

## ÍNDICE

1. DADOS DE OBRA.....	2
1.1. Normas consideradas.....	2
1.2. Estados limites.....	2
1.2.1. Situações de projeto.....	2
1.2.2. Combinações.....	3
2. ESTRUTURA.....	4
2.1. Geometria.....	4
2.1.1. Nós.....	4
2.1.2. Barras.....	4
2.2. Cargas.....	6
2.2.1. Nós.....	6
2.2.2. Barras.....	6
2.3. Resultados.....	7
2.3.1. Nós.....	7
2.3.2. Barras.....	8

## 1. DADOS DE OBRA

### 1.1. Normas consideradas

Aço dobrado: ABNT NBR 14762: 2010

### 1.2. Estados limites

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

#### 1.2.1. Situações de projeto

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

- Situações permanentes ou transitórias

- Com coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Combinações acidentais

- Com coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_d} A_d + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{A_d} A_d + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Onde:

- $G_k$  Ação permanente
- $P_k$  Acção de pré-esforço
- $Q_k$  Ação variável
- $A_d$  Ação acidental
- $\gamma_G$  Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes
- $\gamma_P$  Coeficiente parcial de segurança da acção de pré-esforço
- $\gamma_{Q,1}$  Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal
- $\gamma_{Q,i}$  Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento
- $\gamma_{Ad}$  Coeficiente parcial de segurança da ação acidental
- $\psi_{p,1}$  Coeficiente de combinação da ação variável principal
- $\psi_{a,i}$  Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

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

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

Normal				
	Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinação ( $\psi$ )	
	Favorável	Desfavorável	Principal ( $\psi_p$ )	Acompanhamento ( $\psi_a$ )
Permanente (G)	1.000	1.250	-	-

Acidental				
	Coeficientes parciais de segurança ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinação ( $\psi$ )	
	Favorável	Desfavorável	Principal ( $\psi_p$ )	Acompanhamento ( $\psi_a$ )
Permanente (G)	1.000	1.100	-	-
Acidental (A)	1.000	1.000	-	-

Deslocamentos

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

## 1.2.2. Combinações

- Nomes das ações

PP                      Peso próprio

Carga acidental    Carga acidental

## ▪ E.L.U. Aço dobrado

Comb.	PP	Carga accidental
1	1.000	
2	1.250	
3	1.000	1.000
4	1.100	1.000

## ▪ Deslocamentos

Comb.	PP	Carga accidental
1	1.000	

## 2. ESTRUTURA

### 2.1. Geometria

#### 2.1.1. Nós

Referências:

$\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ : Deslocamentos prescritos em eixos globais.

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ : Rotações prescritas em eixos globais.

Cada grau de liberdade marca-se com 'X' se estiver restringido e, caso contrário, com '-':

Nós										
Referência	Coordenadas			Vínculo c/ exterior						Vinculação interna
	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta_x$	$\Delta_y$	$\Delta_z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Engastado
N2	0.000	0.000	0.500	-	-	-	-	-	-	Engastado

#### 2.1.2. Barras

##### 2.1.2.1. Materiais utilizados

Materiais utilizados							
Material		E	v	G	$f_y$	$\alpha_t$	$\gamma$
Tipo	Designação	(kgf/cm <sup>2</sup> )		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(m/m°C)	(t/m <sup>3</sup> )
Aço dobrado	CF-26	2038736.0	0.300	784129.2	2650.4	0.000012	7.850
Notação: E: Módulo de elasticidade n: Módulo de poisson G: Módulo de corte $f_y$ : Limite elástico $\alpha_t$ : Coeficiente de dilatação g: Peso específico							

## 2.1.2.2. Descrição

Descrição									
Material		Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	$\beta_{xy}$	$\beta_{xz}$	Lb <sub>Sup.</sub> (m)	Lb <sub>Inf.</sub> (m)
Tipo	Designação								
Aço dobrado	CF-26	N1/N2	N1/N2	#60x60x4.0 (Perfil oco de secção quadrada)	0.500	1.00	1.00	-	-
Notação: Ni: Nó inicial Nf: Nó final $\beta_{xy}$ : Coeficiente de flambagem no plano 'XY' $\beta_{xz}$ : Coeficiente de flambagem no plano 'XZ' Lb <sub>Sup.</sub> : Espaçamento entre travamentos do banzo superior Lb <sub>Inf.</sub> : Espaçamento entre travamentos do banzo inferior									

## 2.1.2.3. Características mecânicas

Tipos de peça	
Ref.	Peças
1	N1/N2

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm <sup>2</sup> )	A <sub>vy</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>vz</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>yy</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>zz</sub> (cm <sup>4</sup> )	It (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designação								
Aço dobrado	CF-26	1	#60x60x4.0, (Perfil oco de secção quadrada)	8.54	3.73	3.73	43.28	43.28	72.48
Notação: Ref.: Referência A: Área da seção transversal A <sub>vy</sub> : Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y' A <sub>vz</sub> : Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z' I <sub>yy</sub> : Inércia da seção em torno do eixo local 'Y' I <sub>zz</sub> : Inércia da seção em torno do eixo local 'Z' It: Inércia à torção As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.									

## 2.1.2.4. Tabela de ferro

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Tipo	Designação					
Aço dobrado	CF-26	N1/N2	#60x60x4.0 (Perfil oco de secção quadrada)	0.500	0.000	3.35
Notação: Ni: Nó inicial Nf: Nó final						

## 2.1.2.5. Tabela resumo

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Série (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço dobrado	CF-26	Perfil oco de secção quadrada	#60x60x4.0	0.500	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	3.35	3.35	3.35

## 2.1.2.6. Quantitativos de superfícies

Aço dobrado: Quantitativos das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m <sup>2</sup> /m)	Comprimento (m)	Superfície (m <sup>2</sup> )
Perfil oco de secção quadrada	#60x60x4.0	0.226	0.500	0.113
Total				0.113

## 2.2. Cargas

### 2.2.1. Nós

Cargas em nós					
Referência	Hipótese	Cargas concentradas (t)	Direção		
			X	Y	Z
N2	Carga acidental	0.600	1.000	0.000	0.000

### 2.2.2. Barras

Referências:

'P1', 'P2':

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

'L1', 'L2':

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

Unidades:

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

Cargas em barras										
Barra	Hipótese	Tipo	Valores		Posição		Direção			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Eixos	X	Y	Z
N1/N2	Peso próprio	Uniforme	0.007	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Nós

#### 2.3.1.1. Deslocamentos

Referências:

Dx, Dy, Dz: Deslocamentos dos nós em eixos globais.

Gx, Gy, Gz: Rotações dos nós em eixos globais.

##### 2.3.1.1.1. Hipótese

Deslocamentos dos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Deslocamentos em eixos globais					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga acidental	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga acidental	2.936	0.000	0.000	0.000	8.501	0.000

##### 2.3.1.1.2. Combinações

Deslocamentos dos nós, por combinação								
Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Deslocamentos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Deslocamentos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

##### 2.3.1.1.3. Envoltórias

Envoltória dos deslocamentos em nós									
Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais						
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)	
N1	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

### 2.3.1.2. Reações

Referências:

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

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

##### 2.3.1.2.1. Hipótese

Reações nos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Peso próprio	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
	Carga acidental	-0.600	0.000	0.000	0.000	-0.300	0.000

### 2.3.1.2.2. Combinações

Reações nos nós, por combinação								
Referência	Combinação		Reações em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Concreto em fundações	PP	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
		1.4-PP	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
		PP+Cargaacidental	-0.600	0.000	0.003	0.000	-0.300	0.000
		1.2-PP+Cargaacidental	-0.600	0.000	0.004	0.000	-0.300	0.000
	Tensões sobre o terreno	PP	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
		PP+Cargaacidental	-0.600	0.000	0.003	0.000	-0.300	0.000

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

### 2.3.1.2.3. Envoltórias

Envoltórias das reações em nós								
Referência	Combinação		Reações em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	-0.600	0.000	0.003	0.000	-0.300	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	-0.600	0.000	0.003	0.000	-0.300	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000

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

## 2.3.2. Barras

### 2.3.2.1. Esforços

Referências:

N: Esforço axial (t)

Vy: Esforço cortante segundo o eixo local Y da barra. (t)

Vz: Esforço cortante segundo o eixo local Z da barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (t·m)

Mz: Momento fletor no plano 'XY' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Z' da barra). (t·m)

#### 2.3.2.1.1. Hipótese

Esforços em barras, por hipóteses/ações					
Barra	Hipótese	Esforço	Posições na barra		
			0.000 m	0.250 m	0.500 m
N1/N2	Peso próprio	N	-0.003	-0.002	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000
	Carga acidental	N	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.600	0.600	0.600
		Vz	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.300	0.150	0.000

### 2.3.2.1.2. Combinações

Esforços em barras, por combinação						
Barra	Combinação		Esforço	Posições na barra		
	Tipo	Descrição		0.000 m	0.250 m	0.500 m
N1/N2	Aço dobrado	PP	N	-0.003	-0.002	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000
			Mz	0.000	0.000	0.000
		1.25·PP	N	-0.004	-0.002	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000
			Mz	0.000	0.000	0.000
	PP+Cargaacidental	N	-0.003	-0.002	0.000	
		Vy	0.600	0.600	0.600	
		Vz	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	
		Mz	0.300	0.150	0.000	
	1.1·PP+Cargaacidental	N	-0.004	-0.002	0.000	
		Vy	0.600	0.600	0.600	
		Vz	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	
		Mz	0.300	0.150	0.000	

### 2.3.2.1.3. Envoltórias

Envoltórias dos esforços em barras					
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra		
			0.000 m	0.250 m	0.500 m
N1/N2	Aço dobrado	$N_{\min}$	-0.004	-0.002	0.000
		$N_{\max}$	-0.003	-0.002	0.000
		$V_{y\min}$	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\max}$	0.600	0.600	0.600
		$V_{z\min}$	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\max}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{t\min}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{t\max}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{y\min}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{y\max}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{z\min}$	0.000	0.000	0.000
		$M_{z\max}$	0.300	0.150	0.000

### 2.3.2.2. Resistência

Referências:

N: Esforço axial (t)

$V_y$ : Esforço cortante segundo o eixo local Y da barra. (t)

$V_z$ : Esforço cortante segundo o eixo local Z da barra. (t)

$M_t$ : Momento torsor (t·m)

$M_y$ : Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (t·m)

$M_z$ : Momento fletor no plano 'XY' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Z' da barra). (t·m)

Os esforços indicados são os correspondentes à combinação desfavorável, ou seja, aquela que solicita a máxima resistência da seção.

Origem dos esforços desfavoráveis:

- G: Verticais
- GV: Verticais + vento
- GSis: Verticais + sismo
- GVSis: Verticais + vento + sismo

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

Verificação de resistência										
Barra	$\eta$ (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	$V_y$ (t)	$V_z$ (t)	$M_t$ (t·m)	$M_y$ (t·m)	$M_z$ (t·m)		
N1/N2	86.33	0.000	-0.004	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	GA Passa

### 2.3.2.3. Flechas

Referências:

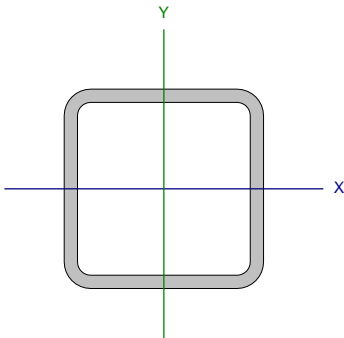
Pos.: Valor da coordenada sobre o eixo 'X' local do grupo de flecha no ponto onde se produz o valor péssimo da flecha.

L.: Distância entre dois pontos de corte consecutivos da deformada com a reta que une os nós extremos do grupo de flecha.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha ativa absoluta xy Flecha ativa relativa xy		Flecha ativa absoluta xz Flecha ativa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N1/N2	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)

### 2.3.2.4. Verificações E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

Perfil: #60x60x4.0 Material: Aço (CF-26)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N1	N2	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme							
	Flambagem			Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00			
L <sub>k</sub>	0.500	0.500	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000			
C <sub>b</sub>	-		1.000				
Notação: b: Coeficiente de flambagem L <sub>k</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico							

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

Elemento: Alma

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

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{11} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 44.00 mm

t: A espessura.

t : 4.00 mm

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

O índice de esbeltez desfavorável é gerado no nó N1.

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

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$I_{xx} : \underline{22.2} \quad \checkmark$$

$$I_{yy} : \underline{22.2} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

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

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.25·PP.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.004} \text{ t}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{18.352} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,  $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$C_{xx} : \underline{0.97}$$

$$C_{yy} : \underline{0.97}$$

Sendo:

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

$$I_{0,xx} : \underline{0.25}$$

$$I_{0,yy} : \underline{0.25}$$

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

Sendo:

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

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

g: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$g : \underline{1.2}$$

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

$$N_e : \underline{348.312} \text{ t}$$

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

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

$$N_{ex} : \underline{348.312} \text{ t}$$

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

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

$$N_{ey} : \underline{348.312} \text{ t}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção,  $K_t L_t$ , é nula.

Onde:

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

$$I_x : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$K_x L_x : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

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

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

Deve satisfazer:

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

$$h : \underline{0.863} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{Sd}$  é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses PP+Cargaacidental.

$$M_{Sd} : \underline{0.300} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Onde:

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

$$W_{ef} : \underline{14.43} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

g: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$g : \underline{1.1}$$

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

Deve satisfazer:

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

$$h : \underline{0.118} \quad \checkmark$$

 O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+Cargaacidental.

$$V_{Sd} : \underline{0.600} \quad t$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.300} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.544} \quad t$$

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

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

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

$$h/t : \underline{11.00}$$

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

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

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{4.00} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{44.00} \quad \text{mm}$$

 $f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \quad \text{kgf/cm}^2$$

g: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$g : \underline{1.1}$$

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

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

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

**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y 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 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 PP+Cargaacidental.

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:

$$\eta = \left( \frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad h : \underline{0.759} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$M_{sd} : \underline{0.300} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$M_{0,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$V_{sd} : \underline{0.600} \text{ t}$

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

$V_{Rd} : \underline{5.089} \text{ t}$

## 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 1.1·PP+Cargaacidental.

$$\eta = \frac{N_{e,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.863} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$N_{e,Sd} : \underline{0.004} \text{ t}$

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

$M_{x,Sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Sd} : \underline{0.300} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$N_{e,Rd} : \underline{18.352} \text{ t}$

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

$M_{x,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Rd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

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

## Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

## 2.3.2.5. Verificações E.L.U. (Resumido)

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	$\lambda$	$N_t$	$N_c$	$M_x$	$M_y$	$V_x$	$V_y$	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N, M, M_y$	$N, M, M_x$	$M_t$	
N1/N2	$(b_w/t) \leq 500$ Passa	x: 0 m $\lambda_{ox} \leq 200.0$ $\lambda_{oy} \leq 200.0$ Passa	$N_{t, Sd} = 0,00$ N.A. <sup>(1)</sup>	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Sd} = 0,00$ N.A. <sup>(2)</sup>	x: 0 m $\eta = 86.3$	$\eta = 11.8$	$V_{Sd} = 0,00$ N.A. <sup>(3)</sup>	N.A. <sup>(4)</sup>	x: 0 m $\eta = 75.9$	x: 0 m $\eta = 86.3$	N.A. <sup>(5)</sup>	$M_{t, Sd} = 0,00$ N.A. <sup>(6)</sup>	PASSA h = 86.3
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p>l: 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, M, M_y</math>: Resistência à flexo-compressão</p> <p><math>N, M, M_x</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.A.: Não aplicável</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.</p> <p><sup>(2)</sup> A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.</p> <p><sup>(3)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.</p> <p><sup>(4)</sup> Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(5)</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>(6)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														