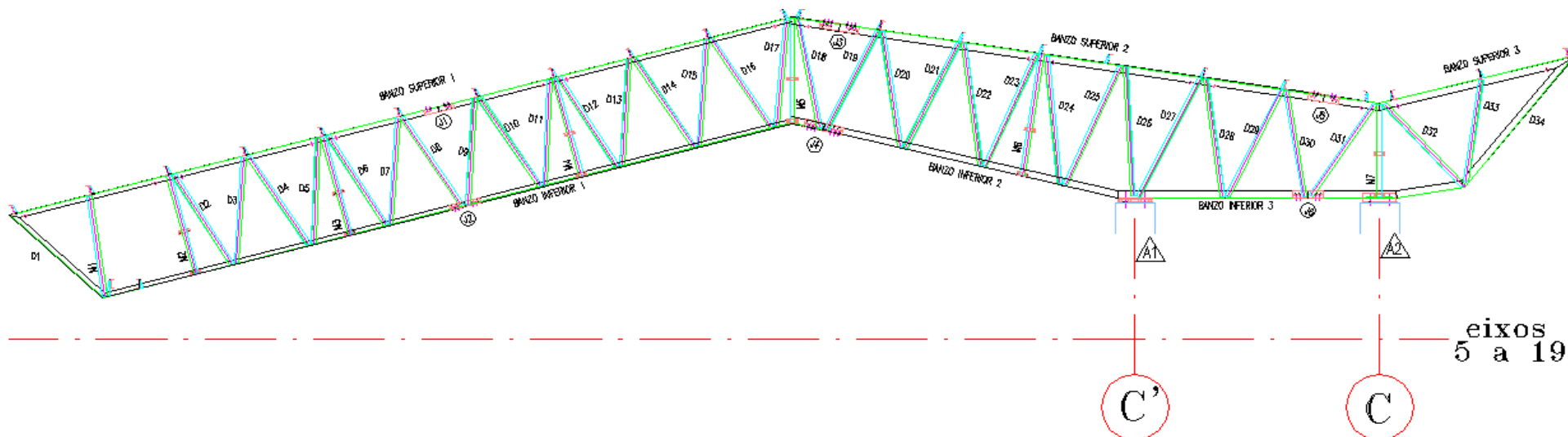
fonte para critérios de corrosão

<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>

observação

1 - acúmulo de sujidades diversas

2 - Desalinhamento banzo



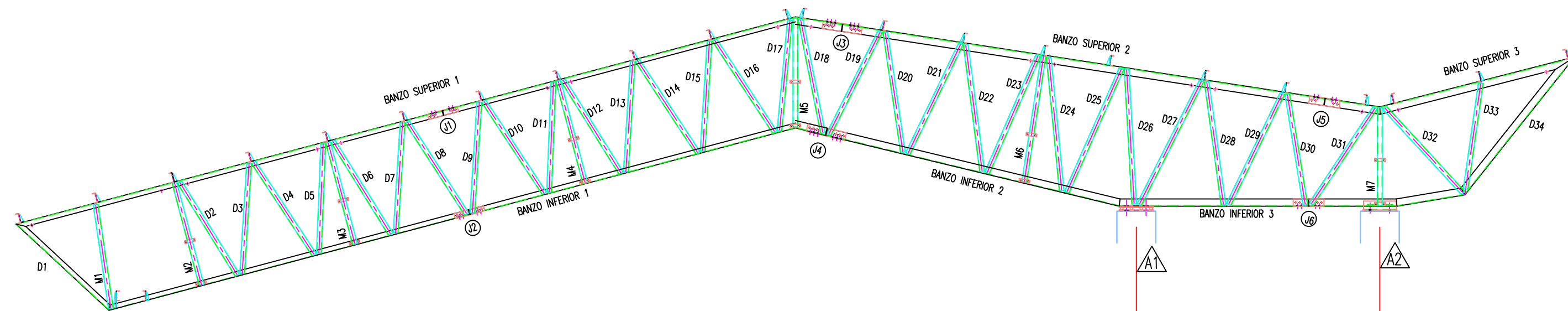
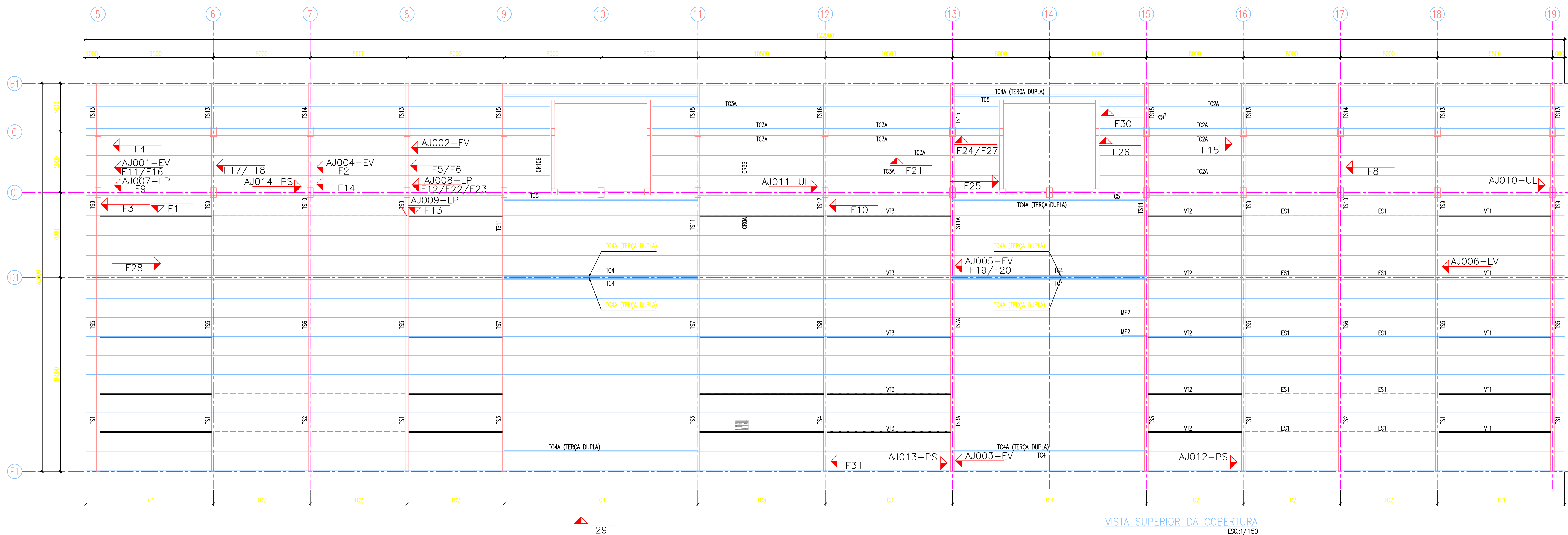
## Anexo V – Mapa de situação das fotos e ensaios dos laudo



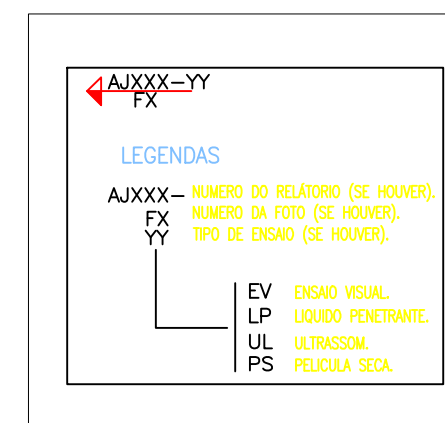
Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

EM BRANCO





TESOURA CHECK-LIST  
ESC.:1/SEM ESC



|                                                                                                                                                                      |                                                           |                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REV4                                                                                                                                                                 |                                                           |                                                                                                                         |
| REV3                                                                                                                                                                 |                                                           |                                                                                                                         |
| REV2                                                                                                                                                                 |                                                           |                                                                                                                         |
| REV1                                                                                                                                                                 | LEGENDA                                                   | 12/ABR/2019                                                                                                             |
| Revisão                                                                                                                                                              | Descrição                                                 | Data                                                                                                                    |
| <div>Secretaria de Esportes</div> <div><div>Prefeitura de Joinville</div></div> |                                                           |                                                                                                                         |
| Nome da Obra / Endereço:<br>CONTRATO 437/2018                                                                                                                        |                                                           | END. UNIDADE DE PATRIMÔNIO E EVENTOS<br>Rua Inácio Bastos, 1084 – Joinville, SC – CEP: 89.202-310 – Tel. (47) 3433-1160 |
| Requerente:<br>MUNICÍPIO DE JOINVILLE                                                                                                                                | Conteúdo:<br><br>MAPA ENSAIOS<br>MAPA FOTOS<br>CHECK-LIST | Código:<br>METALICA<br>Número:<br><br>M-001                                                                             |
| Proprietário:<br>PROP. MUNICÍPIO DE JOINVILLE                                                                                                                        |                                                           |                                                                                                                         |
| Autores:<br><br>MARCOS DONISETE ZAVAGLIO<br>CREASP5060488452                                                                                                         |                                                           |                                                                                                                         |
| Revisado por:<br>REV. MARCOS                                                                                                                                         | Operador CAD:<br>O.CAD                                    | Arq.CAD:<br>MAPAFOTOS.DWG                                                                                               |
| Escala:<br>ESC.INDICADA                                                                                                                                              |                                                           | Código:<br>METALICA<br>Número:<br><br>M-001                                                                             |
| Data:<br>16/ABR/2019                                                                                                                                                 |                                                           |                                                                                                                         |

## Anexo VI – ART



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

EM BRANCO





1. Responsável Técnico

**MARCOS DONISETE ZAVAGLIO**

Título Profissional: Engenheiro Civil  
Engenheiro Mecânico

RNP: 2602076007  
Registro: 160924-1-SC

Empresa Contratada: CARVALHO E ZAVAGLIO ENGENHARIA E ARQ. LTDA ME

Registro: 160948-1-SC

2. Dados do Contrato

Contratante: Prefeitura de Joinville  
Endereço: AVENIDA HERMANN AUGUST LEPPER  
Complemento:  
Cidade: JOINVILLE  
Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ 69.991,00

Ação Institucional:

Bairro: SAGUACU  
UF: SC

CPF/CNPJ: 83.169.623/0001-10  
Nº: 10  
CEP: 89221-005

3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Prefeitura de Joinville  
Endereço: RUA INACIO BASTOS  
Complemento: Arena Joinville  
Cidade: JOINVILLE  
Data de Início: 15/01/2019

Data de Término: 08/02/2019

Bairro: BUCAREIN  
UF: SC  
Coordenadas Geográficas:

CPF/CNPJ: 83.169.623/0001-10  
Nº: 1084  
CEP: 89202-310

4. Atividade Técnica

Laudo

Vistoria

**Estrutura Metálica**

Dimensão do Trabalho:

3.904,00

Metro(s) Quadrado(s)

5. Observações

serviço para elaboração de laudo técnico da cobertura da arena Joinville, com área 3.904,00 m² e dimensões de 122x22m, numero do empenho sei 16/2019, licitação 237/2018, contrato 437/2018

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro, sob as penas da Lei, que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART não se exige a observância das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

7. Entidade de Classe

ABENC - 16

8. Informações

A ART é válida somente após o pagamento da taxa.  
Situação do pagamento da taxa da ART:

TAXA DA ART PAGA EM 21/01/2019 NO VALOR DE R\$ 226,50

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site [www.crea-sc.org.br/art](http://www.crea-sc.org.br/art).

A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF,

9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

JOINVILLE - SC, 15 de Janeiro de 2019

MARCOS DONISETE ZAVAGLIO

108.941.388-20

Contratante: Prefeitura de Joinville

83.169.623/0001-10

EM BRANCO

## Anexo VII– Certificado de Calibração



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839  
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566



EM BRANCO

## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 0706A19

**Cliente:** Marcos Donisete Zavaglio  
Avenida Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jardim dos Flamboyant  
14805-293 Araraquara - SP

**Descrição do Instrumento:** Medidor de Espessura de Camada  
**Modelo:** MCT-300  
**Fabricante:** Minipa do Brasil Ltda.  
**Número de Série:** MCT300000603  
**Identificação:** Não Consta  
**Número de O.S.:** 120419-08

**Data da Calibração:** 12/04/2019

### Procedimento de Calibração:

A calibração foi realizada através do método de comparação direta com o(s) padrão(ões) de referência da MINIPA. O instrumento foi calibrado conforme Instrução de Trabalho - ITL 018 (rev. 00).

### Nível de Confiança para o qual as incertezas foram estimadas:

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k$ , o qual para uma distribuição  $t$  corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

### Padrão(ões) utilizado(s) na calibração:

| Descrição             | Identificação | Rastreabilidade | n° do certificado | Validade  |
|-----------------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------|
| Conjunto Filme Padrão | 937288        | RBC/MITUTOYO    | 03392/17          | 25-mai-19 |

### Rastreabilidade do(s) padrão(ões) utilizado(s):

O(s) padrão(ões) utilizado(s) na calibração é(são) calibrado(s) por instrumentos rastreados a padrões primários com Certificado de Calibração do INMETRO.

### Condições Ambientais:

Temperatura:  $(23 \pm ?)$  °C Umidade Relativa: Inferior a 75 %

### Observações:

Os resultados deste certificado referem-se apenas ao item calibrado, não sendo extensivo a quaisquer lotes. A reprodução deste certificado deverá ser realizada apenas na sua totalidade.

### Legenda da nomenclatura utilizada no certificado:

V.R. (Valor Verdadeiro Convencional) = Indicação do padrão.

Valor indicado = Média das leituras obtidas no instrumento sob calibração.

Erro = Valor Indicado - V.R.

$v_{eff}$  = Graus de liberdade efetivos

**Data da Emissão:** 12/04/2019

  
Matheus Y. Makishi  
Técnico Executante

  
William F. N. Malcato  
Signatário Autorizado



Página 1 de 2

## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 0706A19

## RESULTADOS

## Base Ferrosa

| Faixa ( $\mu\text{m}$ ) | V.R. ( $\mu\text{m}$ ) | Valor Indicado ( $\mu\text{m}$ ) | k    | Incerteza ( $\mu\text{m}$ ) | Erro ( $\mu\text{m}$ ) | Veff |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------|------|-----------------------------|------------------------|------|
| 1000                    | 24                     | 15                               | 2,00 | 2                           | -9                     | 99   |
|                         | 49                     | 38                               | 2,00 | 2                           | -11                    | 99   |
|                         | 73                     | 54                               | 2,00 | 2                           | -19                    | 99   |
|                         | 98                     | 74                               | 2,00 | 2                           | -24                    | 99   |
|                         | 147                    | 122                              | 2,00 | 2                           | -25                    | 99   |
|                         | 250                    | 223                              | 2,00 | 3                           | -27                    | 99   |
|                         | 501                    | 494                              | 2,00 | 6                           | -7                     | 99   |
|                         | 648                    | 633                              | 2,00 | 8                           | -15                    | 99   |



*Certificado de Calibração***2º VIA****Nº 98231/19**

Folha 01/01

Cliente: MARCOS DONISETE ZAVAGLIO

Endereço: AV. TRINDADE MADRID ROMERA CUCCI, 387 Bairro: JARDIM DOS FLAMBOYANTS Cep: 14805-293 ARARAQUARA - SP

Item Calibrado: MEDIDOR DE ESPESSURA

Nº Código de barra / Nº Série: 12120300930467 / N506493

Marca: INSTRUTHERM

Modelo: ME-215

O.S. Nº: 192875

Data de Calibração: 12/4/2019

**Condições Ambientais Aplicáveis à Calibração**

Temperatura durante a calibração: 23±3°C

Umidade relativa durante a calibração: 45 a 65% (U.R)

**Metodologia de Calibração**

Procedimento de Calibração: PCI - 026 - Rev. 04 - Foi realizada a calibração através do processo de comparação com um padrão rastreado.

**Padrões Utilizados**

LCI 155 - BLOCO PADRÃO MITUTOYO --- Certificado de Calibração nº 7399-17C - RBC CAL 0175 Validade até 05/2019

LCI 54 - INSTRUTHERM HTR-157 - 120301169 - Certificado de Calibração nº CAL-168260/19 - RBC CAL 0056 Validade até 01/2020

**Resultados Obtidos****ESPESSURA**

| Valor Indicado<br>no Instrumento<br>Calibrado (mm) | Valor<br>Convencional<br>(mm) | Erro<br>(mm) | Incerteza<br>(± mm) | k    |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|------|
| 10,0                                               | 10,0                          | 0,0          | 0,1                 | 2,00 |
| 20,0                                               | 20,1                          | -0,1         | 0,1                 | 2,00 |
| 39,8                                               | 40,0                          | -0,2         | 0,1                 | 2,00 |
| 49,9                                               | 50,1                          | -0,2         | 0,1                 | 2,00 |
| 79,9                                               | 80,1                          | -0,2         | 0,1                 | 2,00 |
| 99,8                                               | 99,9                          | -0,1         | 0,1                 | 2,00 |

**Notas**

A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada e multiplicada pelos fatores de abrangência "k" informados nas tabelas, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente ao item calibrado e às condições supra mencionadas.

Os serviços de calibração são realizados e controlados pela INSTRUTHERM-Instrumentos de Medição Ltda. O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações. Não pode ser utilizado para fins promocionais.

Data de emissão do certificado: 17/4/2019

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRUTHERM

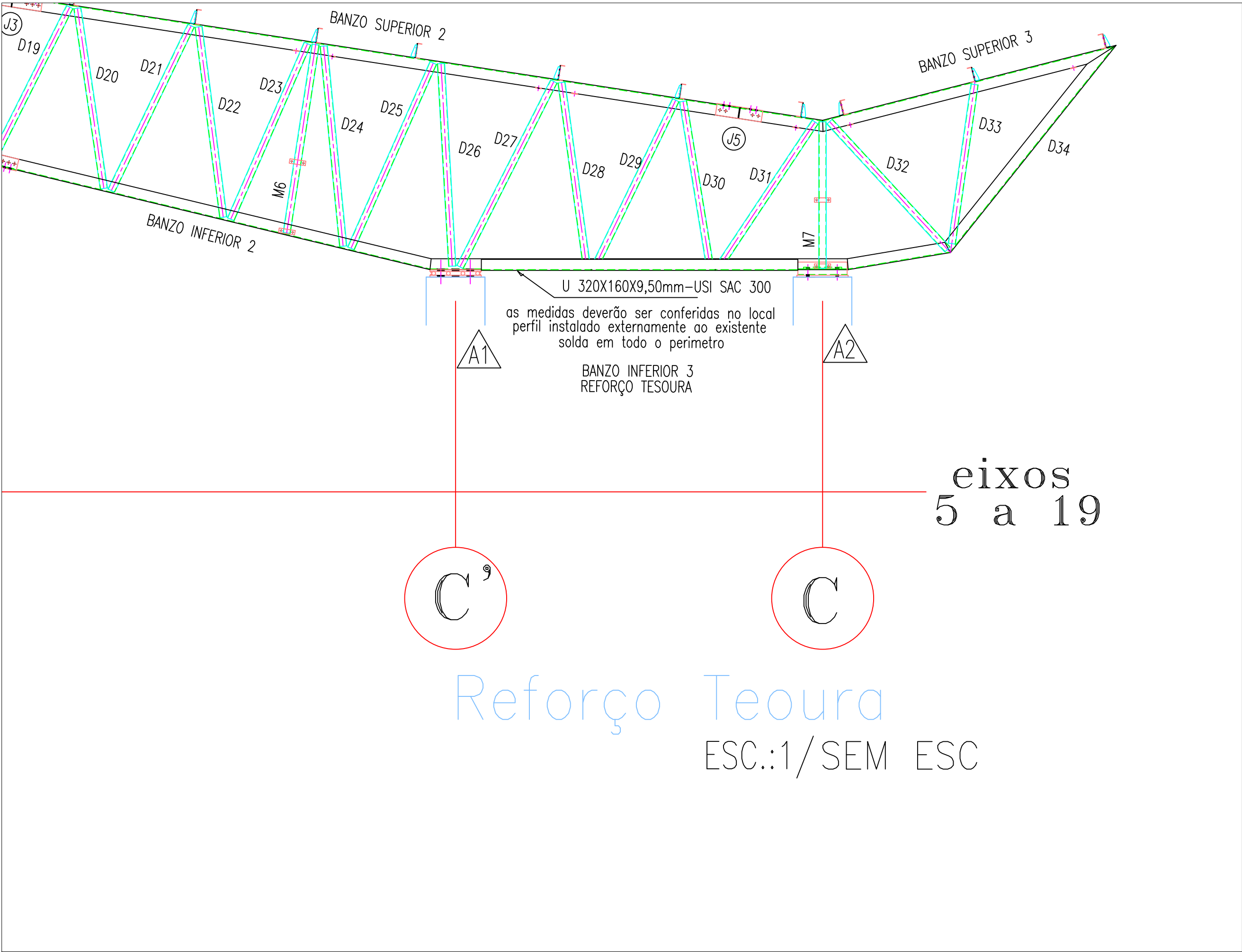
Cristiano José Mollica  
Gerente Técnico**INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA**

Rua Jorge de Freitas, 264 - Freguesia do Ó - São Paulo - SP - CEP: 02911-030

Inscrição no CNPJ nº: 53.775.862/0001-52 - Inscrição Estadual nº: 111.093.664.118 - Inscrição no CCM nº: 9.155.648-1

Tel: (11) 2144-2800 E-mail: instrutherm@instrutherm.com.br Site: www.instrutherm.com.br

EM BRANCO



Reforço Teoura  
ESC.:1/SEM ESC

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| REV4                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                        |
| REV3                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                        |
| REV2                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                        |
| REV1                                                                                                                                                                                                                                                                   | LEGENDA                                |
| Revisão                                                                                                                                                                                                                                                                | Descrição                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                        | Data                                   |
| <div>Secretaria de Esportes</div> <div>Prefeitura de Joinville</div> <div>Nome da Obra / Endereço:<br/>CONTRATO 437/2018</div> <div>END. UNIDADE DE PATRIMÔNIO E EVENTOS<br/>Rua Inácio Bastos, 1084 - Joinville, SC -<br/>CEP: 89.202-310 - Tel. (47) 3433-1160</div> |                                        |
| Requerente:<br>MUNICIPIO DE JOINVILLE                                                                                                                                                                                                                                  | Conteúdo:<br>REFORÇO<br>BANZO INFERIOR |
| Proprietário:<br>PROP MUNICIPIO DE JOINVILLE                                                                                                                                                                                                                           |                                        |
| Autores:<br>MARCOS DONISETE ZAVAGLIO<br>CREASP5060488452                                                                                                                                                                                                               |                                        |
| Revisado por:<br>REV. MARCOS                                                                                                                                                                                                                                           | Operador CAD:<br>O. CAD                |
| Escala:<br>ESC. INDICADA                                                                                                                                                                                                                                               | Código:<br>METALICA                    |
| Data:<br>16/ABR/2019                                                                                                                                                                                                                                                   | Número:<br>M-001                       |
| Arq. CAD:<br>MAPAFOTOS.DWG                                                                                                                                                                                                                                             |                                        |