MEMÓRIA DE CÁLCULO DO PROJETO DE COBERTURA DA OBRA DE RESTAURO DA CASA NORIVAL DE FREITAS

SUMÁRIO

1 DADOS DE OBRA.....3
1.1 NORMAS CONSIDERADAS.....3
1.2 UNIDADES.....3
1.3 MATERIAIS.....3
1.4 ESTADOS LIMITES.....3
1.4.1 SITUAÇÕES DE PROJETO.....3
1.4.2 COMBINAÇÕES.....4
1.4.3 COMBINAÇÕES DE CARGAS PARA A EDIFICAÇÃO (E.L.U.).....4
2 ESTRUTURA 4
2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....4
2.1.1 TABELA RESUMO - BARRAS DE AÇO.....4
2.1.2 QUANTITATIVOS.DE.SUPERFÍCIES.....5
2.2 RESULTADOS.....5
2.2.1 BARRAS.DE.AÇO.....5
3 CONCLUSÃO..... 21

1 DADOS DE OBRA

1.1 Normas consideradas

ABNT NBR 6118: Projeto de Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

ABNT NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações

ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações

ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

1.2 Unidades

As unidades utilizadas são:

Grandeza	Unidades
Massa	quilograma (kg) e tonelada (t)
Força	quilonewton (kN) e quilograma-força (kgf)
Comprimento	metros (m), centímetros (cm) e milímetros (mm)
Área	metros quadrados (m²), centímetros quadrados (cm²) e milímetros quadrados (mm²)
Tempo	segundos (s)

1.3 Materiais

Materiais utilizados							
Material		E (kgf/cm²)	n	G (kgf/cm²)	f_y (kgf/cm²)	$a_{\cdot t}$ (m/m°C)	g (t/m³)
Tipo	Designação						
Aço dobrado	CF-26	200000.0	0.300	76923.08	260.00	0.000012	7.701

Notação:
E: Módulo de elasticidade
n: Módulo de Poisson
G: Módulo de elasticidade transversal
f_y: Limite elástico
$a_{\cdot t}$: Coeficiente de dilatação
g: Peso específico

1.4 Estados limites

1.4.1 Situações de projeto

E.L.U. Aço dobrado	ABNT NBR 14762
E.L.S. Aço dobrado	ABNT NBR 14762

Categoria de uso da edificação: Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.

1.4.2 Combinações

Descrição das cargas atuantes na estrutura

Ações permanentes	Descrição	Valor
PP componentes	Peso próprio devido a telhas, parafusos, etc.	12kgf/m²
Ações variáveis		
SCU Utilização	Sobrecarga de utilização por norma	25kgf/m²

Nota: o peso próprio das barras de aço é calculado automaticamente pelo *software*.

1.4.3 Combinações de cargas para a edificação (E.L.U.)

Comb.	PP	Peso da telha	Sobrecarga
1	1.000	1.000	
2	1.250	1.000	
3	1.000	1.250	
4	1.250	1.250	
5	1.000	1.000	1.500
6	1.250	1.000	1.500
7	1.000	1.250	1.500
8	1.250	1.250	1.500

2 ESTRUTURA

2.1 Elementos estruturais

2.1.1 Tabela resumo - barras de aço

Tabela resumo - barras de aço						
Material		Série	Perfil	Comprimento	Volume	Peso
Tipo	Designação			Perfil	Perfil	Perfil
				(m)	(m³)	(kg)
Aço dobrado	CF-26	Retangular	15 x 50 x 3.0	72,637	0,083	650,18
		Quadrada	50 x 50 x 3.0	109,907	0,059	466,13
Total				**182,543**	**0,142**	**1.116,32**

2.1.2 Quantitativos de superfícies

Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m²/m)	Comprimento (m)	Superfície (m²)
Retangular	15 x 50 x 3.0	0,389	72,637	28,288
Quadrada	50 x 50 x 3.0	0,189	109,907	20,821
Total				**49,110**

2.2 Resultados

2.2.1 Barras de aço

2.2.1.1 Verificações E.L.U. (Completo)

Abaixo são apresentadas as verificações, tanto para a viga quanto para a coluna, respectivamente, mais solicitadas da edificação.

A seguir é apresentada uma tabela resumida com as verificações de todas as vigas e colunas da edificação.

Barra N150/N127

Perfil: # 15.0x5.0x8.96
Material: Aço (CF-26)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N150	N127	2.105	11.40	298.07	52.50	150.13

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.
b	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	2.105	2.105	2.105	2.105
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
b: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

<u>Valores máximos da relação comprimento-espessura</u> (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) : ***46*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.	**b**	: *138.00*	mm
t: A espessura.	**t**	: *3.00*	mm

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) : ***13*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.	**b**	: *38.00*	mm
t: A espessura.	**t**	: *3.00*	mm

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

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

l_{xx} : ***41.2*** ✓

l_{yy} : ***98.1*** ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	K_xL_x	: *2.105*	m
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	K_yL_y	: *2.105*	m
r_x: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x	: *5.11*	cm
r_y: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y	: *2.15*	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:

h : ***0.004*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N150, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,Sd}$** : *0.62* kN

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

$N_{c,Rd}$: *145.31* kN

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra. **A_{ef}** : *11.40* cm²

c: Fator de redução associado à flambagem,

c_{xx} : *0.91*

c_{yy} : *0.59*

c_{zz} : *1.00*

Sendo:

l_0: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$l_{0,xx}$: *0.47*

$l_{0,yy}$: *1.13*

$l_{0,zz}$: *0.09*

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *11.40* cm²

f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *260.00* MPa

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

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c): **N_e** : *233.80* kN

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

N_{ex} : *1327.40* kN

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

N_{ey} : *233.80* kN

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

N_{ez} : *37607.81* kN

Onde:

I_x: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.	I_x	*298.07*	cm4
I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	I_y	*52.50*	cm4
I_t: Momento de inércia à torção uniforme.	I_t	*150.13*	cm4
C_w: Constante de empenamento da seção.	C_w	*309.12*	cm6
E: Módulo de elasticidade.	**E**	*200000*	MPa
G: Módulo de elasticidade transversal.	**G**	*76923*	MPa
K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	K_xL_x	*2.105*	m
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	K_yL_y	*2.105*	m
K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.	K_zL_z	*2.105*	m
r_0: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.	r_0	*5.54*	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	*5.11*	cm
	r_y	*2.15*	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	*0.00*	mm
	y_0	*0.00*	mm

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

Deve satisfazer:

h : ***0.537*** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo $\mathbf{M_{Sd}}$ é obtido para o nó N127, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

$\mathbf{M_{Sd}}$: *5.05* kN·m

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

$\mathbf{M_{Rd}}$: *9.39* kN·m

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

$\mathbf{M_{Rd}}$: *9.39* kN·m

Onde:

$\mathbf{W_{ef}}$: 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.

$\mathbf{W_{ef}}$: *39.74* cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento.

$\mathbf{f_y}$: *260.00* MPa

g: Coeficiente de ponderação das resistências.

g : *1.1*

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$\mathbf{M_{Rd}}$: *9.39* kN·m

Onde:

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

$\mathbf{W_{c,ef}}$: *39.74* cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento.

$\mathbf{f_y}$: *260.00* MPa

g: Coeficiente de ponderação das resistências.

g : *1.1*

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

$^{(1)}\mathbf{c_{FLT}}$: *1.00*

Sendo:

l_0	:	0.25	
W_c: Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.	W_c	: 39.74	cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

M_e	:	164.32	kN·m

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.	C_b	: 1.00	
	N_{ey}	: 233.80	kN
I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.	I_y	: 52.50	cm4
I_t: Momento de inércia à torção uniforme.	I_t	: 150.13	cm4
E: Módulo de elasticidade.	**E**	: 200000	MPa
G: Módulo de elasticidade transversal.	**G**	: 76923	MPa
K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral.	K_yL_y	: 2.105	m

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

r_0	:	5.54	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	: 5.11	cm
	r_y	: 2.15	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	: 0.00	mm
	y_0	: 0.00	mm

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)

Deve satisfazer:

$$h < 0.001 \quad ✓$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga. — V_{Sd} : 0.01 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5\ V_{Sd}$. — V_{Sd} : 0.01 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por: — $^{(1)}V_{Rd}$: 16.17 kN

para — $1.08(EK_v/f_y)^{0.5}$: 66.98

para — h/t : 12.67

para — $1.4(EK_v/f_y)^{0.5}$: 86.82

Onde:

t: Espessura da alma (mm).	t	:	3.00
h: Largura da alma (mm).	h	:	38.00
f_y: Tensão de escoamento (MPa).	f_y	:	260.00
E: Módulo de elasticidade (MPa).	E	:	200000
g: Coeficiente de ponderação das resistências.	g	:	1.1
K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	K_v	:	5.00

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

Deve satisfazer:

h : ***0.026*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{V_{Sd}}$ produz-se no nó N127, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

$\mathbf{V_{Sd}}$: *3.06* kN

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

$\mathbf{V_{Sd}}$: *1.53* kN

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

$\mathbf{^{(1)}V_{Rd}}$: *58.71* kN

para $\mathbf{1.08(EK_V/f_y)^{0.5}}$: *66.98*

para $\mathbf{h/t}$: *46.00*

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

Onde:

t: Espessura da alma (mm).	**t**	:	*3.00*
h: Largura da alma (mm).	**h**	:	*138.00*
$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento (MPa).	$\mathbf{f_y}$	:	*260.00*
E: Módulo de elasticidade (MPa).	**E**	:	*200000*
g: Coeficiente de ponderação das resistências.	**g**	:	*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*

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis $\mathbf{M_{Sd}}$ e $\mathbf{V_{Sd}}$ são obtidos no nó N127, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

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:

h : ***0.289*** ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.	**M_{Sd}**	:	*5.05*	kN·m
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	**$M_{0,Rd}$**	:	*9.39*	kN·m
V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.	**V_{Sd}**	:	*3.06*	kN
V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	**V_{Rd}**	:	*117.43*	kN

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 N127, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

h : ***0.545*** ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	**$N_{c,Sd}$**	:	*0.57*	kN
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	**$M_{x,Sd}$**	:	*5.05*	kN·m
	$M_{y,Sd}$	:	*0.02*	kN·m
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	**$N_{c,Rd}$**	:	*145.31*	kN
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	**$M_{x,Rd}$**	:	*9.39*	kN·m
	$M_{y,Rd}$	:	*4.41*	kN·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)

Deve satisfazer:

h : ***0.008*** ✓

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{M_{t,Sd}}$ produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha.

$\mathbf{M_{t,Sd}}$: *0.04* kN·m

O momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{t,Rd}}$ é dado por:

$\mathbf{M_{t,Rd}}$: *5.86* kN·m

Onde:

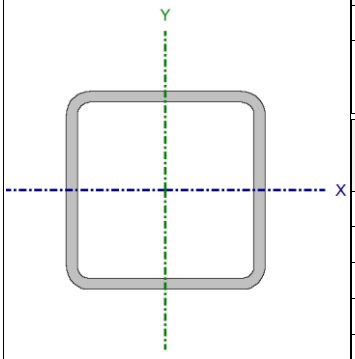
$\mathbf{W_t}$: módulo de resistência à torção — $\mathbf{W_t}$: *41.35* cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento. — $\mathbf{f_y}$: *260.00* MPa

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

Barra N110/N102

Perfil: # 50x4.25
Material: Aço (CF-26)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N110	N102	1.956	5.40	19.37	19.37	32.08

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.
b	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	1.956	1.956	1.956	1.956
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
b: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

<u>Valores máximos da relação comprimento-espessura</u> (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) : ***13*** ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento. **b** : *38.00* mm

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

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

É recomendado que o índice de esbeltez **l** das barras tracionadas não exceda o valor 300.

l_{xx} : ***103.3*** ✓

l_{yy} : ***103.3*** ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. K_xL_x : *1.956* m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. K_yL_y : *1.956* m

r_x: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. r_x : *1.89* 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:

h : ***0.012*** ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N102, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

$N_{t,Sd}$: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. $N_{t,Sd}$: *1.53* kN

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

$N_{t,Rd}$: *127.70* kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra. **A** : *5.40* cm²

f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *260.00* MPa

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

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

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

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

Deve satisfazer:

h : ***0.291*** ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N102, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga. **M_{Sd}** : *0.53* kN·m

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b): **M_{Rd}** : *1.83* kN·m

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

M_{Rd} : *1.83* kN·m

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}** : *7.75* cm³

f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *260.00* MPa

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

M_{Rd} : *1.83* kN·m

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando $s = c_{FLT} f_y$. — $W_{c,ef}$: 7.75 cm³

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : 260.00 MPa

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

c_{FLT}: Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$^{(1)}c_{FLT}$: 1.00

Sendo:

l_0 : 0.20

W_c: Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. — W_c : 7.75 cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

M_e : 49.66 kN·m

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão. — C_b : 1.00

N_{ey} : 99.94 kN

I_y: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. — I_y : 19.37 cm4

I_t: Momento de inércia à torção uniforme. — I_t : 32.08 cm4

E: Módulo de elasticidade. — E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal. — G : 76923 MPa

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral. — K_yL_y : 1.956 m

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

r_0 : 2.68 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 : 1.89 cm; r_y : 1.89 cm

x_0 : 0.00 mm

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

y_0 : *0.00* mm

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)

Deve satisfazer:

h : ***0.003*** ✓

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

V_{Sd} : *0.08* kN

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

V_{Sd} : *0.04* kN

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

$^{(1)}V_{Rd}$: *16.17* kN

para **$1.08(EK_V/f_y)^{0.5}$** : *66.98*

para **h/t** : *12.67*

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

Onde:

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

h: Largura da alma. **h** : *38.00* mm

f_y: Tensão de escoamento. **f_y** : *260.00* MPa

E: Módulo de elasticidade. **E** : *200000* MPa

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

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

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

Deve satisfazer:

h : ***0.019*** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N102, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga. — V_{Sd} : *0.61* kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5\ V_{Sd}$. — V_{Sd} : *0.31* kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por: — $^{(1)}V_{Rd}$: *16.17* kN

para — $1.08(EK_V/f_y)^{0.5}$: *66.98*

para — **h/t** : *12.67*

para — $1.4(EK_V/f_y)^{0.5}$: *86.82*

Onde:

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

h: Largura da alma. — **h** : *38.00* mm

f_y: Tensão de escoamento. — f_y : *260.00* MPa

E: Módulo de elasticidade. — **E** : *200000* MPa

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

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

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N102, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

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:

h : ***0.085*** ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : *0.53*	kN·m
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd}$: *1.83*	kN·m
V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : *0.61*	kN
V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : *32.33*	kN

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)

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

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N102, para a combinação 1.25·PP+1.25·Pesodatelha+1.5·Sobrecarga.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

h : ***0.340*** ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd}$: *1.53*	kN
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd}$: *0.53*	kN·m
	$M_{y,Sd}$: *0.07*	kN·m
N_{Rd}: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	N_{Rd} : *127.70*	kN
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd}$: *1.83*	kN·m
	$M_{y,Rd}$: *1.83*	kN·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

h : ***0.005*** ✓

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $\mathbf{M_{t,Sd}}$ produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+Pesodatelha.

$\mathbf{M_{t,Sd}}$: *0.01* kN·m

O momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{t,Rd}}$ é dado por:

$\mathbf{M_{t,Rd}}$: *1.86* kN·m

Onde:

$\mathbf{W_t}$: módulo de resistência à torção — $\mathbf{W_t}$: *13.15* cm³

$\mathbf{f_y}$: Tensão de escoamento. — $\mathbf{f_y}$: *260.00* MPa

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

3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, por meio das verificações realizadas, com base na NBR 14762 e na finalidade de uso da cobertura, mostram que:

- Os esforços solicitantes atuantes na estrutura da cobertura são inferiores aos esforços resistentes, ou seja, em nenhum ponto da estrutura o limite de escoamento do aço foi atingido ou ultrapassado;

- Os deslocamentos previstos para a estrutura, em serviço, são inferiores aos previstos pela norma vigente.

Desta forma, o dimensionamento dos elementos da cobertura atende aos requisitos de segurança no que se refere os estados limites último e de serviço. **Para maiores detalhes dos resultados, ver anexo A.**