REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DO ACRE
GERÊNCIA DE INSTALAÇÃO - GEINS

PROJETO DE ENGENHARIA DE REFORMA DO FÓRUM DESEMBARGADOR JOSÉ LOURENÇO FURTADO PORTUGAL

VOLUME 01
PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

DEZEMBRO / 2023

1. MEMORIAL DESCRITIVO

1.1 Apresentação

A empresa Vetor Engenharia Ltda, apresenta ao Tribunal de Justiça do Estado do Acre, especificadamente na Gerência de Instalação - GEINS, para fins de apreciação, o memorial descritivo do projeto de Estruturas Metálicas, relativas ao Projeto de Engenharia para a Reforma do Fórum Desembargador José Lourenço Furtado Portugal, no município de Plácido de Castro-AC.

Os volumes constituintes deste projeto foram assim definidos:

- Volume 01 - Projeto de Estrutura Metálica
- Volume 02 - Projeto de Instalações Elétricas
- Volume 03 - Projeto de Instalações de Cabeamento Estruturado/CFTV
- Volume 04 - Projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
- Volume 05 - Orçamento e Planejamento da Obra

Estes volumes, se conveniente, são divididos por Tomos. Cada Volume ou Tomo contém a metodologia que orienta a condução de cada etapa específica, discriminando os resultados obtidos, os quais são completados com tabelas, gráficos e desenhos referentes aos seus conteúdos.

Este é o Volume 01, que contém o memorial descritivo dos elementos que o compõem discriminando as soluções adotadas, os elementos que compõem os sistemas, a memória de cálculo, com conceito e síntese, onde justificamos as escolhas indicadas, as normas utilizadas e os materiais empregados.

E ainda juntado, as especificações técnicas que norteará a fiscalização nos procedimentos a serem tomados à execução, controle, medição e pagamentos dos serviços, além do detalhamento gráfico.

1.2 Introdução

As estruturas da cobertura para a construção da Reforma do Fórum Desembargador José Lourenço Furtado Portugal serão todas metálicas com tesouras treliçadas, terças com perfis metálicos e telhas metálicas termoacústicas.

Optou-se por estrutura metálica, principalmente pela elevada durabilidade, pois o aço é sempre de origem conhecida e com baixo índice de degradação pois, além da durabilidade já notória do material, ele não está, como a madeira, suscetível a deterioração por umidade e ao ataque de cupins.

Em contrapartida, a madeira, por ser um material retirado de florestas, existe sempre a possibilidade de utilização de madeiras não certificadas e com origem de procedência duvidosa, comprometendo a qualidade do insumo, além do inquestionável dano ao meio ambiente.

Outros fatores decisivos, foram a agilidade de execução nas obras e redução de custos, principalmente na manutenção.

As estruturas metálicas garantem uma obra limpa e com grande aproveitamento de área, além das grandes facilidades e rapidez na execução do serviço.

As estruturas metálicas da cobertura serão fixadas na superestrutura de concreto armado, através de chapas de apoio devidamente ancoradas nas estruturas de concreto de lajes e vigas.

1.3 Sistemas Estruturais em Aço

1.3.1 Elementos estruturais

Os principais elementos estruturais metálicos são:

- Elementos lineares alongados, denominados hastes ou barras.

- Elementos bidimensionais, geralmente denominados elementos planos, constituídos por placas ou chapas.

a) Hastes

As hastes formam elementos alongados cujas dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento. Dependendo da solicitação predominante, as hastes podem ser classificadas em:

- Tirantes (tração axial)
- Colunas (compressão axial)
- Vigas (cargas transversais produzindo momentos fletores e esforços cortantes)
- Eixos (torção)

Quando as solicitações de tração ou compressão são aplicadas segundo o eixo da haste, isto é, segundo a linha formada pelos centros de gravidade das seções, as tensões internas de tração ou compressão se distribuem uniformemente na seção transversal.

Quando a haste está sujeita a cargas transversais, os esforços predominantes são momentos fletores e esforços cortantes, os quais dão origem, respectivamente, a tensões normais de flexão e tensões de cisalhamento.

Quando a haste é usada para transmitir momentos de torção, as solicitações são cisalhantes. Os eixos de torção são muito utilizados em máquina.

Nas aplicações práticas, os elementos lineares trabalham sob a ação de solicitações combinadas. Os esforços longitudinais de tração e compressão geralmente atuam com excentricidade em relação ao eixo da peça, dando origem a solicitações de flexo-tração e flexo-compressão, respectivamente. Nas hastes comprimidas, as deformações transversais da peça dão origem a solicitações adicionais de flexo-compressão; esse efeito, denominado de 2ª ordem porque altera a geometria inicial da haste, é muito importante nos elementos muito alongados, conduzindo à ruptura da pelo por flambagem.

Nas vigas, as solicitações de flexão e cisalhamento são muitas vezes combinadas com solicitações de torção.

b) Chapas

As chapas, também denominadas placas, são elementos de espessura pequena em relação à largura e ao comprimento. As chapas são utilizadas isoladamente ou como elementos constituintes de sistemas planos ou espaciais.

1.3.2 Sistemas de elementos lineares

Os sistemas de elementos lineares são formados pela combinação dos principais elementos lineares (tirantes, colunas, vigas), constituindo as estruturas portantes das construções civis. Eles podem ser classificados em lineares, planos e espaciais.

Os sistemas lineares são constituídos por elementos lineares isolados, tais como colunas, vigas contínuas, etc.

Nas vigas, os carregamentos produzem tensões internas normais de flexão e de cisalhamento. As resultantes das tensões internas de flexão constituem um binário interno que equilibra o momento fletor solicitante. Como o braço de alavanca interno é geralmente pequeno em relação ao vão da viga, resultam valores elevados dos esforços internos e das tensões de flexão.

Denominam-se vigas armadas às vigas reforçadas inferiormente com tirantes metálicos, constituídos por vergalhões redondos com extremidades rosqueadas ou por perfis esbeltos.

Os tirantes e pontaletes fornecem apoios elásticos intermediários para a viga, aumentando sua capacidade de carga.

Os sistemas planos de elementos lineares são formados por associação de elementos lineares contidos num plano.

As treliças são sistemas em que as hastes trabalham predominantemente a tração ou compressão simples. As treliças teóricas têm os nós rotulados, porém as treliças construídas na prática apresentam nós rígidos, de modo que a rotação desses nós produz momentos nas barras. Como, entretanto, as hastes individuais são geralmente esbeltas, as tensões de flexão resultam pequenas, recebendo a denominação de tensões secundárias. Os banzos das treliças que recebem cargas distribuídas têm também solicitação de flexão provocada por essas cargas.

Os pórticos, também denominados quadros, são sistemas formados por associação de hastes retilíneas ou curvilíneas, com ligações rígidas entre si, e apoios resistentes a deslocamentos horizontais. Os arcos são pórticos de eixo curvilíneo.

Tantos os pórticos como os arcos podem ter seus apoios rotulados ou engastados.

Estes sistemas ficam geralmente situados no plano vertical, com cargas atuantes no mesmo plano vertical. É evidente que os mesmos sistemas podem trabalhar num plano inclinado ou na horizontal, com cargas atuando no plano do sistema.

A grelha plana é formada por dois feixes de vigas, ortogonais ou oblíquos, trabalhando conjuntamente, com cargas atuando no plano normal às vigas. As grelhas são usadas em pisos de edifícios, superestruturas de pontes e etc.

A viga balcão é uma viga plana, curva ou poligonal, solicitada por cargas no plano normal ao da viga. As vigas balcão ficam sujeitas a solicitações de torção, associadas a flexão e cisalhamento.

Os sistemas lineares e planos podem ser associados espacialmente, formando estruturas de galpões, pontes e etc.

1.3.3 Sistemas de elementos bidirecionais

Os sistemas planos de elementos bidirecionais são constituídos por chapas dobradas ou reforçadas com enrijecedores soldados.

As chapas dobradas são geralmente utilizadas como cobertura ou tapamento lateral de galpões.

As chapas reforçadas com enrijecedores são muito utilizadas como lajes em pontes de grandes vãos, nas quais há interesse em reduzir o peso próprio da estrutura. Essas chapas reforçadas têm geralmente inércia maior em uma direção, na qual elas vencem um vão grandes. Por esse motivo elas são chamadas placas ortogonalmente anisotrópicas ou ortotroópicas.

Os sistemas planos de placas ortotrópicas são utilizados como componentes de vigas celulares de pontes de grandes vãos

As chapas metálicas são também utilizadas na construção de sistemas espaciais formados por associação de cascas e placas, formando vasos de pressão, reservatórios, silos e etc.

1.4 Ligações com Solda

Como o processo indicado no projeto é a solda discorreremos um pouco sobre o assunto.

A solda é um processo de juntar duas peças metálicas por união através de uma interface. Em geral a solda se faz com auxílio de calor, que produz fusão dos metais. O calor pode ser produzido por diversas fontes de energia como, por exemplo:

- Energia elétrica, solda por arco voltaico e solda por resistência elétrica com pressão;
- Energia química, solda por chama de acetileno e solda por reação química;
- Energia ótica, solda por raio laser e solda por raio de elétrons;
- Energia mecânica, solda por atrito e pressão e solda por energia vibratória (ultra-som) e pressão.

As soldas por energia mecânica e ótica constituem casos especiais, sem interesse na indústria de construção.

A solda por calor produzido por reação química é utilizada na emenda de vergalhões e outros casos especiais.

Na solda por chama de acetileno, a energia calorífica é produzida pela queima do acetileno em presença de oxigênio, daí o nome usual de solda oxiacetileno. O processo não é utilizado nas estruturas porque produz resultados inferiores aos do arco voltaico. A chama de acetileno tem, entretanto, largo emprego no corte do aço.

Com controle da chama e dispositivos de guia (régua, gabaritos, pantógrafos) pode-se efetuar o corte com tolerância de 1/16" em placas de até 6" de espessura. A chama de acetileno é ainda utilizada para aquecimento em geral de peças metálicas, aquecimento para contraflecha ou endireitamento de perfis.

Na solda por resistência elétrica com pressão, o calor é fornecido pela resistência à passagem da corrente elétrica. Na solda por arco voltaico, o calor de fusão é produzido por um arco voltaico entre a chapa (metal base) e o material a ser depositado (eletrodo). Este é, com larga margem, o tipo de solda mais utilizado.

Para a execução de solda por arco voltaico, são utilizadas máquinas de corrente contínua (geradores) ou de corrente alternada (alternadores). Em corrente contínua, um terminal (positivo) libera a alternativamente positivos e negativos liberando aproximadamente a mesma quantidade de energia calorífica.

Se o arco voltaico e o material metálico fundido estiverem em contato com a atmosfera, forma-se diversas impurezas na solda. Esses defeitos são evitados isolando-se o arco, o que pode conseguir de três modos:

- Revestimento no eletrodo: o revestimento é consumido juntamente com o eletrodo, se transformado parte em gases inertes, parte em escória, este é o tipo mais difundido de solda, podendo ser empregado em oficina ou no campo;
- Proteção de gás inerte: por exemplo mistura de CO_2, argônio, hélio. A mistura gasosa é suprida por um reservatório independente do circuito elétrico;
- Arco submerso em material granular fusível: o eletrodo é um fio metálico sem revestimento, porém o arco e o metal fundido ficam isolados pelo material granular. Este processo é largamente utilizado em trabalhos de oficina, podendo ser automatizado. A solda obtida é de grande regularidade.

Os eletrodos utilizados nas soldas por arco são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os eletrodos com revestimento são designados segundo ASTM por expressões do tipo E 70XY, onde:

E = eletrodo;
70 = resistência à ruptura da solda em ksi;
X = n.° que se refere à posição de soldagem satisfatória (1-qualquer posição; 2-somente posição horizontal);
Y = n.° que indica tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.

Os eletrodos geralmente utilizados têm resistência à ruptura 60 ksi (42 kgf/mm²) e 70 ksi (49 kgf/mm²).

Para aços de alto carbono e aços de baixa liga, recomenda-se um eletrodo com revestimento de carbonato de sódio, o qual é chamado de eletrodo básico ou de baixo hidrogênio. A solda feita com eletrodo de baixo hidrogênio se distingue das outras pelo aspecto granular do material depositado (outros eletrodos produzem solda com respingos). Em geral as propriedades mecânicas das soldas feitas com eletrodos de baixo hidrogênio são superiores as demais.

A soldabilidade dos aços reflete a maior ou menor facilidade de se obter uma solda resistente e sem trincas.

Dada a enorme importância assumida pela solda nos últimos decênios, as formulações químicas dos aços visam sempre a obter produtos soldáveis.

As soldas podem apresentar grande variedade de defeitos. Dentre eles podemos citar:

- Fusão incompleta, penetração inadequada: decorrem em geral de insuficiência de corrente;
- Porosidade: retenção de pequenas bolhas de gás durante o resfriamento. Em geral causada por excesso de corrente ou distância excessiva entre o eletrodo e a chapa;
- Inclusão de escória: usual em soldas feitas em várias camadas, quando não se remove totalmente a escória em cada passe.

Em face a grande sensibilidade a defeitos, a solda deve ser feita sempre em condições controladas. Inicialmente, devem ser observadas as recomendações dos fabricantes de eletrodos.

2. MEMÓRIA DE CÁLCULO

2.1 Cálculo da Estrutura Metálica

O projeto das estruturas metálicas foi calculado e dimensionado com a utilização do software Metálicas 3D fornecido pela empresa Multiplus Softwares Técnicos, de propriedade da Vetor Engenharia com código de licença n° 85817.

O cálculo é feito de acordo com as normas brasileiras: NBR 14762:2010, NBR 8800:2008, NBR 8681:2003 Versão corrigida 2004, NBR 6118:2014, para o cálculo da estrutura, NBR 6123:1988 Versão corrigida 2:2013 para a análise do vento através do gerador de galpões e a NBR 7190:1997 para o dimensionamento de estruturas de madeiras.

Também possui outras normas, tais como: Americanas, Eurocode, Argentina e outras.

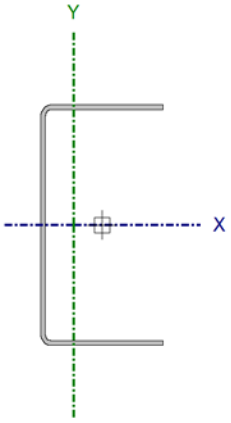
Através do cálculo automático dos coeficientes de flambagem o software determina automaticamente, em função dos nós da estrutura, os valores mais apropriados, inclusive para estruturas complexas, permitindo ao engenheiro adotar o coeficiente que achar mais adequado.

Após o cálculo da estrutura, uma mensagem lista todas as barras que não satisfazem alguma verificação da norma escolhida e indica qual perfil seria o correto para aquela situação. Então, após a análise do projetista, com o recurso de redimensionamento o software altera automaticamente todas as barras que não estão "passando", dimensionando assim uma estrutura com o menor peso possível.

A seguir, será apresentado a memória de cálculo dos itens que compõem o projeto de estruturas metálicas.

Barra N151/N4

Perfil: U127X50X3
Material: Aço (A-36)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	x_g(3) (mm)	y_g(3) (mm)
N151	N4	0.603	7.41	189.44	31.44	0.22	-14.67	0.00

Notas:
(1) Inércia em relação ao eixo indicado
(2) Momento de inércia à torção uniforme
(3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	0.50	0.50	0.00	0.00
L_K	0.301	0.301	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
β: 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	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xV_y	M_yV_x	$N_cM_xM_y$	$N_tM_xM_y$	M_t	
N151/N4	x: 0.151 m (b_w/t) ≤ 90 Passa	λ_{xx} ≤ 200.0 λ_{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 0.5	η = 0.1	x: 0 m η = 10.1	x: 0 m η = 66.2	x: 0.603 m η = 4.9	η = 2.0	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 44.1	x: 0 m η = 21.8	x: 0 m η = 76.7	$M_{t,Sd}$ = 0.00 N.A.(1)	**PASSA η = 76.7**

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xV_y	M_yV_x	$N_cM_xM_y$	$N_tM_xM_y$	M_t	

Notação:
- *b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura*
- *λ: 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_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados*
- *M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados*
- *$N_cM_xM_y$: Resistência à flexo-compressão*
- *$N_tM_xM_y$: Resistência à flexo-tração*
- *M_t: Resistência à torção*
- *x: Distância à origem da barra*
- *η: Coeficiente de aproveitamento (%)*
- *N.A.: Não aplicável*

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):
(1) 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 0.151 m do nó N151.

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) ≤ 90 **(b / t)** : ***38*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento. **b** : *115.00* mm

t: A espessura. **t** : *3.00* mm

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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ = KL/r < 200

λ_{xx} : ***6.0*** ✓

λ_{yy} : ***14.6*** ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. K_xL_x : *0.301* m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. K_yL_y : *0.301* m

r_x: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. r_x : *5.06* cm

r_y: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. r_y : *2.06* cm

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

Deve satisfazer:

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

η : ***0.005*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$N_{t,Sd}$: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. **$N_{t,Sd}$** : *0.080* t

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

$N_{t,Rd} = A\, f_y / \gamma$ **$N_{t,Rd}$** : *17.170* t

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *7.41* cm²
f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *2548.42* kgf/cm²
γ: Coeficiente de ponderação das resistências. **γ** : *1.1*

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

Deve satisfazer:

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

η : ***0.001*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP1+CP2+1.4·V1.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,Sd}$** : *0.016* t

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

$N_{c,Rd} = \chi\, A_{ef} f_y / \gamma$ **$N_{c,Rd}$** : *13.300* t

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra. **A_{ef}** : *6.33* cm²

χ: Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1{,}5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$ **χ_{yy}** : *0.99* **χ_{xz}** : *1.00*

Sendo:

λ_0: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. **$\lambda_{0,\,yy}$** : *0.16* **$\lambda_{0,\,xz}$** : *0.07*

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e}\right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra. — **A** : *7.41* cm²

f_y: Tensão de escoamento. — **f_y** : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — **γ** : *1.2*

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b): — **N_e** : *696.458* t

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

N_{ey} : *696.458* t

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}\left[1-\sqrt{1-\frac{4N_{ex}N_{ez}\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}{(N_{ex}+N_{ez})^2}}\right]$$

N_{exz} : *4197.199* t

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

N_{ex} : *4197.199* t

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2}\left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t\right]$$

N_{ez} : ∞

I_x: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. — **I_x** : *189.44* cm4

I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. — **I_y** : *31.44* cm4

I_t: Momento de inércia à torção uniforme. — **I_t** : *0.22* cm4

C_w: Constante de empenamento da seção. — **C_w** : *822.10* cm6

E: Módulo de elasticidade. — **E** : *2038736* kgf/cm²

G: Módulo de elasticidade transversal. — **G** : *784129* kgf/cm²

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. — **K_xL_x** : *0.301* m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. — **K_yL_y** : *0.301* m

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção. — **K_zL_z** : *0.000* m

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2\right]^{0.5}$$

r_0 : *6.81* 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** : *5.06* cm; **r_y** : *2.06* 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** : *-40.78* mm; **y_0** : *0.00* mm

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.101** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo $\mathbf{M_{Sd}}$ é obtido para o nó N151, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$\mathbf{M_{Sd}}$: 0.058 t·m

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

$\mathbf{M_{Rd}}$: 0.576 t·m

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

$$\mathbf{M_{Rd}} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$\mathbf{M_{Rd}}$: 0.576 t·m

Onde:

$\mathbf{W_{ef}}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. — $\mathbf{W_{ef}}$: 24.87 cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento. — $\mathbf{f_y}$: 2548.42 kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.662** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo $\mathbf{M_{Sd}}$ é obtido para o nó N151, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$\mathbf{M_{Sd}}$: 0.101 t·m

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

$\mathbf{M_{Rd}}$: 0.153 t·m

$$\mathbf{M_{Rd}} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **σ** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. — W_{ef} : *6.60* cm³

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : *1.1*

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : ***0.049*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1. — V_{Sd} : *0.239* t

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} : *0.120* t

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por: — $^{(1)}V_{Rd}$: *2.460* t

para $^{(1)}h/t \leq 1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6 f_y h t/\gamma$ — **$1.08(EK_V/f_y)^{0.5}$** : *33.46*

para $^{(2)}1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} < h/t \leq 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2\left(k_v f_y E\right)^{0.5}/\gamma$ — **h / t** : *19.67*

para $^{(3)}h/t > 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = \left[0.905 Ek_v t^3/h\right]/\gamma$ — **$1.4(EK_V/f_y)^{0.5}$** : *43.38*

Onde:

t: Espessura da alma. — **t** : *3.00* mm

h: Largura da alma. — **h** : *59.00* mm

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : *2548.42* kgf/cm²

E: Módulo de elasticidade. — **E** : *2038736* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : *1.1*

K_V: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por: — K_V : *1.20*

$k_v = 1.20$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.020** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{V_{Sd}}$ produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$\mathbf{V_{Sd}}$: 0.096 t

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

$^{(1)}\mathbf{V_{Rd}}$: 4.796 t

para $^{(1)}h/t \leq 1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.6 f_y h t/\gamma$

$\mathbf{1.08(EK_V/f_y)^{0.5}}$: 68.31

para $^{(2)}1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} < h/t \leq 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.65t^2\left(k_v f_y E\right)^{0.5}/\gamma$

$\mathbf{h/t}$: 38.33

para $^{(3)}h/t > 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \left[0.905Ek_v t^3/h\right]/\gamma$

$\mathbf{1.4(EK_V/f_y)^{0.5}}$: 88.54

Onde:

t: Espessura da alma. — **t** : 3.00 mm

h: Largura da alma. — **h** : 115.00 mm

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento. — $\mathbf{f_y}$: 2548.42 kgf/cm²

E: Módulo de elasticidade. — **E** : 2038736 kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : 1.1

$\mathbf{K_V}$: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: — $\mathbf{K_V}$: 5.00

$\mathbf{k_v} = 5.00$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis $\mathbf{M_{Sd}}$ e $\mathbf{V_{Sd}}$ são obtidos no nó N151, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}}\right)^2$$

η : **0.011** ✓

Onde:

$\mathbf{M_{Sd}}$: Momento fletor solicitante de cálculo. — $\mathbf{M_{Sd}}$: 0.058 t·m

$\mathbf{M_{0,Rd}}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. — $\mathbf{M_{0,Rd}}$: 0.576 t·m

$\mathbf{V_{Sd}}$: Força cortante solicitante de cálculo. — $\mathbf{V_{Sd}}$: 0.096 t

$\mathbf{V_{Rd}}$: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. — $\mathbf{V_{Rd}}$: 4.796 t

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis $\mathbf{M_{Sd}}$ e $\mathbf{V_{Sd}}$ são obtidos no nó N151, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}}\right)^2$$

η : ***0.441*** ✓

Onde:

$\mathbf{M_{Sd}}$: Momento fletor solicitante de cálculo.	$\mathbf{M_{Sd}}$: *0.101*	t·m
$\mathbf{M_{0,Rd}}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$\mathbf{M_{0,Rd}}$: *0.153*	t·m
$\mathbf{V_{Sd}}$: Força cortante solicitante de cálculo.	$\mathbf{V_{Sd}}$: *0.235*	t
$\mathbf{V_{Rd}}$: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$\mathbf{V_{Rd}}$: *4.921*	t

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N151, para a combinação de hipóteses PP+CP1+CP2+1.4·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.218*** ✓

Onde:

$\mathbf{N_{c,Sd}}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$\mathbf{N_{c,Sd}}$: *0.016*	t
$\mathbf{M_{x,Sd}}$, $\mathbf{M_{y,Sd}}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$\mathbf{M_{x,Sd}}$: *0.037*	t·m
	$\mathbf{M_{y,Sd}}$: *0.023*	t·m
$\mathbf{N_{c,Rd}}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$\mathbf{N_{c,Rd}}$: *13.300*	t
$\mathbf{M_{x,Rd}}$, $\mathbf{M_{y,Rd}}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$\mathbf{M_{x,Rd}}$: *0.576*	t·m
	$\mathbf{M_{y,Rd}}$: *0.154*	t·m

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N151, para a combinação 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.767*** ✓

Onde:

$\mathbf{N_{t,Sd}}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.	$\mathbf{N_{t,Sd}}$: *0.080*	t
$\mathbf{M_{x,Sd}}$, $\mathbf{M_{y,Sd}}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$\mathbf{M_{x,Sd}}$: *0.058*	t·m
	$\mathbf{M_{y,Sd}}$: *0.101*	t·m
$\mathbf{N_{Rd}}$: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	$\mathbf{N_{Rd}}$: *17.170*	t
	$\mathbf{M_{x,Rd}}$: *0.576*	t·m

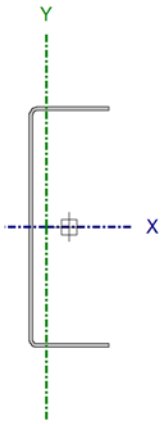
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{y,Rd}$: *0.153* t·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

Perfil: U120x40x2.25
Material: Aço (A-36)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	x_g(3) (mm)	y_g(3) (mm)
N153	N122	0.468	4.33	88.89	6.14	0.07	-11.02	0.00

Notas:
(1) Inércia em relação ao eixo indicado
(2) Momento de inércia à torção uniforme
(3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	0.50	0.50	0.00	0.00
L_K	0.234	0.234	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
β: 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	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xV_y	M_yV_x	$N_cM_xM_y$	$N_tM_xM_y$	M_t	
N153/N122	x: 0 m (b_w/t) ≤ 90 Passa	λ_{xx} ≤ 200.0 λ_{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 0.468 m η = 4.2	x: 0 m η = 19.2	x: 0.468 m η = 25.2	x: 0 m η = 39.0	η = 2.8	η = 3.4	x: 0.468 m η = 6.4	x: 0 m η = 15.3	x: 0.468 m η = 69.2	x: 0.468 m η = 26.2	$M_{t,Sd}$ = 0.00 N.A.(1)	**PASSA η = 69.2**

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: 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_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
$N_cM_xM_y$: Resistência à flexo-compressão
$N_tM_xM_y$: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.A.: Não aplicável

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):
(1) 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 N153.

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) ≤ 90

(b / t) : ***49*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento. **b** : *111.00* mm
t: A espessura. **t** : *2.25* mm

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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda = KL/r < 200$

λ_{xx} : ***5.2*** ✓
λ_{yy} : ***19.7*** ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. K_xL_x : *0.234* m
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. K_yL_y : *0.234* m
r_x: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. r_x : *4.53* cm
r_y: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. r_y : *1.19* cm

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

Deve satisfazer:

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

η : ***0.042*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N122, para a combinação de ações PP+CP1+CP2+1.4·V1.

$N_{t,Sd}$: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. $N_{t,Sd}$: *0.425* t

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

$$N_{t,Rd} = A\, f_y / \gamma$$

$N_{t,Rd}$: *10.036* t

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *4.33* cm²
f_y: Tensão de escoamento. f_y : *2548.42* kgf/cm²
γ: Coeficiente de ponderação das resistências. γ : *1.1*

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

Deve satisfazer:

η : ***0.192*** ✓

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N153, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,Sd}$** : *1.471* t

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$N_{c,Rd}$: *7.647* t

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra. **A_{ef}** : *3.68* cm²

χ: Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1{,}5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$ **χ_{yy}** : *0.98* **χ_{xz}** : *1.00*

Sendo:

λ_0: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. **$\lambda_{0,\,yy}$** : *0.22* **$\lambda_{0,\,xz}$** : *0.06*

$$\lambda_0 = \left[\frac{Af_y}{N_e}\right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *4.33* cm²

f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. **γ** : *1.2*

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b): **N_e** : *225.365* t

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

N_{ey} : *225.365* t

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}\left[1-\sqrt{1-\frac{4N_{ex}N_{ez}\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}{(N_{ex}+N_{ez})^2}}\right]$$

N_{exz} : *3263.926* t

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

N_{ex} : 3263.926 t

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2}\left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t\right]$$

N_{ez} : ∞

I_x: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.	I_x :	88.89	cm4
I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	I_y :	6.14	cm4
I_t: Momento de inércia à torção uniforme.	I_t :	0.07	cm4
C_w: Constante de empenamento da seção.	C_w :	148.14	cm6
E: Módulo de elasticidade.	E :	2038736	kgf/cm²
G: Módulo de elasticidade transversal.	G :	784129	kgf/cm²
K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	K_xL_x :	0.234	m
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	K_yL_y :	0.234	m
K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.	K_zL_z :	0.000	m

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2\right]^{0.5}$$

r_0 : 5.14 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 :	4.53	cm
	r_y :	1.19	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 :	-21.07	mm
	y_0 :	0.00	mm

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.252** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N122, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

M_{Sd} : 0.080 t·m

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

M_{Rd} : 0.317 t·m

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 0.317 t·m

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. — W_{ef} : *13.66* cm³

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : *1.1*

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : ***0.390*** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N153, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1. — M_{Sd} : *0.018* t·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como: — M_{Rd} : *0.045* t·m

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. — W_{ef} : *1.94* cm³

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : *1.1*

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : ***0.028*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1. — V_{Sd} : *0.062* t

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} : *0.031* t

A força cortante resistente de cálculo da alma $\mathbf{V_{Rd}}$ deve ser calculada por: $^{(1)}\mathbf{V_{Rd}}$: *1.110* t

para $^{(1)}h/t \le 1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.6f_y ht/\gamma$ — $\mathbf{1.08(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *33.46*

para $^{(2)}1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} < h/t \le 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.65t^2\left(k_v f_y E\right)^{0.5}/\gamma$ — $\mathbf{h/t}$: *15.78*

para $^{(3)}h/t > 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \left[0.905Ek_v t^3/h\right]/\gamma$ — $\mathbf{1.4(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *43.38*

Onde:

t: Espessura da alma.	**t** :	*2.25*	mm
h: Largura da alma.	**h** :	*35.50*	mm
$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento.	$\mathbf{f_y}$:	*2548.42*	kgf/cm²
E: Módulo de elasticidade.	**E** :	*2038736*	kgf/cm²
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.	γ :	*1.1*	
$\mathbf{K_V}$: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por: $\mathbf{k_v} = 1.20$	$\mathbf{K_V}$:	*1.20*	

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \le 1$$

η : ***0.034*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{V_{Sd}}$ produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1. $\mathbf{V_{Sd}}$: *0.119* t

A força cortante resistente de cálculo da alma $\mathbf{V_{Rd}}$ deve ser calculada por: $^{(1)}\mathbf{V_{Rd}}$: *3.472* t

para $^{(1)}h/t \le 1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.6f_y ht/\gamma$ — $\mathbf{1.08(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *68.31*

para $^{(2)}1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} < h/t \le 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.65t^2\left(k_v f_y E\right)^{0.5}/\gamma$ — $\mathbf{h/t}$: *49.33*

para $^{(3)}h/t > 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \left[0.905Ek_v t^3/h\right]/\gamma$ — $\mathbf{1.4(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *88.54*

Onde:

t: Espessura da alma.	**t** :	*2.25*	mm
h: Largura da alma.	**h** :	*111.00*	mm
$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento.	$\mathbf{f_y}$:	*2548.42*	kgf/cm²

E: Módulo de elasticidade. **E** : *2038736* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. γ : *1.1*

K_V: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: **K_V** : *5.00*

$k_v = 5.00$

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 N122, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}}\right)^2$$

η : ***0.064*** ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo. **M_{Sd}** : *0.080* t·m

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. **$M_{0,Rd}$** : *0.317* t·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo. **V_{Sd}** : *0.119* t

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. **V_{Rd}** : *3.472* t

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 N153, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}}\right)^2$$

η : ***0.153*** ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo. **M_{Sd}** : *0.018* t·m

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. **$M_{0,Rd}$** : *0.045* t·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo. **V_{Sd}** : *0.062* t

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. **V_{Rd}** : *2.221* t

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N122, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : **0.692** ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. — **$N_{c,Sd}$** : 1.469 t

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. — **$M_{x,Sd}$** : 0.080 t·m; **$M_{y,Sd}$** : 0.011 t·m

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. — **$N_{c,Rd}$** : 7.647 t

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. — **$M_{x,Rd}$** : 0.317 t·m; **$M_{y,Rd}$** : 0.046 t·m

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N122, para a combinação PP+CP1+CP2+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : **0.262** ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo. — **$N_{t,Sd}$** : 0.425 t

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. — **$M_{x,Sd}$** : 0.051 t·m; **$M_{y,Sd}$** : 0.003 t·m

N_{Rd}: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. — **N_{Rd}** : 10.036 t

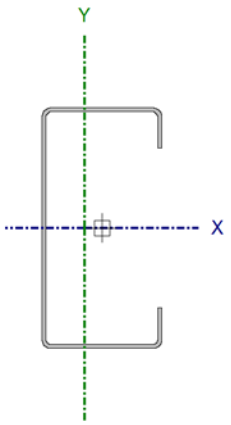
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. — **$M_{x,Rd}$** : 0.317 t·m; **$M_{y,Rd}$** : 0.045 t·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

Barra N5/N10

Perfil: C100X50X17X2.00
Material: Aço (A-36)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	x_g(3) (mm)	y_g(3) (mm)
N5	N10	4.515	4.41	70.09	15.75	0.06	-7.18	0.00

Notas:
(1) Inércia em relação ao eixo indicado
(2) Momento de inércia à torção uniforme
(3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	0.50	0.50	0.00	0.00
L_K	2.258	2.258	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
β: 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	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xV_y	M_yV_x	$N_cM_xM_y$	$N_tM_xM_y$	M_t	
N5/N10	$(b_w/t) \leq 500$ $(b_f/t) \leq 60$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	η = 0.6	η = 2.2	x: 4.515 m η = 34.7	M_{Sd} = 0.00 N.A.(1)	V_{Sd} = 0.00 N.A.(2)	x: 4.515 m η = 5.3	x: 4.515 m η = 12.3	N.A.(3)	x: 4.515 m η = 38.1	x: 4.515 m η = 23.7	$M_{t,Sd}$ = 0.00 N.A.(4)	**PASSA** **η = 38.1**

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: 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_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
$N_cM_xM_y$: Resistência à flexo-compressão
$N_tM_xM_y$: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.A.: Não aplicável

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):
(1) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.
(2) A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.
(3) Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
(4) 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 elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b / t) $\leq$ 500 **(b / t)** : ***46*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento. **b** : *92.00* mm

t: A espessura. **t** : *2.00* mm

Elemento: Mesa

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

(b / t) ≤ 60 **(b / t)** : ***21*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento. **b** : *42.00* mm

t: A espessura. **t** : *2.00* mm

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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda = KL/r < 200$

λ_{xx} : ***56.7*** ✓

λ_{yy} : ***119.5*** ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. K_xL_x : *2.258* m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. K_yL_y : *2.258* m

r_x: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. r_x : *3.98* cm

r_y: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. r_y : *1.89* cm

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

Deve satisfazer:

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

η : ***0.006*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP1+CP2+1.4·V1.

$N_{t,Sd}$: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. $N_{t,Sd}$: *0.056* t

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

$$N_{t,Rd} = A\, f_y / \gamma$$

$N_{t,Rd}$: *10.227* t

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *4.41* cm²

f_y: Tensão de escoamento. f_y : *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

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

η : **0.022** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd}$: 0.088 t

A resistência de cálculo à compressão $N_{c,Rd}$ é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens: $N_{c,Rd}$: 4.092 t

a) Inicio de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$N_{c,Rd}$: 4.092 t

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra. A_{ef} : 4.11 cm²

χ: Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1{,}5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$ χ_{yy} : 0.47 χ_{xz} : 0.84

Sendo:

λ_0: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. $\lambda_{0,yy}$: 1.34 $\lambda_{0,xz}$: 0.64

$$\lambda_0 = \left[\frac{Af_y}{N_e}\right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra. A : 4.41 cm²

f_y: Tensão de escoamento. f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b): N_e : 6.220 t

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

N_{ey} : 6.220 t

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}\left[1-\sqrt{1-\frac{4N_{ex}N_{ez}\left[1-(x_0/r_0)^2\right]}{(N_{ex}+N_{ez})^2}}\right]$$

N_{exz} : 27.675 t

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

N_{ex} : 27.675 t

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2}\left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t\right]$$

N_{ez} : ∞

I_x: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.	I_x :	70.09	cm4
I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	I_y :	15.75	cm4
I_t: Momento de inércia à torção uniforme.	I_t :	0.06	cm4
C_w: Constante de empenamento da seção.	C_w :	364.95	cm6
E: Módulo de elasticidade.	**E** :	2038736	kgf/cm²
G: Módulo de elasticidade transversal.	**G** :	784129	kgf/cm²
K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	K_xL_x :	2.258	m
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	K_yL_y :	2.258	m
K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.	K_zL_z :	0.000	m

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2\right]^{0.5}$$

r_0 : 6.08 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 :	3.98	cm
	r_y :	1.89	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 :	-41.80	mm
	y_0 :	0.00	mm

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : **0.347** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo $\mathbf{M_{Sd}}$ é obtido para o nó N10, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$\mathbf{M_{Sd}}$: *0.113* t·m

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

$\mathbf{M_{Rd}}$: *0.325* t·m

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

$$\mathbf{M_{Rd}} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$\mathbf{M_{Rd}}$: *0.325* t·m

Onde:

$\mathbf{W_{ef}}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. — $\mathbf{W_{ef}}$: *14.02* cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento. — $\mathbf{f_y}$: *2548.42* kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências. — γ : *1.1*

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $\mathbf{K_tL_t}$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $\mathbf{K_yL_y^{pos}}$ e $\mathbf{K_yL_y^{neg}}$ são nulos.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

η : ***0.053*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{V_{Sd}}$ produz-se no nó N10, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$\mathbf{V_{Sd}}$: *0.136* t

A força cortante resistente de cálculo da alma $\mathbf{V_{Rd}}$ deve ser calculada por: $^{(1)}\mathbf{V_{Rd}}$: *2.558* t

para $^{(1)}h/t \le 1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.6f_y ht/\gamma$ — $\mathbf{1.08(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *68.31*

para $^{(2)}1.08\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} < h/t \le 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = 0.65t^2\left(k_v f_y E\right)^{0.5}/\gamma$ — $\mathbf{h/t}$: *46.00*

para $^{(3)}h/t > 1.4\left(Ek_v/f_y\right)^{0.5} \rightarrow \mathbf{V_{Rd}} = \left[0.905Ek_v t^3/h\right]/\gamma$ — $\mathbf{1.4(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *88.54*

Onde:

t: Espessura da alma.	**t** :	*2.00*	mm
h: Largura da alma.	**h** :	*92.00*	mm
$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento.	$\mathbf{f_y}$:	*2548.42*	kgf/cm²
E: Módulo de elasticidade.	**E** :	*2038736*	kgf/cm²
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.	γ :	*1.1*	
$\mathbf{K_V}$: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: $\mathbf{k_v} = 5.00$	$\mathbf{K_V}$:	*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 $\mathbf{M_{Sd}}$ e $\mathbf{V_{Sd}}$ são obtidos no nó N10, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}}\right)^2$$

η : ***0.123*** ✓

Onde:

$\mathbf{M_{Sd}}$: Momento fletor solicitante de cálculo.	$\mathbf{M_{Sd}}$:	*0.113*	t·m
$\mathbf{M_{0,Rd}}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$\mathbf{M_{0,Rd}}$:	*0.325*	t·m
$\mathbf{V_{Sd}}$: Força cortante solicitante de cálculo.	$\mathbf{V_{Sd}}$:	*0.136*	t
$\mathbf{V_{Rd}}$: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$\mathbf{V_{Rd}}$:	*2.558*	t

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

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

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N10, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.25·CP2+1.5·SCU1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : **0.381** ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. — $N_{c,Sd}$: 0.088 t

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. — $M_{x,Sd}$: 0.113 t·m; $M_{y,Sd}$: 0.001 t·m

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. — $N_{c,Rd}$: 4.092 t

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. — $M_{x,Rd}$: 0.325 t·m; $M_{y,Rd}$: 0.112 t·m

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N10, para a combinação PP+CP1+CP2+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : **0.237** ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo. — $N_{t,Sd}$: 0.056 t

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. — $M_{x,Sd}$: 0.072 t·m; $M_{y,Sd}$: 0.001 t·m

N_{Rd}: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. — N_{Rd} : 10.227 t

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. — $M_{x,Rd}$: 0.325 t·m; $M_{y,Rd}$: 0.113 t·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

3.1 Generalidades

Considera-se que a empresa tem conhecimento pleno das dificuldades do local da obra, tendo esse fato sido levado em consideração quando da definição de sua proposta, não cabendo assim qualquer dúvida quanto a sua validade.

Entende-se em consequência, que os preços apresentados em sua proposta, compreendem na integra, todos os serviços necessários à execução das obras, incluindo projeto de fabricação e montagem da estrutura metálica.

A especificação procura definir a natureza, quantidade, dimensões e localização dos serviços a realizar, porem e conveniente salientar que:

- A descrição não tem caráter limitativo, assim entende-se estarem incluídos no preço proposto, sem exceção ou reserva todos os serviços necessários, dentro das regras da arte, para a completa e perfeita conclusão do seu trecho do empreendimento
- A empresa, pelo simples fato de apresentar sua proposta, compromete-se automaticamente a respeitar todos os dispositivos da especificação.
- Antes da execução de qualquer serviço, a empresa deve verificar todas as dimensões dos desenhos fornecidos, como também a característica especifica que possam afetar seus serviços (prumo, alinhamentos, deslocamentos e outros)
- Ela deve reclamar em tempo hábil, todas as informações complementares. Caso contrário ela se tornara responsável por todas as falhas encontradas ao longo da execução bem como suas consequências e resultados.
- A empresa não poderá então, argumentar que omissões em desenhos ou quantitativos possam eximi-las de executar seus serviços ou sejam objeto de pleitos adicionais de preço.

3.2 Materiais

Todos os materiais deverão ser novos, de primeira qualidade e possuir certificados de qualidade e procedência. Na falta desses certificados a Contratante poderá exigir realização de ensaios para a determinação das características mecânicas do material. Os ensaios serão feitos por firmas ou instituições especializadas, de acordo com as normas AWS e ABNT, sem qualquer ônus para a Contratante, todo aço utilizado será do tipo SAC-41.

Para fins de concorrência, deverão ser considerados os seguintes materiais:

a) Aço estrutural – USISAC-41

Perfis Soldados e Chapas
Perfis Laminados tipo I e H
Perfis laminados tipo cantoneiras e demais
Perfis Dobrados

*Exceto anotado lista de material

Parafusos
- Ligações principais : ASTM A-325
- Ligações secundárias : ASTM A-307

São consideradas ligações secundárias os referentes a:

- Escadas comuns e tipo marinheiro
- Corrimãos
- Terças e longarinas

Tirantes em barra redonda
- ASTM A36

Eletrodos para solda
- E7018

Chumbadores
- ASTM-A36

b) Telhas

O telhamento em telha será em telha metálica trapezoidal termoacústica, espessura 30mm, material de enchimento em EPS, espessura da chapa 0,43mm.

Antes de sua aplicação, as telhas deverão ser submetidas à apreciação da Fiscalização, que rejeitará, a seu critério, toda a peça que apresentar empenamentos, rachaduras ou qualquer outro defeito que possa vir a prejudicar a estanqueidade do telhado.

As telhas deverão ser fixadas de modo a prevenir o seu arrancamento por ação de ventos.

Os telhados deverão sempre ser entregues limpos de restos de entulhos e perfeitamente varridos.

Cuidados especiais deverão ser tomados no transporte, armazenamento das telhas e peças complementares e durante a montagem do telhado. Durante a montagem, não pisar diretamente sobre as telhas. O caminhamento deverá ser feito sobre tábuas, que se apóiem nas terças.

A montagem das telhas deverá ser feita por faixas, no sentido contrário dos ventos predominantes da região.

As telhas deverão ser assentadas sobre terças, cujas faces de contato deverão situar-se em um mesmo plano.

As telhas deverão ser fixadas à estrutura metálica por meio de parafusos tipo vedação/fixação, de forma a evitar o deslocamento das telhas e possíveis infiltrações.

Todo o material e serviços referentes a este item estarão sujeitos a serem aprovados pela Fiscalização.

3.3 Soldas

Os serviços de solda deverão ser executados por soldadores qualificados. A qualificação dos soldadores e dos processos da execução das juntas soldadas deverá ser feita de acordo com o Método para a Qualificação dos Processos de Sondagem, de Soldadores e Operadores – MB-262 da ABNT.

Todas as soldas deverão ser feitas a arco elétrico, de acordo com a AWS D1.1, devendo-se proceder de modo a não causar empenos nem tensões adicionais. As superfícies a serem soldadas devem ser isentas de escamas soltas, escória, ferrugem, graxa e outros materiais estranhos. Não poderão ser realizadas soldas nas estruturas expostas à chuva ou ao vento.

Na execução das soldas em várias camadas a superfície de cada uma delas deverá ser perfeitamente limpa e isenta de porosidade, inclusões, fissura ou quaisquer outros defeitos. Se algum defeito for averiguado, ela deverá ser removida e refeita.

Os trechos soldados não devem sofrer resfriamento brusco. Durante a soldagem e o resfriamento, as partes soldadas não devem ser submetidas a vibrações e abalos.

O método e a sequência dos serviços de solda deverão ser tais que provoquem mínimos esforços de contração, e as peças apresentem a forma prevista nos desenhos, sem a necessidade de desempenamento posterior.

Poderão ser escolhidas ao acaso, pela Fiscalização, soldas para serem ensaiadas sob o ponto de vista de eficiência. Se qualquer uma delas não satisfizer aos padrões de qualidade e não seguir os Métodos e Especificações da AWS deverão ser removidos e substituídas por novas soldas a contento da Fiscalização.

No caso de ligações de soldas importantes, poderá ser exigido o controle das soldas por métodos não destrutivos (radiografia ou ultra-som).

Nenhuma solda resistente deverá ser inferior a 05mm, a menos que a espessura do material exija o uso da solda de 04mm, ou quando indicado nos desenhos do projeto.

3.4 Treliças

As linhas baricêntricas dos membros de uma treliça deverão concorrer e coincidir com os eixos de suas ligações. Quando isto não for possível, deverá ser levada em conta a excentricidade de corrente dessa circunstância.

O comprimento dos cordões de solda de filete deverá ser, quando necessário, colocado de forma a evitar excentricidade nas conexões e deverá ser de comprimento suficiente para resistir aos esforços de projeto ou a esforços iguais a 50% da resistência efetiva da peça, usando-se o valor mais alto.

As treliças deverão ter contraflecha seguindo uma parábola como indicado nos desenhos, ou de acordo com as normas do AISC se a mesma não for indicada.

3.5 Contraventamentos

As barras tracionadas dos contraventamentos deverão ser fabricadas de modo a proporcionar quando montadas uma tensão inicial, observando-se para tanto que elas sejam fabricadas mais curtas do que o comprimento teórico, conforme especificado abaixo:

- Para as peças de 0 a 3 m - nenhuma redução
- Para as peças de 3 a 6 m - reduzir 02 mm
- Para as peças de 6 a 9 m - reduzir 03 mm
- Para as peças de 9 a 12 m - reduzir 05 mm

3.6 Movimentação das Estruturas de Aço

A movimentação das estruturas de aço na obra deverá ser feita obedecendo aos seguintes requisitos gerais:

- As treliças e tesouras devem ser transportadas, de preferência na posição vertical, e suspensas por dispositivos colocados em posições tais que evitem inversão de esforços de tração e compressão nos banzos.
- Deverão ser tomados cuidados especiais para os casos de peças esbeltas e que devem ser devidamente contraventadas provisoriamente para a movimentação.

As operações de carga e descarga das peças deverão ser feitas com todos os cuidados necessários para evitar deformações que as inutilizem parcial ou totalmente e que resultem em custos adicionais.

3.7 Elementos Provisórios de Montagem

A Montadora deverá tomar as providências necessárias para que a estrutura permaneça estável durante a montagem, utilizando contraventamentos, estaiamentos e ligações provisórias, em quantidade adequada e com resistência suficiente de modo a suportar os esforços atuantes durante a montagem.

Todos os contraventamentos e estaiamentos provisórios deverão ser retirados após a montagem.

Todas as ligações provisórias, inclusive pontos de solda, deverão ser retiradas após a montagem.

3.8 Equipamentos

A Montadora será responsável pelo emprego, segurança, manutenção e capacidade do equipamento de montagem.

Sendo possível, todas as montagens deverão ser executadas utilizando equipamentos móveis. O emprego de mastros ancorados só será permitido com a aprovação da Fiscalização.

Os andaimes deverão ser protegidos contra acidentes. Atenção especial deverá ser dada à proteção dos transeuntes e veículos. A Montadora será responsável por qualquer dano que venha a ocorrer. A Fiscalização, a qualquer momento, poderá exigir segurança adicional.

4. DETALHAMENTO GRÁFICO

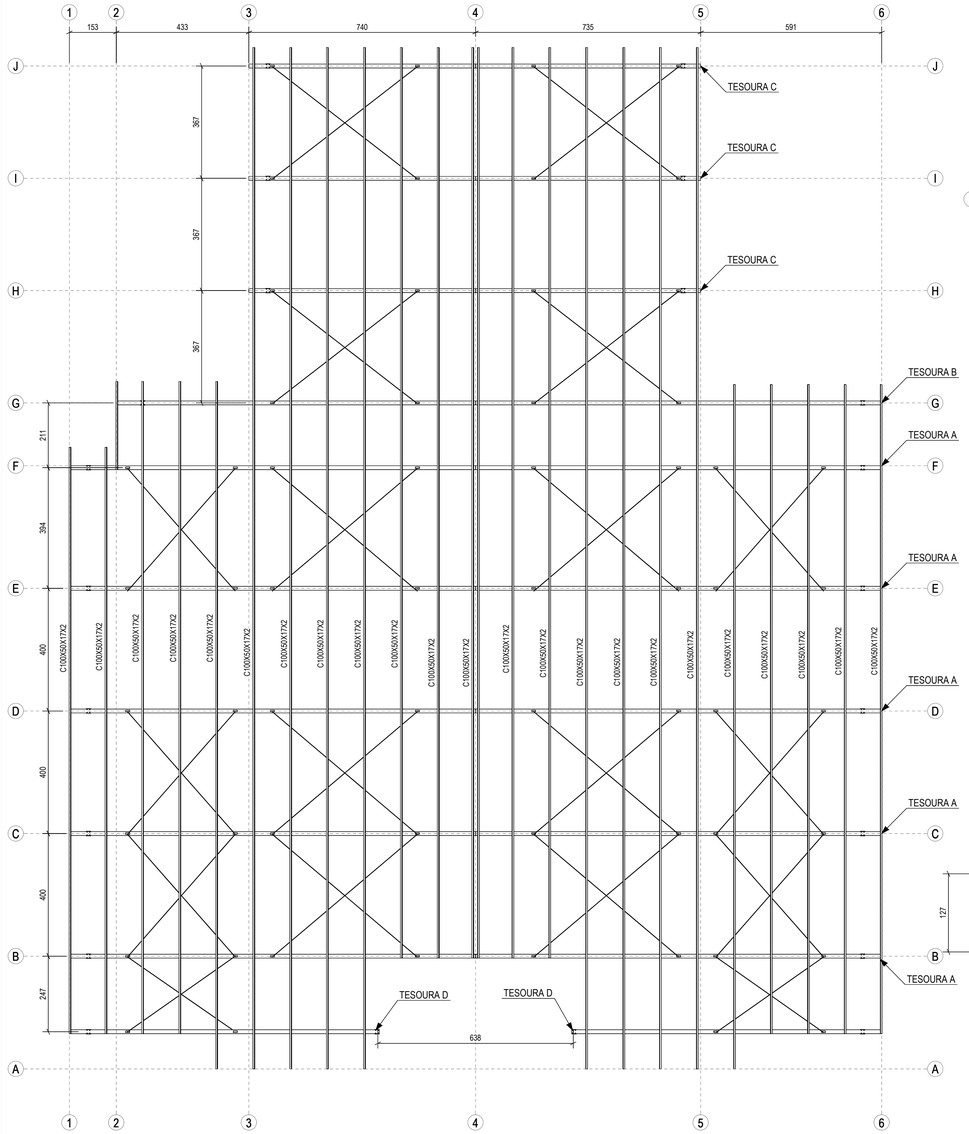
O detalhamento gráfico do projeto de Estruturas Metálicas é apresentado em 01 prancha com o seguinte conteúdo:

- Folha 01: Planta de Locação das Treliças Metálicas e Detalhes Construtivos.

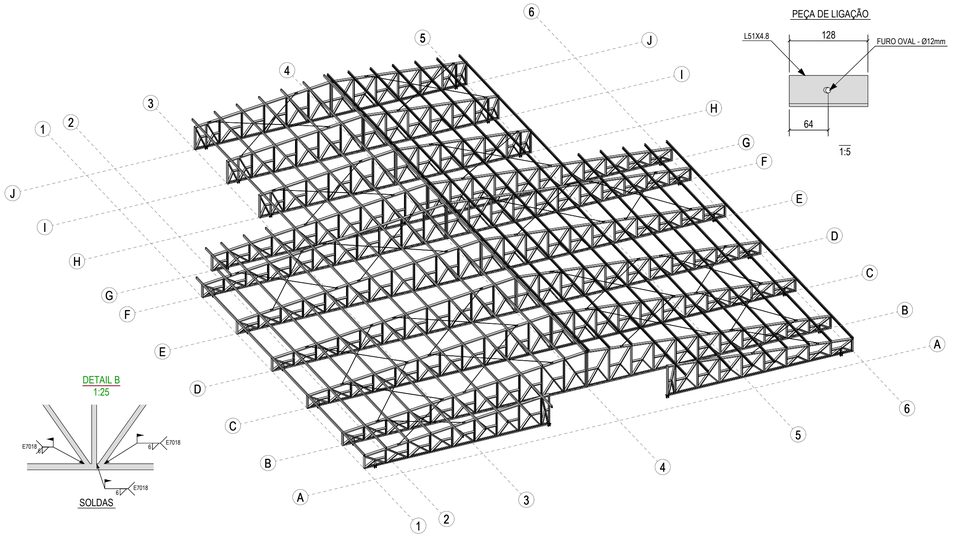
As pranchas que fazem parte deste volume são apresentadas na sequência.

Rio Branco-AC, 07 de dezembro de 2023.

Ricardo Curado
Engº Civil
CREA: 5060903792/D-SP



PLANTA BAIXA
1:100



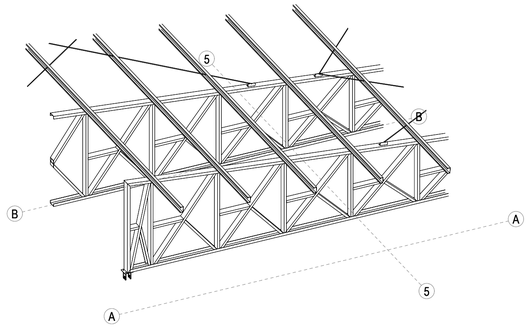
ISOMÉTRICO
1:150

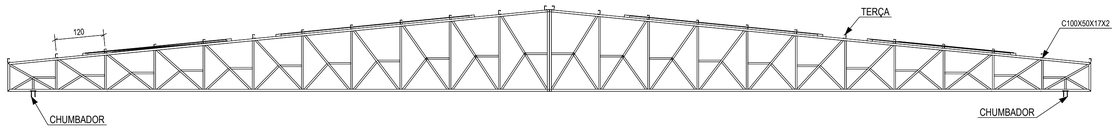
PEÇA DE LIGAÇÃO

1:5

DETAIL B
1:25

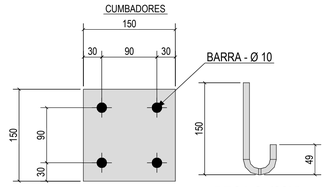
SOLDAS





VISTA
1:75

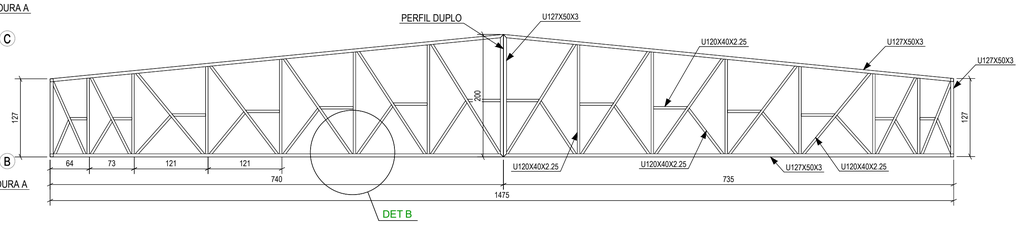
CUMBADORES



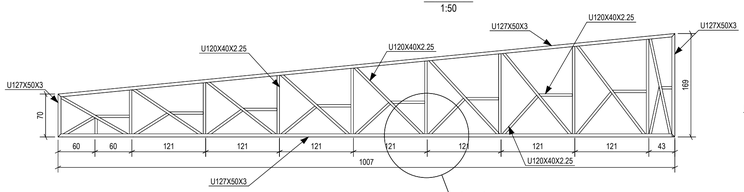
CHAPA e = 6.4mm - 150X150mm

PEÇA 2, (88X)

PEÇA ch1, (22X)

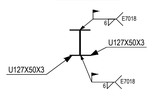


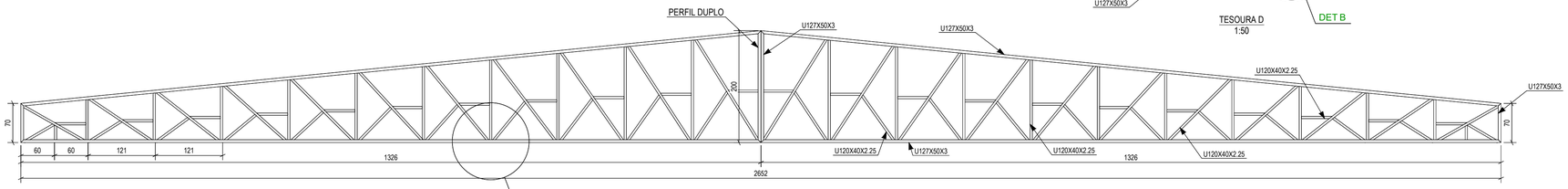
TESOURA C
1:50



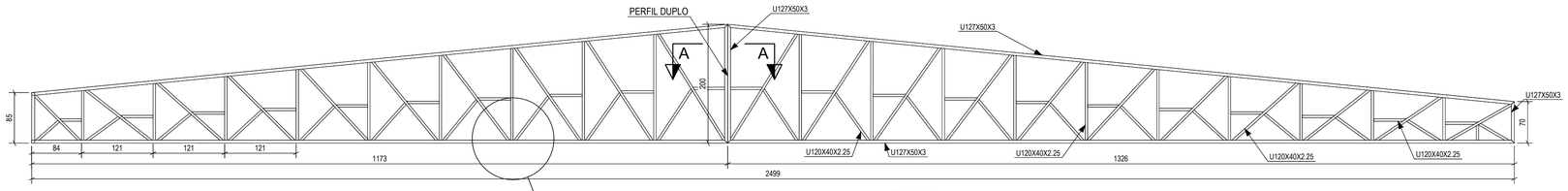
TESOURA D
1:50

PERFIL DUPLO





TESOURA A
1:50



TESOURA B
1:50

RESUMO DE MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

DESCRIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ESPECIFICAÇÃO	AREA PINTURA (m2)	PESO (kg)
U127X50X3	502.00	A36	224.43	2607.11
U120X40X2.25	830.06	A36	328.86	2843.58
L51X4.8	7.80	A36	1.64	28.04
D10	217.05	CA50	6.84	123.63
CHAPA - e=6.4mm	0.495m2	A36	0.50	24.45
C100X50X17X2	658.34	A36	300.22	2284.24
		TOTAL	862.00	7911.05

REVISÕES:

Nº:	Data:	Descrição:	Autor:

PODER JUDICIÁRIO DO ESTADO DO ACRE

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DO ACRE

VETOR ENGENHARIA

Nome: Vetor Engenharia e Construções LTDA
End.: Rua Vênus, 192 - Morada do sol - Rio Branco-Ac
Tel.: (68) 3223-3300

Resp. Técnico (cs):

Ricardo Curado
Engº Civil - CREA Nº 506090337921/D-SP

ASSUNTO: **PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA**

FASE DO PROJETO: **EXECUTIVO**

OBRA: REFORMA DO FÓRUM DESEMBARGADOR JOSÉ LOURENÇO FURTADO PORTUGAL

END: RUA JUVENAL ANTUNES, Nº 1079 - CENTRO PLÁCIDO DE CASTRO/AC

DADOS DA FONTE:

AREAS (m²)		Taxas (%)	
Terreno:	0,00 m²	TO:	-
Reformar:	713,10 m²	TP:	-
Demolir:	0,00 m²	CA:	-
Construção:	0,00 m²		
TOTAL:	0,00 m²		

CONTEÚDO: PLANTA DE LOCAÇÃO DAS TRELIÇAS METÁLICAS E DETALHES CONSTRUTIVOS

NÚMERO DA PRANCHA: **MET 01/01**

ESCALA: INDICADA

DATA: OUTUBRO/2023

REVISÃO: REV 00

Endereço Arquivo: