

**MEMORIAL DE CÁLCULO 012614 / 1 - 0**

**ELEVADOR PARA CANTEIRO DE OBRAS  
CABINA GUIADA VERTICALMENTE**

**MODELO ECT 15.30 / 1500**

**FABRICANTE:** Tecnipar Maquinas e Metalurgia Ltda

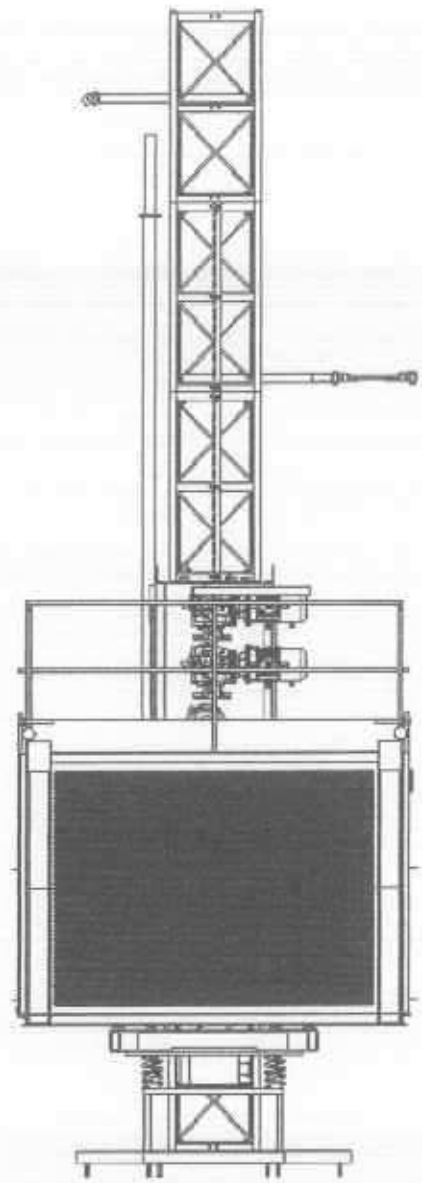
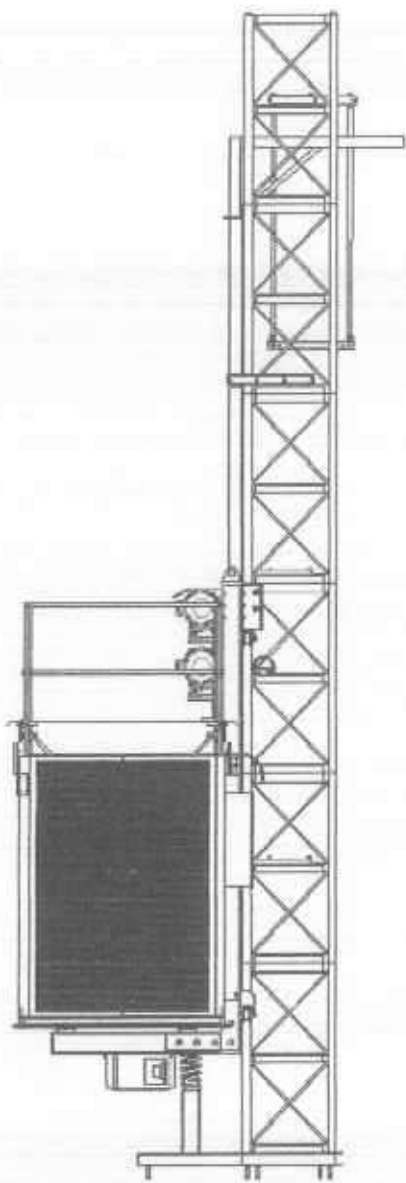
**ENDEREÇO:** Rua Silvio Bivar Schmitt n° 605  
95045-135 – Caxias do Sul - RS

**CNPJ:** 939989530002 - 52

Elaborado por:

Jose Sergio Menegaz  
Engº Mecânico  
CREA 23991





## 1. OBJETIVO

O presente memorial de cálculo objetiva demonstrar as condições de segurança do equipamento em análise, do ponto de vista de seu dimensionamento estrutural, baseando-se em projeto elaborado pelo fabricante e de acordo com as determinações da Norma NBR 16200 válida a partir de 19.05.2013.

## 2. DIMENSIONAMENTO DO ELEVADOR

### 2.1 Dados operacionais

O dimensionamento é efetuado segundo os dados operacionais dados por:

- Capacidade de carga na cabina.....15000 N
- Dimensões nominais da cabina.....1500 mm x 3000 mm
- Velocidade da cabina.....28 m / min
- Velocidade da cabina.....0,466 m / s
- Altura máxima de montagem da torre.....120 m

### 2.2 Cargas a serem consideradas ou fatores considerados sobre a carga nominal

- Coeficiente dinâmico para ação do vento.....1,20
- Fator de multiplicação para a carga em operação normal..... $(1,1 + 0,264 \cdot v)$
- Fator de multiplicação para a carga em processo de freagem de emergência.....2,5
- Força vertical durante o carregamento / descarregamento.....2000 N
- Força horizontal durante o carregamento / descarregamento.....500 N
- Pressão do vento com o elevador em serviço.....550 N / m<sup>2</sup>
- Pressão do vento com o elevador fora de serviço.....1100 N / m<sup>2</sup>
- Carga aplicada no teto.....3,0 kN
- Área de aplicação da carga no teto (menos favorável).....1,0 m<sup>2</sup>
- Carga aplicada na chapa de fechamento do teto.....1,2 kN
- Área de aplicação da carga na chapa do teto.....0,1m x 0,1m

### 2.3 Coeficientes de segurança empregados para os diversos casos de carga

Os coeficientes de segurança a serem considerados são aqueles dados na tabela 4 da Norma NBR 16200, uma vez que todos os componentes são executados em aço

Tabela 4 – Coeficientes de segurança para estruturas metálicas

Casos de carga	Coeficiente de segurança (S <sub>y</sub> )
A	1,5
B	1,33
C	1,25

## 2.4 Casos de carga a serem considerados

Os casos de carga a serem considerados são aqueles dados na tabela 6 da Norma NBR 16200.

Tabela 6 – Casos de carga

Número do caso de carga	Finalidade do caso de carga	Forças e efeitos de acordo com a 5.2.2.(X) <sup>a</sup>	Caso de carga <sup>b</sup>
I a	Utilização normal: peças estruturais incluindo a torre, amarrações da torre, estrutura básica e todas as demais partes estáticas da estrutura	(1) <sup>c</sup> , (3), (12.2.1), (13) (2) multiplicados por (7) (4) multiplicados por (7)	A
I b	Utilização normal: cabina	(12.2.1) (2) multiplicados por (7) (4) multiplicados por (7)	A
II a	Carregamento normal da cabina: torre	(1), (2), (3) (6), (12.2.1)	A
II b	Carregamento normal da cabina: cabina	(2), (6) (12.2.1)	A
III a	Forças excepcionais: torre	(1) <sup>c</sup> , (3), (12.2.1), (13) (2) multiplicados por (7) (5) multiplicados por (7)	C
III b	Forças excepcionais: cabina	(12.2.1) (2) multiplicados por (7) (5) multiplicados por (7)	C
IV a	Efeitos excepcionais do dispositivo de segurança: torre	(1) <sup>c</sup> , (3), (12.2.1), (13) (2) multiplicados por (8) (4) multiplicados por (8)	C
IV b	Efeitos excepcionais do dispositivo de segurança: cabina	(12.2.1) (2) multiplicados por (8) (4) multiplicados por (8)	C
IV c	Efeitos excepcionais do dispositivo de segurança: dispositivo de segurança	(2) multiplicados por (8) (4) multiplicados por (8)	C
V a	Utilização ocasional: leito da cabina para pessoas	(8) multiplicados por (7)	B
V b	Utilização excepcional: leito da cabina sem pessoas	(10)	C
VI	Posição fora de serviço ocasional: torre	(1), (3), (12.2.2), (13)	B
VII	Forças excepcionais dos para-choques Efeitos dos para-choques interiores na cabina	(2), (4), (15)	C
VIII	Estrutura de suporte separada para os assentos:		
	— normal	(3), (6) (12.2.1) (3), (12.2.2)	A B
— ocasional			
IX	Montagem (peças estruturais, incluindo a torre, amarrações da torre, estrutura de base e todas as demais partes estáticas da estrutura)	(1) <sup>c</sup> , (3), (12.2.2), (13) (2) multiplicados por (7) (4) multiplicados por (7)	B

<sup>a</sup> X refere-se a subseção pertinente de 5.2.2. Por exemplo, para caso de carga II b (carregamento normal da cabina: cabina), as seguintes forças e cargas devem ser consideradas: 5.2.2.2b, 5.2.2.6 e 5.2.2.12.2.1. Essas informações são, portanto, referenciadas na tabela de forma abreviada (2), (6), (12.2.1).

<sup>b</sup> Ver Tabelas 4 e 5.

<sup>c</sup> Se a cabina for guilada por um mecanismo articulado expansível, a carga morta do mecanismo articulado deve ser multiplicada pelo fator de impacto de acordo com 5.2.2.7.

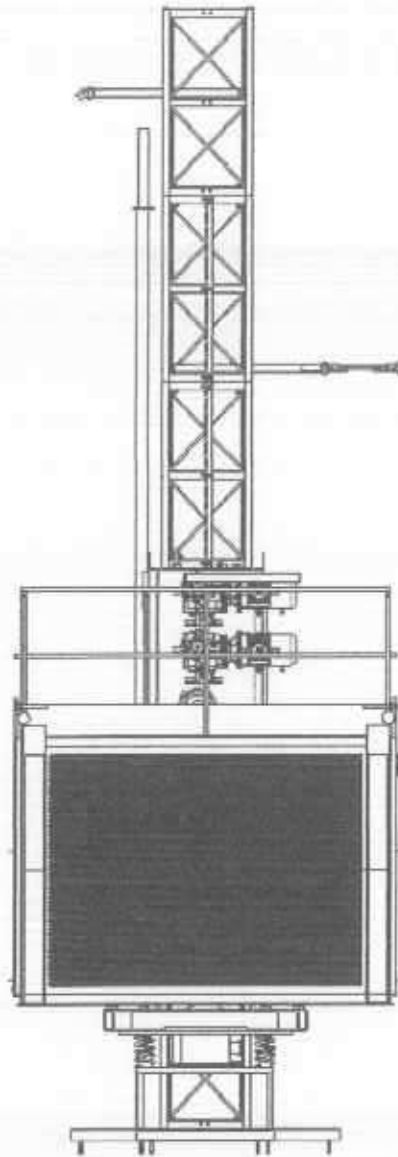
## 2.5 Coeficientes de segurança para forças de tombamento

Os coeficientes de segurança a serem considerados são aqueles dados na tabela 7 da Norma NBR 16200.

Tabela 7 – Coeficientes de segurança  $S_o$  para diversas forças de tombamento

Cargas ou forças	De acordo com 5.2.2.(X) <sup>a</sup>	Coefficiente de segurança $S_o$
Cargas mortas, estática	(1), (3)	1,1
Cargas mortas, móveis	(2)	1,5
Cargas nominais	(4), (5), (6)	1,5
Forças do vento em serviço	(12.2.1)	1,2
Forças do vento em posição fora de serviço	(12.2.2)	1,2
Forças do vento na montagem e desmontagem	(12.2.3)	1,2
Erros de montagem	(13)	1,0
NOTA $\Sigma$ Momentos de estabilização $\geq \Sigma$ Momentos de tombamento multiplicados por $S_o$		
<sup>a</sup> Ver NOTA da Tabela 6.		

### 3. PESOS PROPRIOS DOS COMPONENTES DO ELEVADOR



- Modulo de torre.....	844 N
- Modulo de cremalheira.....	223 N
- Cabina(com equipamento elétrico).....	8500 N
- Arcada.....	8200 N
- Ancoragem (unitário).....	525 N

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'S' and 'C' followed by a vertical line.

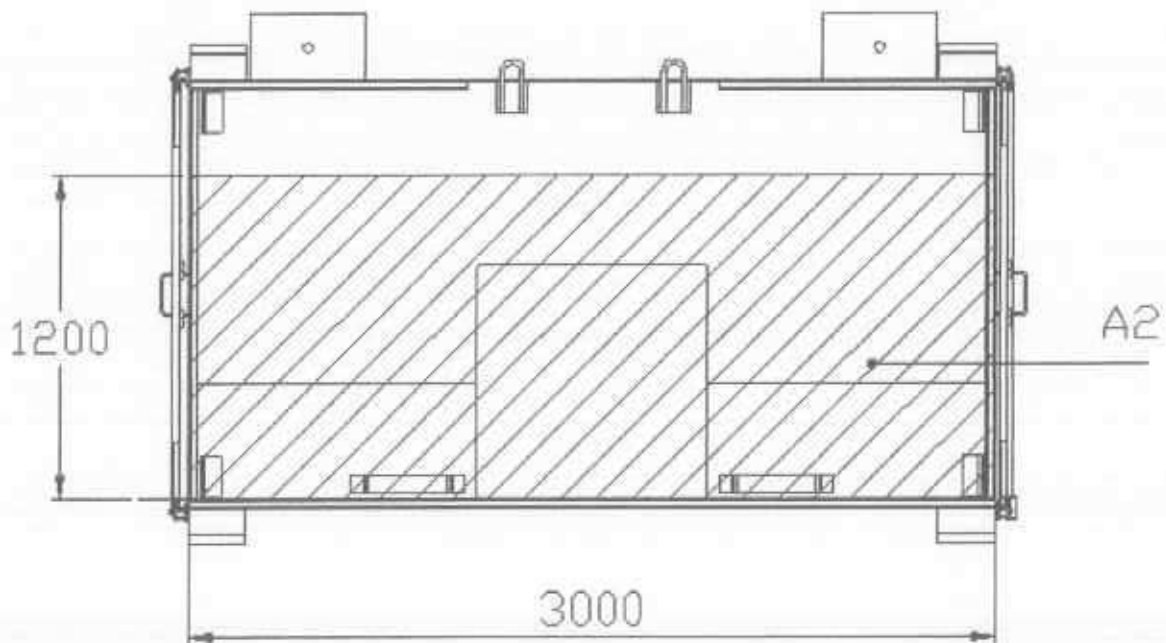
#### 4. CARGAS A SEREM CONSIDERADAS NA CABINA

##### 4.1 Carga nominal

A cabina possui capacidade de carga nominal igual a 15000 N, e área do piso igual a 4,50 m<sup>2</sup>. Nesta condição de acordo com a norma temos a carga por metro quadrado dada por:

$$F / 0,8 \cdot A = 15000 / 0,8 \cdot 4,5 = 4166 \text{ N / m}^2$$

O resultado supra indica que a carga nominal é maior do que 4000 N / m<sup>2</sup>. De acordo com o item 5.2.2.4 da norma, para esta condição a carga total deve ser distribuída sobre uma área A2 equivalente a 80% da área total, posicionada de modo a provocar os esforços menos favoráveis na cabina. A área a ser considerada então é igual a 3,6 m<sup>2</sup>. A cabina possui comprimento igual a 3,00 m, de modo que a profundidade desta área é igual a 1,2 m conforme esquema abaixo.



#### **4.2 Solicitações na cabina em operação normal**

A velocidade do elevador é igual a 0,466 / s. De acordo com o item 5.2.2.7 da norma, coeficiente de multiplicação é dado por:

$$q = (1,1 + 0,264 \cdot v)$$
$$q = (1,1 + 0,264 \cdot 0,466) \Rightarrow q = 1,2230$$

##### **4.2.1 Solicitação devido ao peso próprio da cabina**

Para um peso próprio igual 8500 N, a solicitação a ser considerada é dada por:

$$P_p = 8500 \cdot 1,2230 \Rightarrow P_p = 10395 \text{ N}$$

##### **4.2.2 Solicitação devido à carga nominal da cabina**

Para uma capacidade de carga igual a 15000 N, a solicitação a ser considerada é dada por:

$$Q = 15000 \cdot 1,2230 \Rightarrow Q = 18345 \text{ N}$$

#### **4.3 Solicitações na cabina durante um processo de freagem de emergência**

De acordo com o item 5.2.2.8 da norma, durante um processo de freagem de emergência, as cargas moveis devem ser multiplicadas por um fator igual a 2,5. Dessa forma temos:

##### **4.3.1 Solicitação devido ao peso próprio da cabina durante freagem de emergência**

Para um peso próprio igual 8500 N, a solicitação a ser considerada é dada por:

$$P_{pf} = 8500 \cdot 2,5 \Rightarrow P_{pf} = 21250 \text{ N}$$

##### **4.3.2 Solicitação devido à carga nominal durante freagem de emergência**

Para uma capacidade de carga igual a 15000 N, a solicitação a ser considerada é dada por:

$$Q_f = 15000 \cdot 2,5 \Rightarrow Q_f = 37500 \text{ N}$$

#### **4.4 Solicitações no teto da cabina**

O teto da cabina é previsto para operações de montagem, desmontagem e manutenção. Nesta condição, de acordo com o item 5.2.2.9 da norma, devem ser consideradas as solicitações conforme segue:

**4.4.1** Carga igual a **3,00 kN** posicionada na área quadrada menos favorável com 1 m<sup>2</sup>.

**4.4.2** Carga igual a **1,2 kN** aplicada em uma área de 0,1 m x 0,1 m.

#### **4.5 Solicitações no piso da cabina**

De acordo com o item 5.2.2.11 da norma, a solicitação a ser considerada no piso da cabina é igual a 1,5 kN ou 25% da carga nominal, aquela que for maior, mas não superior a 3,00 kN, aplicada na área menos favorável de 0,1 m x 0,1 m. Para uma carga nominal igual a 15,00 kN, o percentual de 25% é igual a 3,75 kN, adotando-se portanto o valor **3,00 kN**.

#### **4.6 Solicitações devido ao vento na cabina**

##### **4.6.1 Elevador em operação normal sujeito ao vento limite**

De acordo com o item 5.2.2.12 da norma, as paredes da cabina devem ser consideradas como sólidas, aplicando-se o coeficiente aerodinâmico  $c = 1,2$ . A pressão do vento mínima a ser aplicada é igual a 550 N / m<sup>2</sup>, correspondente a uma velocidade do vento igual a 30 m / s.

A cabina possui uma área sujeita à ação do vento igual a 6,79 m<sup>2</sup>, de modo que a força total é igual a 4481 N. A altura da cabina exposta ao vento é igual a 2,16 m, de modo que a carga distribuída devido ao vento é igual a **20,74 N / cm**.

##### **4.6.2 Elevador fora de operação sujeito ao vento máximo**

Para o elevador fora de operação, a pressão depende da altura da cabina acima do piso e da região do país onde é montado. Para fins de dimensionamento dos equipamentos, é considerada uma pressão de vento igual a 1100 N / m<sup>2</sup>, correspondente a uma velocidade igual a 150 Km / h ou 41,66 m / s e fator aerodinâmico 1,2.

A cabina possui uma área sujeita à ação do vento igual a 6,79 m<sup>2</sup>, de modo que a força total é igual a 8963 N. A altura da ação do vento na cabina é igual a 2,16 m, de modo que a carga distribuída devido ao vento é igual a **41,49 N / cm**.

#### **4.7 Critérios de cálculo**

##### **4.7.1 Dimensionamento da cabina**

As solicitações na cabina são determinadas segundo os critérios da norma, para condições de operação normal, cabina sujeita a um processo de freagem de emergência e cabina fora de operação sujeita ao vento máximo. Cada condição determina os esforços nos roletes suporte da cabina. A pior condição é utilizada para cálculo dos elementos estruturais da cabina.

##### **4.7.2 Dimensionamento da torre e ancoragens**

Para definição das solicitações na torre e ancoragens são definidas duas situações básicas:

###### **4.7.2.1 Solicitação máxima entre as ancoragens zero e 4**

Nesta condição são calculadas as tensões de compressão nas ancoragens zero à 4 devido ao peso próprio da torre e da cabina com carga, bem como os momentos fletores devido à cabina e carga e ação do vento. Os momentos são definidos a partir da equação dos três momentos, para cargas concentradas (reações nos roletes) e para carga distribuída (ação do vento). Na equação dos três momentos a ancoragem zero é considerada como engastada e as demais consideradas como simplesmente apoiadas e o espaçamento entre ancoragens igual a 6000 mm.

#### 4.7.2.1 Solicitação máxima entre as ancoragens 1 e 5

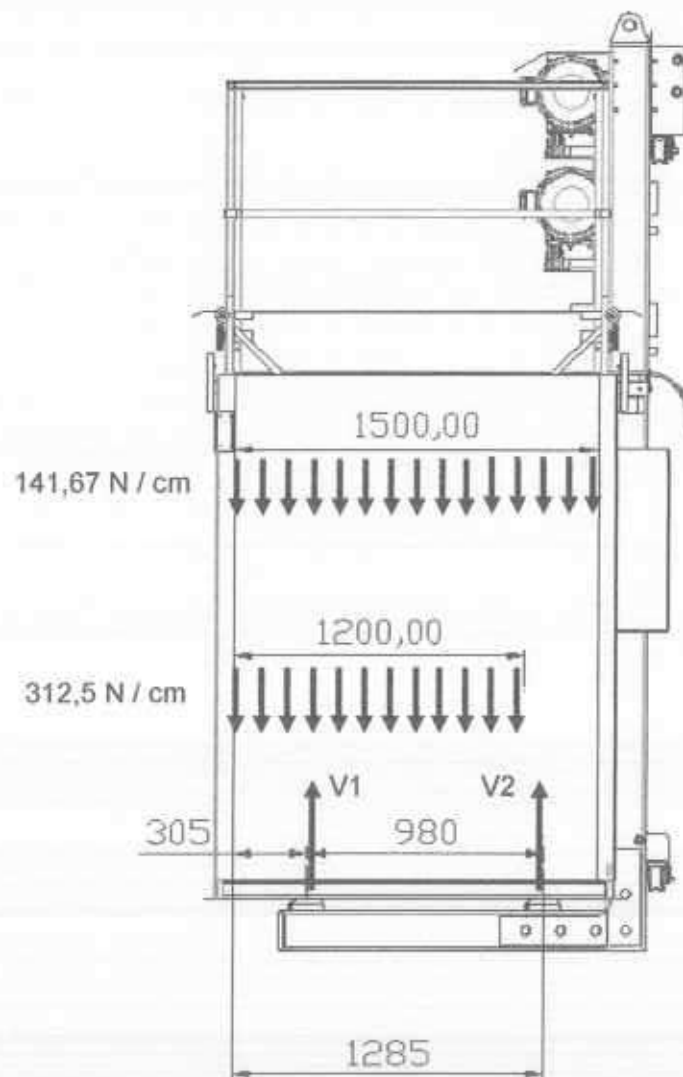
Nesta condição são calculadas as tensões de compressão nas ancoragens 1 à 5 devido ao peso próprio da torre e da cabina com carga, bem como os momentos fletores devido à cabina e carga e ação do vento. Os momentos são definidos a partir da equação dos três momentos, para cargas concentradas (reações nos roletes) e para carga distribuída (ação do vento). Na equação dos três momentos todas as ancoragens são considerada como simplesmente apoiadas e o espaçamento entre ancoragens igual a 6000 mm.



## 5. VERIFICAÇÃO DA CABINA

### 5.1 Forças e reações nos pontos de apoio

De acordo com os dados do item 4, a maior solicitação na cabina ocorre durante um processo de freagem de emergência. Nesta condição a cabina está sujeita ao carregamento devido ao peso próprio conforme item 4.3.1 e à carga de acordo com o item 4.3.2. O peso próprio da cabina a ser considerado é igual a 21250 N o qual atua num comprimento igual a 150 cm, o que determina uma carga  $q_p$  distribuída igual a 141,67 N / cm. A carga na cabina a ser considerada é igual a 37500 N, e se distribui numa largura igual a 120 cm, o que determina uma carga  $q_c$  distribuída igual a 312,5 N / cm. A cabina se apoia sobre quatro células de carga e determinam as reações V1 e V2 conforme esquema abaixo:



**5.2 Determinação das reações V1 e V2**Somatório das forças segundo o eixo Y:

$$\begin{aligned} (q_p \cdot 150) + (q_c \cdot 120) - V_1 - V_2 &= 0 \\ (141,67 \cdot 150) + (312,5 \cdot 120) - V_1 - V_2 &= 0 \\ (21250) + (37500) - V_1 - V_2 &= 0 \\ V_1 + V_2 &= 58750 \quad \text{(equação 1)} \end{aligned}$$

Somatório dos momentos em relação a V2

$$\begin{aligned} (q_p \cdot 128,5 \cdot 53,5) - (q_p \cdot 21,5 \cdot 10,75) + (q_c \cdot 120 \cdot 68,5) - (V_1 \cdot 98) &= 0 \\ (141,67 \cdot 128,5 \cdot 53,5) - (141,67 \cdot 21,5 \cdot 10,75) + (312,5 \cdot 120 \cdot 68,5) - (V_1 \cdot 98) &= 0 \\ (973946) - (32743) + (2658750) - (V_1 \cdot 98) &= 0 \\ 3509953 - (V_1 \cdot 98) &= 0 \quad \Rightarrow \quad V_1 = 35816 \text{ N} \end{aligned}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 &= 58750 \\ 35816 + V_2 &= 58750 \quad \Rightarrow \quad V_2 = 22934 \text{ N} \end{aligned}$$

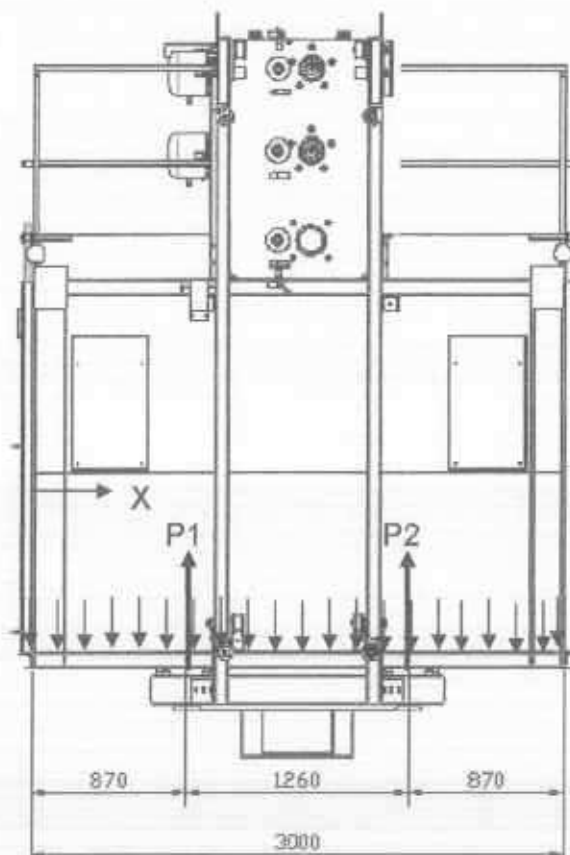
As reações verticais atuam sobre duas células de carga simultaneamente, de modo que a máxima reação sobre uma única célula é dado pela metade da reação V1, ou seja, 17908 N.



## 5.2 Forças e reações nas laterais da cabina

Os principais elementos resistentes ao momento fletor na cabina são as duas laterais executadas em tubos e perfilados de aço carbono, com características geométricas conforme esquemas abaixo. As laterais são solicitadas ao momento fletor com valor máximo ocorrendo no trecho em balanço em relação aos perfis de apoio da arcada. Os momentos fletores são diferentes nas duas laterais em função da distribuição não uniforme da carga no piso da cabina. A lateral externa é mais solicitada em função da posição da carga enquanto que a lateral interna é mais solicitada em função da maior distância aos pontos de apoio, o que define um maior momento fletor. Em função do exposto, pode-se considerar a carga como igualmente distribuída no piso, e o momento fletor referido a uma distância média entre os pontos de apoio, resultando em momentos fletores iguais nas duas laterais. De acordo com os dados do item 4, a maior solicitação na cabina ocorre durante um processo de freagem de emergência, onde a carga total a ser considerada é igual a 37500 N. Na mesma condição, o peso próprio da cabina é igual a 21250 N, o que define uma carga total distribuída ao longo do comprimento igual a 58750 N. Para um comprimento de cabina igual a 3000 mm, a carga distribuída é dada por:

$$q_c = 58750 / 300 \quad \Rightarrow \quad q_c = 195,83 \text{ N / cm}$$



**Somatorio das forças segundo o eixo Y:**

$$\begin{aligned}
 P1 + P2 - qc \cdot 300 &= 0 \\
 P1 + P2 - 195,83 \cdot 300 &= 0 \\
 P1 + P2 &= 58750 \quad \text{(equação 1)}
 \end{aligned}$$

**Somatorio dos momentos em relação a P1:**

$$\begin{aligned}
 (-qc \cdot 87)(87/2) + (qc \cdot 126)(126/2) - (P2 \cdot 126) + (qc \cdot 87 \cdot 169,5) &= 0 \\
 (-qc \cdot 87^2/2) + (qc \cdot 126^2/2) - (P2 \cdot 126) + (qc \cdot 14746,5) &= 0 \\
 (-195,83 \cdot 87^2/2) + (195,83 \cdot 126^2/2) - (P2 \cdot 126) + (195,83 \cdot 14746,5) &= 0 \\
 (-741118) + (1554498) - (P2 \cdot 126) + 2887807 &= 0 \\
 -P2 \cdot 126 + 3701187 &= 0 \\
 P2 &= 29375 \text{ Kgf}
 \end{aligned}$$

**Substituindo na equação 1 temos::**

$$P1 + 29375 = 58750 \quad \Rightarrow \quad P1 = 29375 \text{ Kgf}$$

**53 Momentos fletores atuantes na cabina**

Os momentos fletores são dados conforme segue:

**Para  $0 \leq X \leq 870$** 

$$\begin{aligned}
 M &= -(qc \cdot X)(X/2) \\
 M &= -(195,83 \cdot X)(X/2) \\
 M &= -97,915 \cdot X^2
 \end{aligned}$$

**Se  $X = 0$** 

$$M = -97,915 \cdot X^2 \quad \Rightarrow \quad M = 0$$

**Se  $X = 870$** 

$$M = -97,915 \cdot 87^2 \quad \Rightarrow \quad M = -741109 \text{ Ncm}$$

**Para  $870 \leq X \leq 2130$** 

$$\begin{aligned}
 M &= -(qc \cdot 87)(X - 87/2) + P1(X - 87) - qc(X - 87)(X - 87)/2 \\
 M &= -(qc \cdot 87)(X - 43,5) + P1(X - 87) - qc(X - 87)^2/2 \\
 M &= -(195,83 \cdot 87)(X - 43,5) + 29375(X - 87) - 195,83(X - 87)^2/2 \\
 M &= -17037(X - 43,5) + 29375(X - 87) - 97,915(X - 87)^2
 \end{aligned}$$

**Se  $X = 870$** 

$$\begin{aligned}
 M &= -17037(87 - 43,5) + 29375(87 - 87) - 97,915(87 - 87)^2 \\
 M &= -741109 \text{ Ncm}
 \end{aligned}$$

**Se  $X = 1500$  (centro da cabina)**

$$\begin{aligned}
 M &= -17037(150 - 43,5) + 29375(150 - 87) - 97,915(150 - 87)^2 \\
 M &= -1814440 + 1850625 - 388624 \\
 M &= -352439 \text{ Ncm}
 \end{aligned}$$

Se  $X = 2130$

$$M = -17037 (213 - 43,5) + 29375 (213 - 87) - 97,915 (213 - 87)^2$$

$$M = -2887771 + 3701250 - 1554498$$

$$M = -741109 \text{ Ncm}$$

Para  $2130 \leq X \leq 3000$

$$M = - (qc \cdot 87) (X - 87 / 2) + P1 (X - 87) - (qc \cdot 126) (X - 150) + P2 (X - 213) - qc (X - 213) (X - 213) / 2$$

$$M = - (qc \cdot 87) (X - 43,5) + P1 (X - 87) - (qc \cdot 126) (X - 150) + P2 (X - 213) - qc (X - 213)^2 / 2$$

$$M = - (195,83 \cdot 87) (X - 43,5) + 29375 (X - 87) - (195,83 \cdot 126) (X - 150) + 29735 (X - 213) - 195,83 (X - 213)^2 / 2$$

$$M = -17037 (X - 43,5) + 29375 (X - 87) - 24675 (X - 150) + 29375 (X - 213) - 97,915 (X - 213)^2$$

Se  $X = 3000$

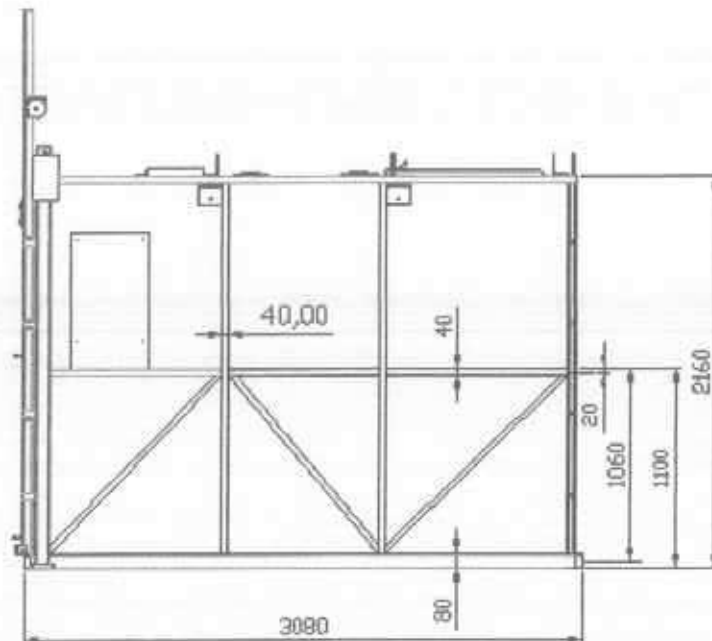
$$M = -17037 (300 - 43,5) + 29375 (300 - 87) - 24675 (300 - 150) + 29375 (300 - 213) - 97,915 (300 - 213)^2$$

$$M = -4369990 + 6256875 - 3701250 + 2555625 - 741118$$

$$M = 0$$

**Conforme se verifica, o momento fletor máximo atuante na cabina do elevador é igual a 741109 Ncm**

#### 5.4 Características geométricas das laterais



O perfil tubular superior não pode ser considerado como integrante de uma viga composta em função da ausência de barras que caracterizem uma treliça. Dessa forma a seção transversal resistente é formada por um tubo quadrado 40 x 40 x 1,50 mm e de um tubo retangular 40 x 80 x 2,00 mm.

##### 5.4.1 Tubo quadrado 40 x 40 x 1,50

##### 5.4.1.1 Área da seção transversal do tubo quadrado

A área da seção transversal de cada tubo é dada por:

$$A = (4 \cdot 4) - (3,7 \cdot 3,7)$$

$$A = 16 - 13,69 \quad \Rightarrow \quad A = 2,31 \text{ cm}^2$$

##### 5.4.1.2 Momento de inércia do tubo quadrado

O momento de inércia do tubo quadrado é dado conforme segue:

$$J = (B \cdot H^3 / 12) - (b \cdot h^3 / 12)$$

$$J = (4 \cdot 4^3 / 12) - (3,7 \cdot 3,7^3 / 12)$$

$$J = 21,33 - 15,61 \quad \Rightarrow \quad J = 5,72 \text{ cm}^4$$

##### 5.4.2 Tubo retangular

##### 5.4.2.1 Área da seção transversal do tubo retangular

A área da seção transversal do tubo é dada por:

$$A = (4 \cdot 8) - (3,6 \cdot 7,6)$$

$$A = 32 - 27,36 \quad \Rightarrow \quad A = 4,64 \text{ cm}^2$$



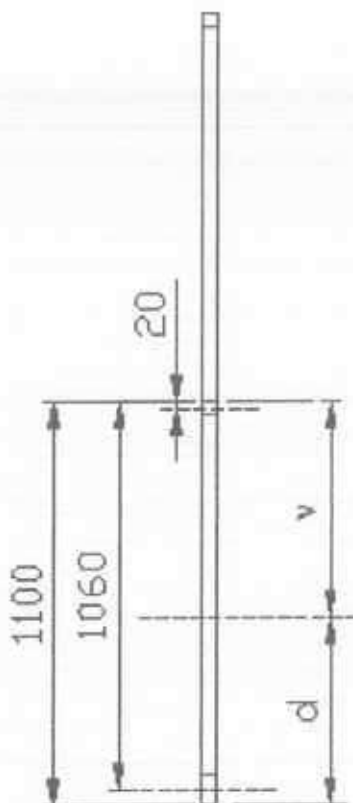
**5.4.2.2 Momento de inércia do tubo retangular**

O momento de inércia do tubo retangular é dado conforme segue :

$$J = (B \cdot H^3 / 12) - (b \cdot h^3 / 12)$$

$$J = (4 \cdot 8^3 / 12) - (3,6 \cdot 7,6^3 / 12)$$

$$J = 170,66 - 131,69 \quad \Rightarrow \quad J = 38,97 \text{ cm}^4$$

**5.4.3 Posição da linha neutra na viga composta da lateral da cabina**

A posição da linha neutra é dada por:

$$v = y_s = \Sigma A_i \cdot y_i / A$$

$$v = y_s = (2,31 \cdot 2) + (4,64 \cdot 106) / (2,31 + 4,64)$$

$$v = y_s = (4,62) + (491,84) / (6,95) \quad \Rightarrow \quad v = 71,43 \text{ cm}$$

**5.4.4 Momento de inércia da viga composta da lateral da cabina**

O momento de inércia da lateral interna e estrutura do piso é dado pelo Teorema de Steiner conforme segue :

$$J = \Sigma J_o + A \cdot d^2$$

$$J = (5,72 + 2,31 \cdot 69,43^2) + (38,97 + 4,64 \cdot 34,57^2)$$

$$J = (11141) + (5584) \quad \Rightarrow \quad J = 16725 \text{ cm}^4$$

#### 5.4.5 Posição da linha neutra na lateral da cabina



A posição da linha neutra é dada por:

$$v = y_s = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{A}$$

$$v = y_s = \frac{(2,31 \cdot 2) + (6,95 \cdot 177,4)}{2,31 + 6,95}$$

$$v = y_s = \frac{(4,62) + (1232,93)}{9,26} \Rightarrow v = 133,64 \text{ cm}$$

#### 5.4.6 Momento de inércia da lateral da cabina

O momento de inércia da lateral da cabina é dado pelo Teorema de Steiner conforme segue:

$$J = \sum J_o + A \cdot d^2$$

$$J = (5,72 + 2,31 \cdot 131,64^2) + (16725 + 6,95 \cdot 43,76^2)$$

$$J = (40035) + (30033) \Rightarrow J = 70070 \text{ cm}^4$$



### 5.5 Tensões desenvolvidas nos elementos resistentes

Considerando a favor da segurança que somente as laterais sustentem o momento fletor (desconsiderando os perfis do piso, cuja influencia é muito pequena), temos:

$$\sigma = M \cdot y_{\max} / J$$

$$\sigma = 741109 \cdot 133,64 / (2 \cdot 70070) \Rightarrow \sigma = 706 \text{ N / cm}^2$$

#### 5.5.1 Coeficiente de segurança nas laterais

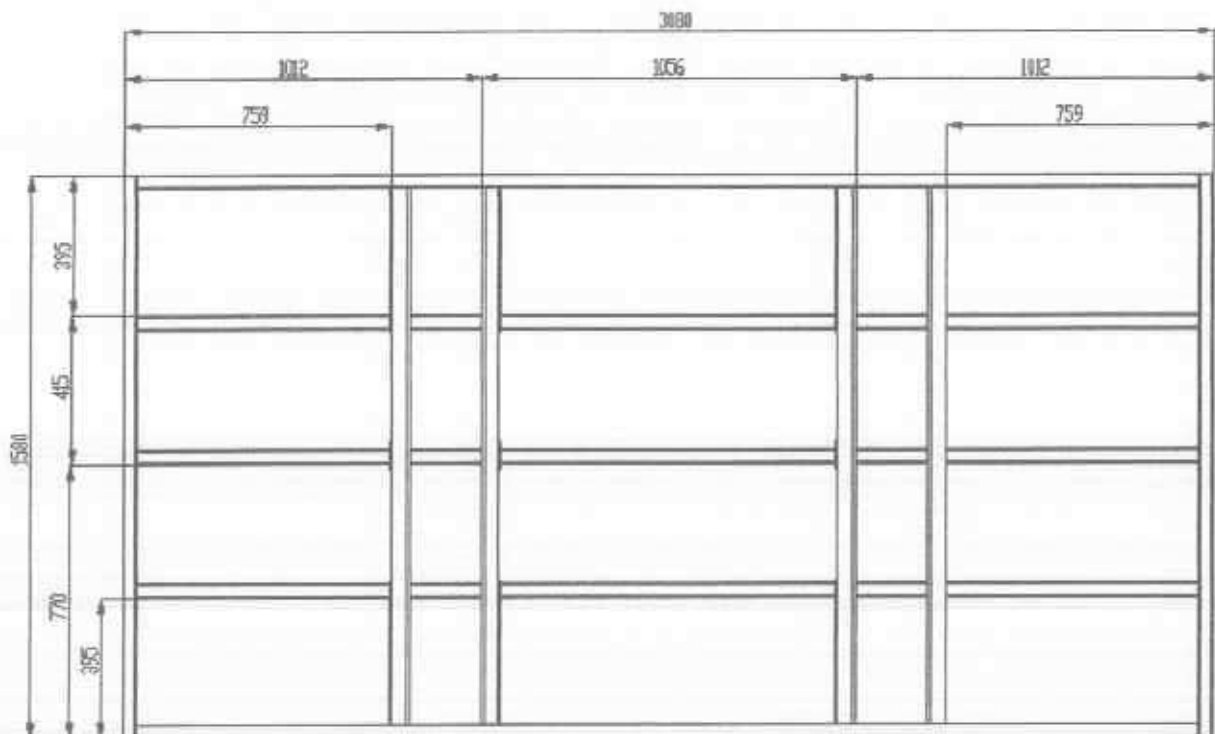
O maior valor da tensão na lateral externa é igual a 706 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 706 \Rightarrow S_y = 29$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.

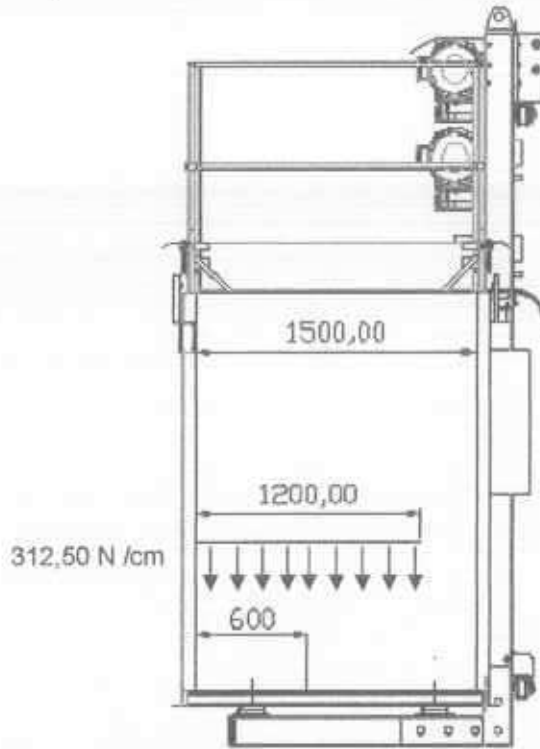
### 5.6 Verificação do piso da cabina

O piso da cabina é executado em chapa de aluminio antiderrapante espessura 3,17 mm correspondente à norma ASTM A 36, com tensão de escoamento mínima igual à 2500 Kgf / cm<sup>2</sup>. A estrutura suporte do piso da cabina é executada em tubos retangulares 80 x 40 x 2,00 mm de espessura e de acordo com o esquema abaixo:

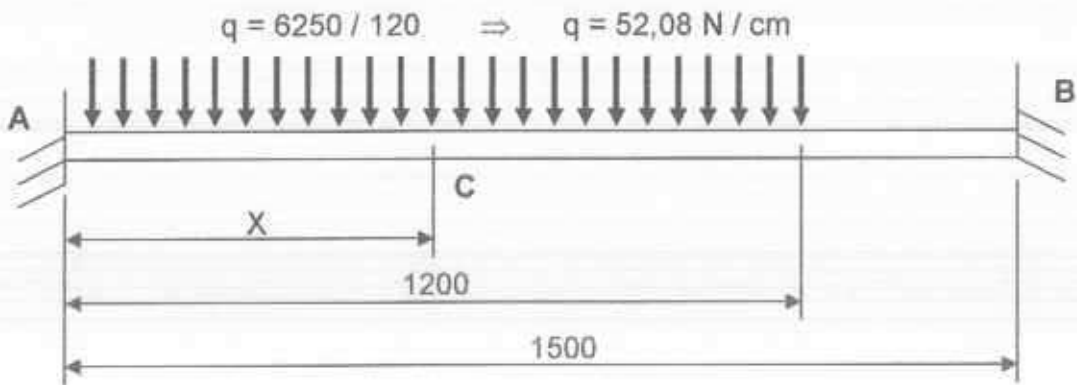


**5.6.1 Cargas e momento transversal no piso da cabina**

Conforme dados do item 4, a carga a ser considerada na cabina é igual a 37500 N e se distribui numa largura igual a 1200 mm, definindo uma carga distribuída igual a 312,5 N / cm, conforme esquema abaixo:



Os perfis tubulares transversais são engastados aos tubos laterais da cabina. Considerando que a carga total se distribua sobre os seis perfis transversais, cada qual estará sujeito a uma força igual a 6250 N. Os tubos transversais em condições menos favoráveis são os das extremidades, visto que os intermediários são sustentados também pelos tubos longitudinais, em ambos os lados, além de parte deles se situar sobre a arcada. Os tubos das extremidades são sustentados em um único lado pelos tubos longitudinais, apresentando uma configuração conforme abaixo:



Desconsiderando as forças verticais resistentes devido aos tubos longitudinais, os momentos fletores são dados por:

#### 5.6.1.1 Momento fletor em A

$$MA = - (q / l^2) ((l^2 \cdot a^2 / 2) - (2 \cdot l \cdot a^3 / 3) + (a^4 / 4))$$

$$MA = - (52,08 / 150^2) ((150^2 \cdot 120^2 / 2) - (2 \cdot 150 \cdot 120^3 / 3) + (120^4 / 4))$$

$$MA = - (52,08 / 150^2) ((162000000) - (172800000) + (51840000))$$

$$MA = - (52,08 / 150^2) \cdot (41040000) \Rightarrow MA = - 94994 \text{ Ncm}$$

#### 5.6.1.2 Momento fletor em B

$$MB = - (q / l^2) ((l \cdot a^3 / 3) - (a^4 / 4))$$

$$MB = - (52,08 / 150^2) ((150 \cdot 120^3 / 3) - (120^4 / 4))$$

$$MB = - (52,08 / 150^2) ((86400000) - (51840000))$$

$$MB = - (52,08 / 150^2) ((86400000) - (51840000))$$

$$MB = - (52,08 / 150^2) (34560000) \Rightarrow MB = - 79995 \text{ Ncm}$$

#### 5.6.1.3 Momento fletor em C

$$MC = Mox + MA ((1 - (X / l)) + MB (X / l))$$

O momento fletor máximo  $Mox$  ocorre para  $X = a ((1 - (a / 2 \cdot l)))$ , ou seja:

$$X = 120 ((1 - (120 / 2 \cdot 150))) \Rightarrow X = 72 \text{ cm}$$

$$Mox = (Q / 2) \cdot a \cdot ((1 - (a / 2 \cdot l)))^3$$

$$Mox = (6250 / 2) \cdot 120 \cdot ((1 - (120 / 2 \cdot 150)))^3$$

$$Mox = (3125) \cdot 120 \cdot (1 - 0,4)^3 \Rightarrow Mox = 81000 \text{ Ncm}$$

$$MC = 81000 - 94994 (1 - (72 / 150)) - 79995 (72 / 150)$$

$$MC = 81000 - 94994 (1 - 0,48) - 79995 (0,48)$$

$$MC = 81000 - 49397 - 38398 \Rightarrow MC = - 6795 \text{ Ncm}$$

#### 5.6.1.4 Tensão de flexão transversal na estrutura do piso

De acordo com o item 5.6.1, o momento fletor máximo no tubo transversal é igual a 94994 Ncm, e a tensão de flexão é dada por:

$$\sigma = M \cdot y_{max} / J$$

$$\sigma = 94994 \cdot 4 / 38,97 \Rightarrow \sigma = 9750 \text{ N / cm}^2$$

#### 5.6.1.4.1 Coeficiente de segurança na estrutura do piso

O maior valor da tensão na estrutura do piso é igual a 9750 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$Sy = 21000 / 9750 \Rightarrow Sy = 2,15$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.

### 5.6.2 Verificação da chapa de piso

A carga total na cabina, igual a 37500 N atua num comprimento igual a 3000 mm e largura 1500 mm. O peso próprio da chapa correspondente à área sob ação da carga é igual à 360 N, de modo que a pressão devido à carga e peso próprio é dada por:

$$p = (37500 + 360) / (3000 \cdot 1500) \Rightarrow p = 0,0128 \text{ N / cm}^2$$

A configuração que se apresenta permite considerar a área sob ação da carga como igual à uma placa engastada em seus quatro lados, com cálculo baseado no procedimento de Marcus (Teoria de Los tejidos elásticos y su aplicacion al calculo de placas flexibles – Berlin 1932).

#### 5.6.2.1 Tensão de cisalhamento na chapa de piso

A área do perímetro sob ação da carga é dada por:

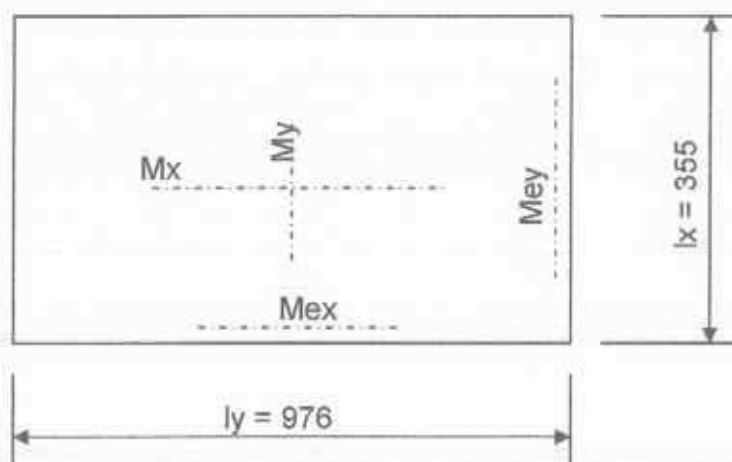
$$A = 2 \cdot (35,5 + 97,6) \cdot 0,3 \Rightarrow A = 79,86 \text{ cm}^2$$

A tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = F / A$$

$$\tau = 0,841 \cdot 35,5 \cdot 97,6 / 79,86 \Rightarrow \tau = 37 \text{ N / cm}^2$$

#### 5.6.2.2 Momentos fletores na chapa de piso



Os momentos fletores na placa se reduzem à forma  $M_i = K \cdot m_i$ , onde  $m_i$  depende somente do tipo de apoio e da relação  $\varepsilon = l_y / l_x$ . Temos então:

$$K = p \cdot l_y \cdot l_x$$

$$K = 0,841 \cdot 97,6 \cdot 35,5 \Rightarrow K = 2914 \text{ N}$$

$$\varepsilon = l_y / l_x$$

$$\varepsilon = 97,6 / 35,5 \Rightarrow \varepsilon = 2,74$$

Como o valor de  $\epsilon$ , é superior a 2, o momento fletor é dado por:

$$M = P \cdot l / 8$$

$$M = 2914 \cdot 35,5 / 8 \Rightarrow M = 12930 \text{ Ncm}$$

#### 5.6.2.3 Tensão de flexão na chapa de piso

A chapa possui espessura igual à 3,00 mm (0,30 cm), e no comprimento 976 mm o valor do momento de inércia é dado por:

$$J = b \cdot h^3 / 12$$

$$J = 97,6 \cdot 0,30^3 / 12 \Rightarrow J = 0,22 \text{ cm}^4$$

A tensão de flexão na chapa de piso é dada por:

$$\sigma = M \cdot Y_{\max} / J$$

$$\sigma = 12930 \cdot 0,15 / 0,22 \Rightarrow \sigma = 8815 \text{ N / cm}^2$$

#### 5.6.2.4 Tensão de comparação na chapa de piso

A tensão de comparação na chapa, para tensões de cisalhamento e tração ocorrendo simultaneamente é dada por:

$$\sigma_{CP} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{CP} = (8815^2 + 3 \cdot 37^2)^{0,5} \Rightarrow \sigma_{CP} = 8815 \text{ N / cm}^2$$

#### 5.6.2.4.1 Coefficiente de segurança na chapa de piso

O valor da tensão na chapa do piso é igual a 8815 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 8815 \Rightarrow S_y = 2,83$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.

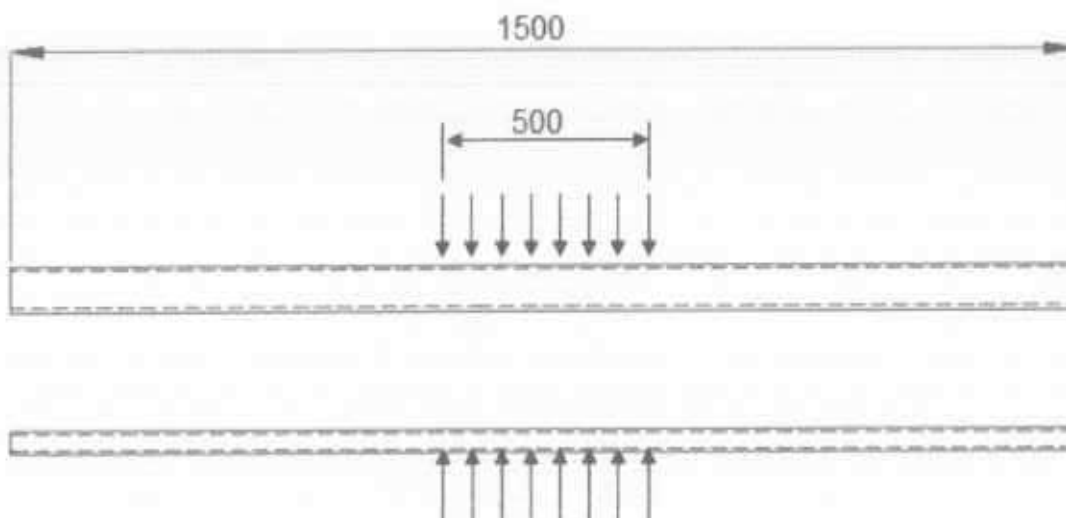


### 5.6.3 Verificação do piso durante carregamento / descarregamento

As cargas a serem aplicadas durante o carregamento / descarregamento da cabina, de acordo com o item 5.2.2.6 da norma são dadas por:

- Força vertical ..... 2000 N
- Força horizontal ..... 500 N

Ambas as cargas devem ser aplicadas em um terço da largura na entrada da cabina, o que corresponde à configuração conforme abaixo:



#### 5.6.3.1 Momento fletor vertical no perfil retangular

A carga vertical é igual a 2000 N, o que leva a uma carga distribuída na distancia 500 mm igual a 40 N / cm. O momento fletor nos pontos de ancoragem (extremidades) é dado por:

$$\begin{aligned}
 M_v &= (q / l^2) \left( (l^2 (3 \cdot a^2 / 2) - ((2 \cdot l) (7 a^3 / 3)) + (15 \cdot a^4 / 4) \right) \\
 M_v &= (40 / 150^2) \left( (150^2 (3 \cdot 50^2 / 2)) - ((2 \cdot 150) (7 \cdot 50^3 / 3)) + (15 \cdot 50^4 / 4) \right) \\
 M_v &= (0,0017777) \left( (84375000) - (87500000) + (23437500) \right) \\
 M_v &= (0,0017777) (20312500) \quad \Rightarrow \quad \mathbf{M_v = 36110 \text{ Ncm}}
 \end{aligned}$$

#### 5.6.3.2 Momento fletor horizontal no perfil U

A carga horizontal é igual a 500 N, o que leva a uma carga distribuída na distancia 500 mm igual a 10 N / cm. O momento fletor nos pontos de ancoragem (extremidades) é dado por:

$$\begin{aligned}
 M_h &= (q / l^2) \left( (l^2 (3 \cdot a^2 / 2) - ((2 \cdot l) (7 a^3 / 3)) + (15 \cdot a^4 / 4) \right) \\
 M_h &= (10 / 150^2) \left( (150^2 (3 \cdot 50^2 / 2)) - ((2 \cdot 150) (7 \cdot 50^3 / 3)) + (15 \cdot 50^4 / 4) \right) \\
 M_h &= (0,0004444) \left( (84375000) - (87500000) + (23437500) \right) \\
 M_h &= (0,0004444) (20312500) \quad \Rightarrow \quad \mathbf{M_h = 10416 \text{ Ncm}}
 \end{aligned}$$

**5.6.3.3 Tensão de flexão vertical**

A tensão de flexão vertical no perfil tubular é dada por:

$$\sigma_v = M_v \cdot Y_{\max} / J_x$$

$$\sigma_v = 36110 \cdot 4 / 38,97 \quad \Rightarrow \quad \sigma_v = 3706 \text{ N / cm}^2$$

**5.6.3.4 Tensão de flexão horizontal**

A tensão de flexão horizontal no perfil U é dada por:

$$\sigma_h = M_v \cdot Y_{\max} / J_y$$

$$\sigma_h = 10416 \cdot 2 / 13,11 \quad \Rightarrow \quad \sigma_h = 1589 \text{ N / cm}^2$$

**5.6.3.5 Tensão total no perfil U**

A tensão total no perfil U é dada pela soma das tensões vertical e horizontal, ou seja:

$$\sigma = \sigma_v + \sigma_h$$

$$\sigma = 3706 + 1589 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 5295 \text{ N / cm}^2$$

**5.6.3.5.1 Coeficiente de segurança no perfil da porta**

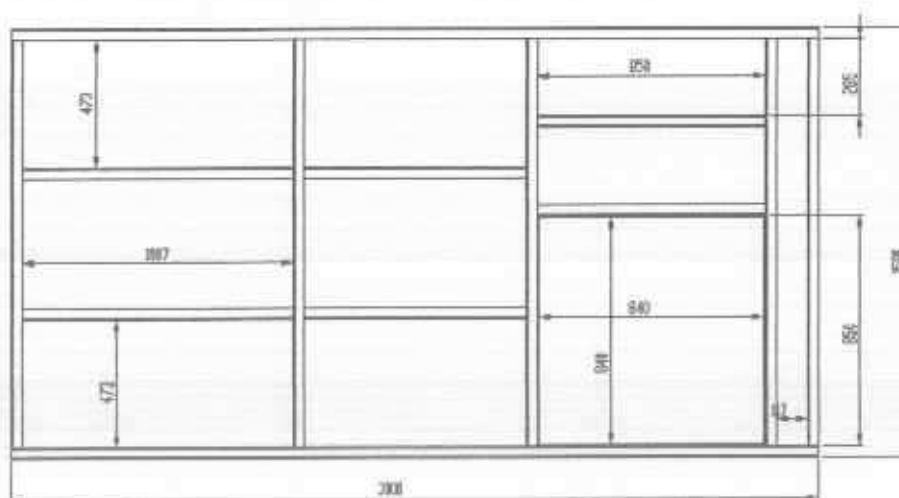
O valor da tensão no perfil da porta é igual a 5295 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 5295 \quad \Rightarrow \quad S_y = 3,96$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1, 5.

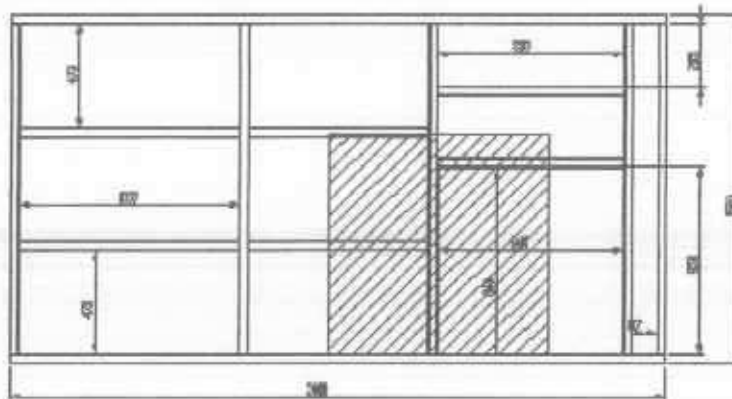
**5.7 Verificação do teto da cabina**

De acordo com a norma, a carga a ser aplicada no teto da cabina deve ser igual a 3 kN, aplicada na área quadrada menos favorável igual a 1 m<sup>2</sup>, bem como suportar uma carga igual a 1,2 kN aplicada em uma área de 0,1m x 0,1 m. A estrutura suporte do teto da cabina é executada em perfis tubulares, dimensões 40 x 40 x 1,50 mm com área da seção transversal igual a 2,31 cm<sup>2</sup> e momento de inércia igual a 5,72 cm<sup>4</sup>, conforme item 5.4.1 e de acordo com o esquema abaixo:

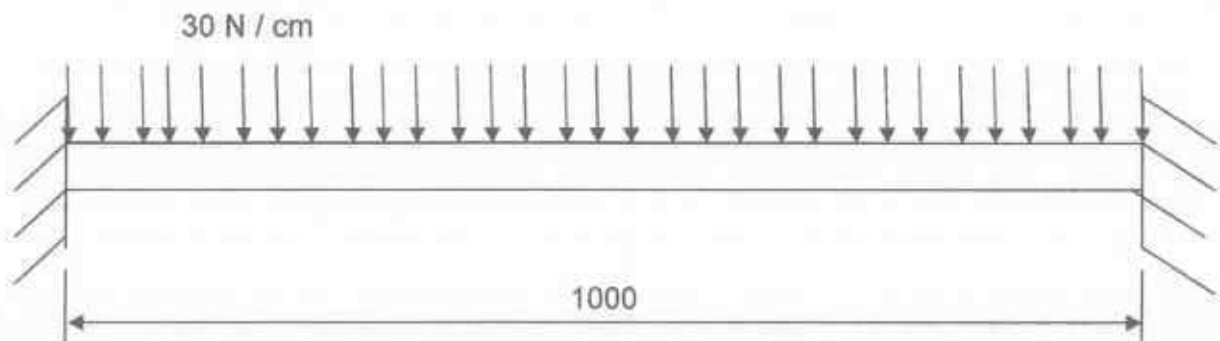


### 5.7.1 Verificação da estrutura do teto para carga 3,0 kN

A pior condição que se apresenta é para a carga posicionada numa área quadrada igual a 1,0 m<sup>2</sup>, conforme esquema abaixo:



Considerando-se a carga sustentada por um tubo longitudinal, engastados nas extremidades, sem considerar o efeito dos perfis transversais, temos uma configuração para a carga conforme abaixo. A carga 3 kN define uma carga distribuída na distancia 1,0 m igual a 30 N / cm.



#### 5.7.1.1 Momentos fletores no perfil tubular

##### 5.7.1.1.1 Momento fletor em A

$$MA = - (q / l^2) ((l^2 \cdot a^2 / 2) - (2 \cdot l \cdot a^3 / 3) + (a^4 / 4))$$

$$MA = - (30 / 100^2) ((100^2 \cdot 100^2 / 2) - (2 \cdot 100 \cdot 100^3 / 3) + (100^4 / 4))$$

$$MA = - (30 / 100^2) ((50000000) - (66666666) + (25000000))$$

$$MA = - (30 / 100^2) \cdot (8333334) \Rightarrow MA = - 25000 \text{ Ncm}$$

**5.7.1.1.2 Momento fletor em B**

$$MB = - (q / I^2) ((l \cdot a^3 / 3) - (a^4 / 4))$$

$$MB = - (30 / 100^2) ((100 \cdot 100^3 / 3) - (100^4 / 4))$$

$$MB = - (30 / 100^2) ((33333333) - (25000000))$$

$$MB = - (30 / 100^2) (8333333) \Rightarrow MB = - 25000 \text{ Ncm}$$

**5.7.1.1.3 Momento fletor em C**

$$MC = Mox + MA ((1 - (X / l)) + MB (X / l))$$

O momento fletor máximo  $Mox$  ocorre para  $X = 50 \text{ cm}$

$$Mox = (Q / 2) \cdot a \cdot ((1 - (a / 2 \cdot l))^3)$$

$$Mox = (3000 / 2) \cdot 100 \cdot ((1 - (100 / 2 \cdot 100))^3)$$

$$Mox = (1500) \cdot 100 \cdot (1 - 0,5)^3 \Rightarrow Mox = 12500 \text{ Ncm}$$

$$MC = 37500 - 25000 (1 - (50 / 100)) - 25000 (50 / 100)$$

$$MC = 37500 - 25000 (1 - 0,50) - 25000 (0,50)$$

$$MC = 37500 - 12500 - 12500 \Rightarrow MC = 12500 \text{ Ncm}$$

**5.7.1.2 Tensão de flexão transversal na estrutura do teto**

De acordo com o item 5.6.1, o momento fletor máximo no tubo transversal é igual a 25000 Ncm, e a tensão de flexão é dada por:

$$\sigma = M \cdot y_{max} / J$$

$$\sigma = 25000 \cdot 2 / 5,72 \Rightarrow \sigma = 8741 \text{ N / cm}^2$$

**5.7.1.2.1 Coeficiente de segurança na estrutura do teto**

O maior valor da tensão na estrutura do piso é igual a 8741 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$Sy = 21000 / 8741 \Rightarrow Sy = 2,40$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido iguala o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,33.



**5.7.1.3 Verificação da chapa de piso do teto para carga 1,2 kN**

Conforme item 5.2.2.10 da norma, o piso deve suportar uma carga de 1200 N distribuída sobre uma área de 0,1 x 0,1 m. O piso é executado em chapa de aço espessura 3,175 mm, com tensão de escoamento mínima igual à 25000 N / cm<sup>2</sup>.

**5.7.1.3.1 Tensão de cisalhamento na chapa de piso**

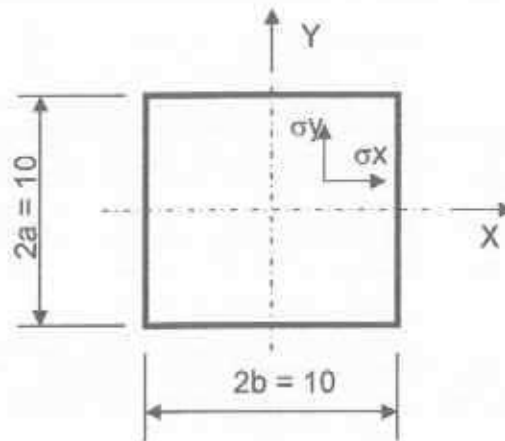
A área do perímetro de um quadrado de lado 10 cm executado com o material especificado é dada por:

$$A = 4 \cdot 10 \cdot 0,317 \Rightarrow A = 12,68 \text{ cm}^2$$

A tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = F / A$$

$$\tau = 1200 / 12,68 \Rightarrow \tau = 95 \text{ N / cm}^2$$

**5.7.1.3.2 Tensão de tração na chapa de piso**

Para uma carga igual à 1200 N distribuída uniformemente sobre a área do quadrado, a pressão é dada por:

$$p = F / A$$

$$p = 1200 / (10 \cdot 10) \Rightarrow p = 12 \text{ N / cm}^2$$

Para a/b = 1 temos:

$$\varphi_x = 0,53$$

$$\varphi_y = 0,53$$

$$\psi = 0,225$$

As tensões segundo os eixos X e Y são dados por:

$$\sigma_x = \varphi_x \cdot p \cdot b^2 / h^2$$

$$\sigma_x = 0,53 \cdot 12 \cdot 5^2 / 0,317^2 \Rightarrow \sigma_x = 1582 \text{ N / cm}^2$$

**5.7.1.3.3 Tensão de comparação na chapa de piso do teto**

A tensão de comparação na chapa, para tensões de cisalhamento e tração ocorrendo simultaneamente é dada por:

$$\sigma_{CP} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0,5}$$
$$\sigma_{CP} = (1582^2 + 3 \cdot 95^2)^{0,5} \Rightarrow \sigma_{CP} = 1590 \text{ N / cm}^2$$

**5.7.1.3.3.1 Coeficiente de segurança na chapa de piso**

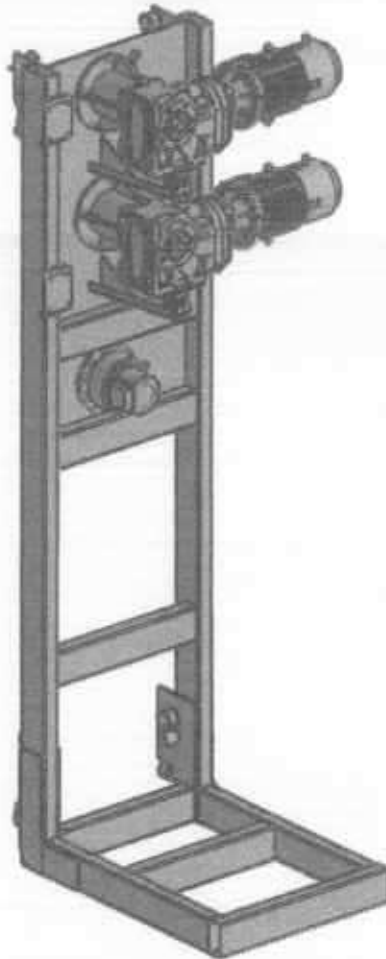
O valor da tensão na chapa do piso é igual a 1590 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 1590 \Rightarrow S_y = 15$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,33.



## 6. VERIFICAÇÃO DA ARCADA



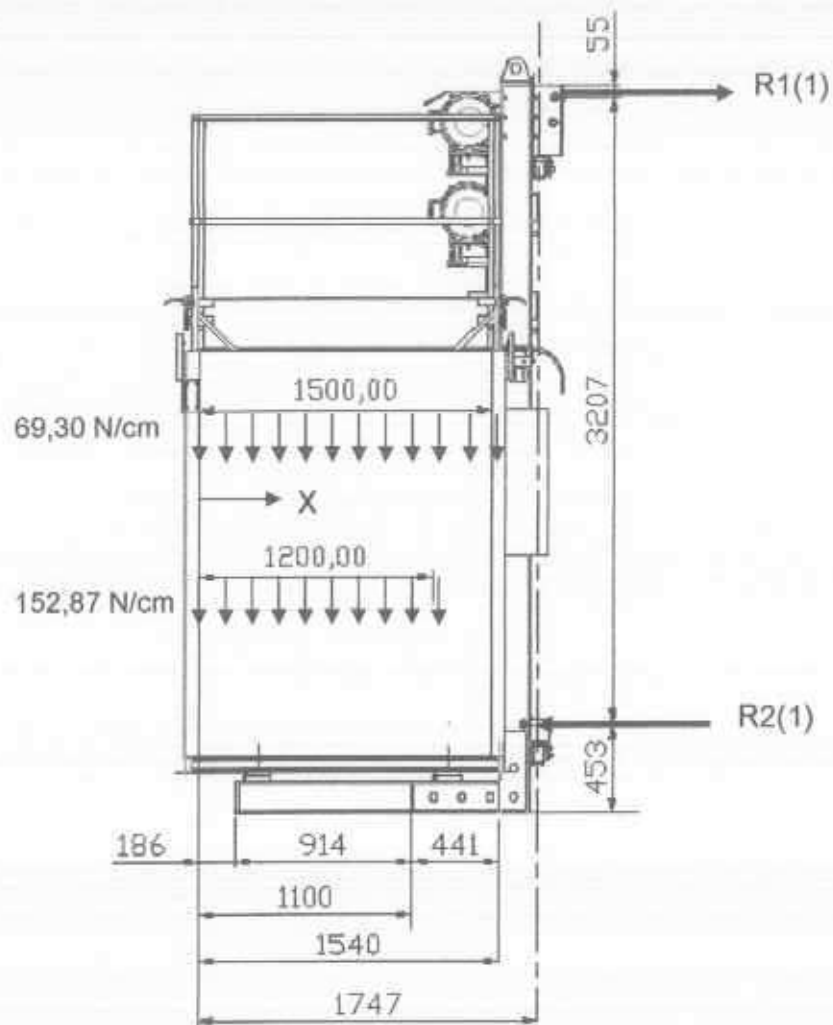
A arcada é o componente do elevador responsável pela sustentação e movimentação vertical da cabina. O acionamento da arcada é efetuado por meio de dois motor redutores que acionam duas rodas dentadas que se engrenam com a cremalheira montada na torre. Nesta unidade é montado um freio tipo paraquedas que também se engrena com a cremalheira, e que promove a parada de emergência da cabina caso esta assuma uma velocidade maior do a velocidade regulada para atuação do freio. O deslocamento da arcada é efetuado sobre roletes guia que se apóiam sobre os tubos frontais da torre. São previstos ainda, roletes de segurança e roletes guias laterais.

A handwritten signature or mark, possibly a stylized 'S' or 'SSC', located at the end of the text block.

## 6.1 Arcada em OPERAÇÃO NORMAL

### 6.1.1 Verificação dos perfis suporte da cabina

Em operação normal, os perfis horizontais da arcada estão sujeitos ao carregamento devido ao peso próprio da cabina conforme item 4.2.1, à carga de acordo com o item 4.2.2, e à ação do vento conforme item 4.6. O peso próprio da cabina a ser considerado é igual a 10395 N o qual atua sobre a arcada num comprimento igual a 150 cm, o que determina uma carga  $q_p$  distribuída igual a 69,30 N / cm. A carga na cabina a ser considerada é igual a 18345 N, e se distribui numa largura igual a 120 cm, o que determina uma carga  $q_c$  distribuída igual a 152,87 N / cm.



*(Handwritten signature)*

### 6.1.1.1 Momentos fletores nos perfis inferiores da arcada

#### Para $0 \leq X \leq 1200$

$$M = (q_p \cdot X) (X / 2) + (q_c \cdot X) (X / 2)$$

$$M = (69,30 \cdot X) (X / 2) + (152,87 \cdot X) (X / 2)$$

$$M = 34,65 \cdot X^2 + 76,435 \cdot X^2$$

Se  $X = 1100$  (transição momentos de inércia nos perfis inferiores)

$$M = 34,65 \cdot 1100^2 + 76,435 \cdot 1100^2$$

$$M = 419265 + 903083 \quad \Rightarrow \quad M = 1322348 \text{ Ncm}$$

#### Para $1200 \leq X \leq 1540$

$$M = (q_p \cdot 150) (X - 75) + (q_c \cdot 120) (X - 60)$$

$$M = (69,30 \cdot 150) (X - 75) + (152,87 \cdot 120) (X - 60)$$

$$M = 10395 \cdot (X - 75) + 18345 \cdot (X - 60)$$

Se  $X = 1540$

$$M = 10395 \cdot (154 - 75) + 18345 \cdot (154 - 60)$$

$$M = 821205 + 1724430 \quad \Rightarrow \quad M = 2546635 \text{ Ncm}$$

### 6.1.1.2 Determinação das reações R1(1) e R2(1)

#### 6.1.1.2.1 Reações devido ao momento fletor nos perfis inferiores da arcada

As reações R1(1) e R2(1) correspondem à parcela das cargas totais R1 e R2 devido à carga e peso próprio. A parcela complementar é dada pela ação do vento.

Somatório das forças segundo o eixo X:

$$R1(1) - R2(1) = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = R2(1) \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação a R2(1)

Conforme visto no item 6.1.1.1, o maior momento fletor nos perfis inferiores da arcada é igual a 2546635 Ncm. Fazendo o somatório dos momentos em relação a R2(1) temos:

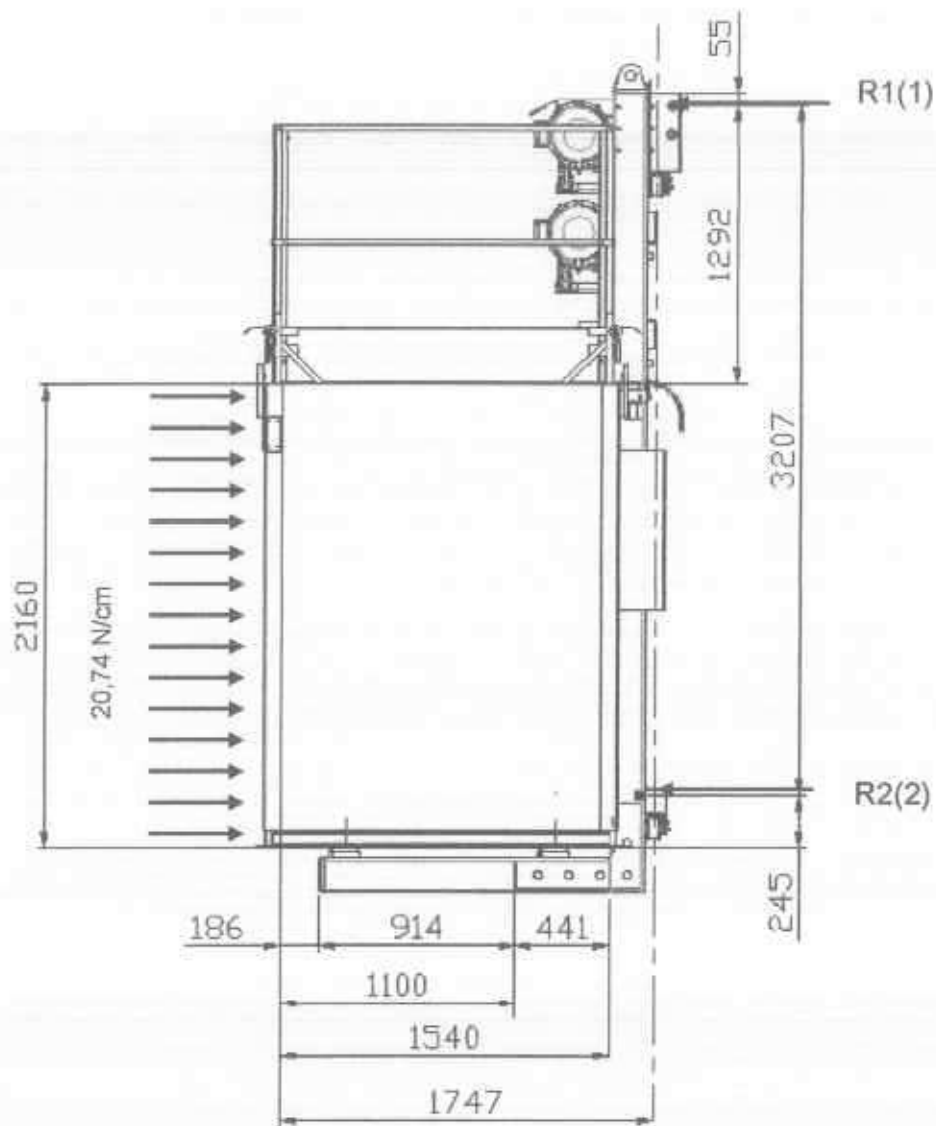
$$M - R1(1) \cdot 320,7 = 0$$

$$2546635 - R1(1) \cdot 320,7 = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = 7938 \text{ N}$$

$$\text{Substituindo na equação 1 temos} \quad R2(1) = 7938 \text{ N}$$

**6.1.1.2 Reações devido ao vento**

As reações R1(2) e R2(2) correspondem à parcela das cargas totais R1 e R2 devido ao vento. A parcela complementar é dada pelo peso da carga e peso próprio da cabina.



**Somatório das forças segundo o eixo X:**

$$\begin{aligned}
 R1(2) + R2(2) - qv \cdot 216 &= 0 \\
 R1(2) + R2(2) - 20,74 \cdot 216 &= 0 \\
 R1(2) + R2(2) - 4481 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) + R2(2) = 4481 \quad (\text{equação 1})
 \end{aligned}$$

**Somatório dos momentos em relação a R2(2)**

$$\begin{aligned}
 -qv \cdot 24,5 \cdot 24,5 / 2 + qv \cdot (216 - 24,5) (216 - 24,5) / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 -20,74 \cdot 24,5^2 / 2 + 20,74 (216 - 24,5)^2 / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 -6224 + 376725 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 370501 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) = 1155 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$1155 + R2(2) = 4481 \quad \Rightarrow \quad R2(2) = 3326 \text{ N}$$

**6.1.1.2.3 Valores totais das reações R1 e R2 – Operação normal do elevador**

Os valores totais das reações são dados pela soma das reações definidas nos itens 6.1.1.2.1 e 6.1.1.2.2, conforme segue:

$$\begin{aligned}
 R1 &= R1(1) + R1(2) \\
 R1 &= 7495 - 1155 \quad \Rightarrow \quad R1 = 6340 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R2 &= R2(1) + R2(2) \\
 R2 &= 7495 + 3326 \quad \Rightarrow \quad R2 = 10821 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**6.1.2 Momentos de inércia dos suportes inferiores da arcada**

Os suportes inferiores da arcada são executados em tubo retangular, altura 160 mm, largura 80 mm e espessura da parede igual a 6,35 mm, qualidade do material conforme ASTM A 36. Junto ao ponto de soldagem dos perfis horizontais aos verticais, o tubo é reforçado com uma chapa lateral espessura 9,56 mm. Dessa forma devem ser verificadas duas seções transversais, quais sejam as seções X = 1100 mm e X = 1540 mm, as quais apresentam momentos de inércia conforme segue:

**6.1.2.1 Momento de inércia da seção X = 1100 mm**

O momento de inércia da seção é dado por dois perfis tubulares montados em paralelo, altura 160 mm, largura 80 mm e espessura da parede igual a 6,35 mm, com valor dado conforme segue:

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \left( (8 \cdot 16^3) - (6,73 \cdot 14,73^3) \right) / 12 \\
 J &= 2 \cdot 938 \quad \Rightarrow \quad J = 1876 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

**6.1.2.2 Momento de inércia da seção X = 1540 mm**

O momento de inércia da seção é dado por dois tubos retangulares, com uma chapa de reforço espessura 6,35 mm e altura 130 mm, com valor dado conforme segue :

$$\begin{aligned}
 J &= 2 \left( (0,956 \cdot 13^3 / 12) + (938) \right) \\
 J &= 2 \left( (175,02) + (938) \right) \quad \Rightarrow \quad J = 2226 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



### 6.1.3 Tensões nos perfis inferiores da arcada

Os perfis inferiores da arcada estão sujeitos à tensão de flexão, com valores dados conforme segue:

#### 6.1.3.1 Tensão de flexão na seção X = 1100

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 1322348 \text{ Ncm (conforme 6.1.1.1)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 1876 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.1.2.1)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 1322348 \cdot 8 / 1876$$

$$\sigma_f = 5639 \text{ N / cm}^2$$

#### 6.1.3.2 Tensão de flexão na seção X = 1540

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 2546635 \text{ Ncm (conforme 6.1.1.1)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.1.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 2546635 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 9152 \text{ N / cm}^2$$

#### 6.1.3.3 Coefficiente de segurança para operação normal

O maior valor da tensão nos perfis inferiores para operação normal é igual a  $9152 \text{ N / cm}^2$ , o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 9152 \Rightarrow S_y = 2,73$$

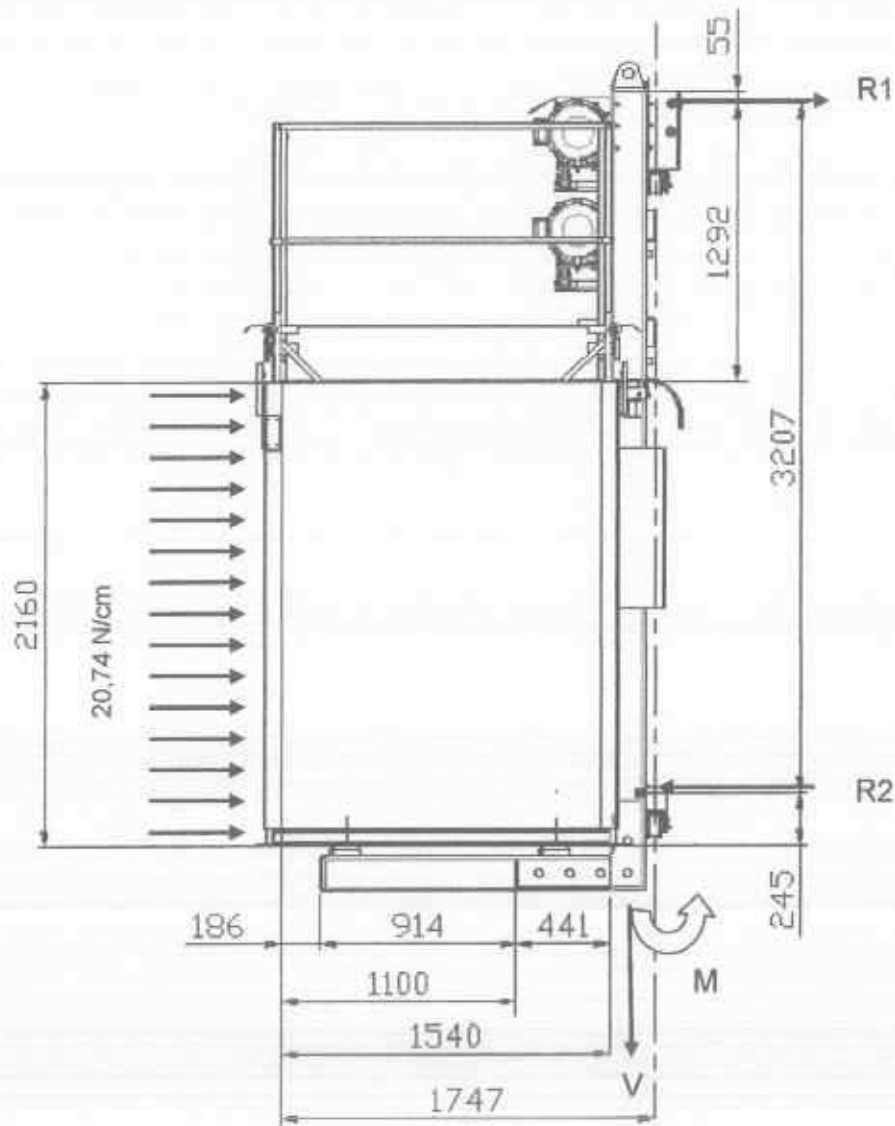
O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, igual a 1,5.



#### 6.1.4 Verificação dos perfis verticais da arcada – OPERAÇÃO NORMAL do elevador

Os perfis verticais da arcada são executados tubos retangulares altura 160 mm, largura 80 mm e espessura da parede igual a 6,35 mm, qualidade do material conforme ASTM A 36. Em operação normal, os perfis verticais da arcada estão sujeitos à força vertical dada pelo carregamento devido ao peso próprio da cabina conforme item 4.2.1, à carga na cabina de acordo com o item 4.2.2, e à ação do vento conforme item 4.6. Estão sujeitos ainda ao momento fletor junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia inferiores da arcada, numa distancia igual a 60 mm a partir da superfície de montagem da cabina, dado pela soma do momento fletor máximo definido no item 6.1.1.1, com o momento devido à ação do vento na altura 60 mm a partir da base.

O peso próprio da cabina a ser considerado é igual a 10395 N e a carga a ser considerada é igual a 18345 N.



**6.1.4.1 Características geométricas dos perfis verticais****6.1.4.1.1 Área da seção transversal do perfil tubular**

A área da seção transversal é dada por:

$$A = 0,635 \cdot 2 (8 + 16) \Rightarrow A = 30 \text{ cm}^2$$

Na região próxima à solda com os perfis horizontais, devido à chapa de reforço espessura 9,56 mm, a área da seção transversal do tubo é igual a 42,42 cm<sup>2</sup>.

**6.1.4.1.2 Momento de inércia do perfil**

O momento de inércia dos dois tubos retangulares montados em paralelo igual 1876 cm<sup>4</sup> conforme definido no item 6.1.2.1.

**6.1.4.1.3 Força normal nos perfis verticais**

A força normal total nos perfis verticais é dada conforme segue:

$$V = 10395 + 18345 \Rightarrow V = 28740 \text{ N}$$

**6.1.4.1.4 Tensão de tração nos perfis verticais**

Os perfis possuem área da seção transversal na seção considerada igual a 42,42 cm<sup>2</sup>. São utilizados dois perfis em paralelo, de modo que a seção transversal total é igual a 84,84 cm<sup>2</sup> e a tensão de tração é dada por:

$$\sigma_t = V / A$$

$$\sigma_t = 28740 / 84,84 \Rightarrow \sigma_t = 339 \text{ N / cm}^2$$

**6.1.4.1.5 Momento fletor nos perfis verticais**

O momento fletor máximo nos perfis inferiores da arcada é igual a 2546635 Ncm. Este momento fletor, somado ao momento fletor devido à ação do vento atua nos perfis verticais, junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia da arcada, numa distância igual a 60 mm a partir da superfície de extremidade inferior da cabina. O momento fletor total é dado por:

$$M = 2546635 + (q_v \cdot 6) \cdot (6 / 2)$$

$$M = 2546635 + (20,74 \cdot 6) \cdot (6 / 2) \Rightarrow M = 2547008 \text{ Ncm}$$

**6.1.4.1.6 Tensão de flexão nos perfis verticais**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 2547008 \text{ Ncm (conforme 6.1.4.1.5)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.1.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 2547008 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 9154 \text{ N / cm}^2$$

**6.1.4.1.7 Tensão máxima nos perfis verticais**

A tensão máxima nos perfis verticais em operação normal do elevador é dada pela soma das tensões de tração e de flexão conforme abaixo:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_t + \sigma_f \\ \sigma &= 339 + 9154 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 9493 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**6.1.4.1.8 Coeficiente de segurança para operação normal**

O maior valor da tensão nos perfis verticais para operação normal é igual a 9076 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 9493 \quad \Rightarrow \quad S_y = 263$$

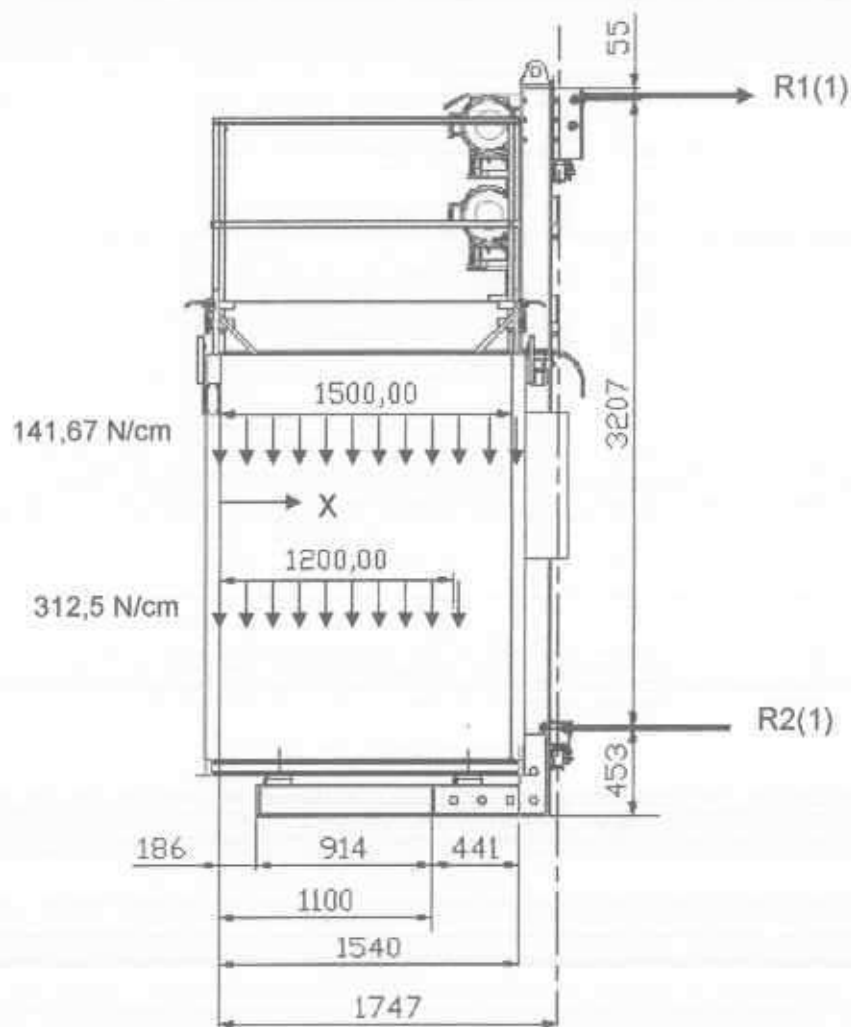
O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, igual a 1,5.



## 6.2 Arcada sujeita a um processo de FREAGEM DE EMERGENCIA

### 6.2.1 Verificação dos perfis suporte da cabina

Durante um processo de freagem de emergência, os perfis horizontais da arcada estão sujeitos ao carregamento devido ao peso próprio da cabina conforme item 4.3.1, à carga na cabina de acordo com o item 4.3.2, e à ação do vento conforme item 4.6. O peso próprio da cabina a ser considerado é igual a 21250 N o qual atua sobre a arcada num comprimento igual a 150 cm, o que determina uma carga  $q_p$  distribuída igual a 141,67 N / cm. A carga na cabina a ser considerada é igual a 37500 N, e se distribui numa largura igual a 120 cm, o que determina uma carga  $q_c$  distribuída igual a 312,5 N / cm.



**6.2.1.1 Momentos fletores nos perfis inferiores da arcada****Para  $0 \leq X \leq 1200$** 

$$M = (q_p \cdot X) (X / 2) + (q_c \cdot X) (X / 2)$$

$$M = (141,67 \cdot X) (X / 2) + (312,5 \cdot X) (X / 2)$$

$$M = 70,84 \cdot X^2 + 156,25 \cdot X^2$$

Se  $X = 1100$  (transição momentos de inércia nos perfis inferiores)

$$M = 70,84 \cdot 1100^2 + 156,25 \cdot 1100^2$$

$$M = 857164 + 1890625 \quad \Rightarrow \quad M = 2747789 \text{ Ncm}$$

**Para  $1200 \leq X \leq 1540$** 

$$M = (q_p \cdot 150) (X - 75) + (q_c \cdot 120) (X - 60)$$

$$M = (141,67 \cdot 150) (X - 75) + (312,5 \cdot 120) (X - 60)$$

$$M = 21250 \cdot (X - 75) + 37500 (X - 60)$$

Se  $X = 1540$

$$M = 21250 \cdot (154 - 75) + 37500 (154 - 60)$$

$$M = 1678750 + 3525000 \quad \Rightarrow \quad M = 5203750 \text{ Ncm}$$

**6.2.1.2 Determinação das reações R1(1) e R2(1)****6.2.1.2.1 Reações devido ao momento fletor nos perfis inferiores da arcada**

As reações R1(1) e R2(1) correspondem à parcela das cargas totais R1 e R2 devido à carga e peso próprio. A parcela complementar é dada pela ação do vento.

Somatório das forças segundo o eixo X:

$$R1(1) - R2(1) = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = R2(1) \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação a R2(1)

Conforme visto no item 6.2.1.1, o maior momento fletor nos perfis inferiores da arcada é igual a 5203750 Ncm. Fazendo o somatório dos momentos em relação a R2(1) temos:

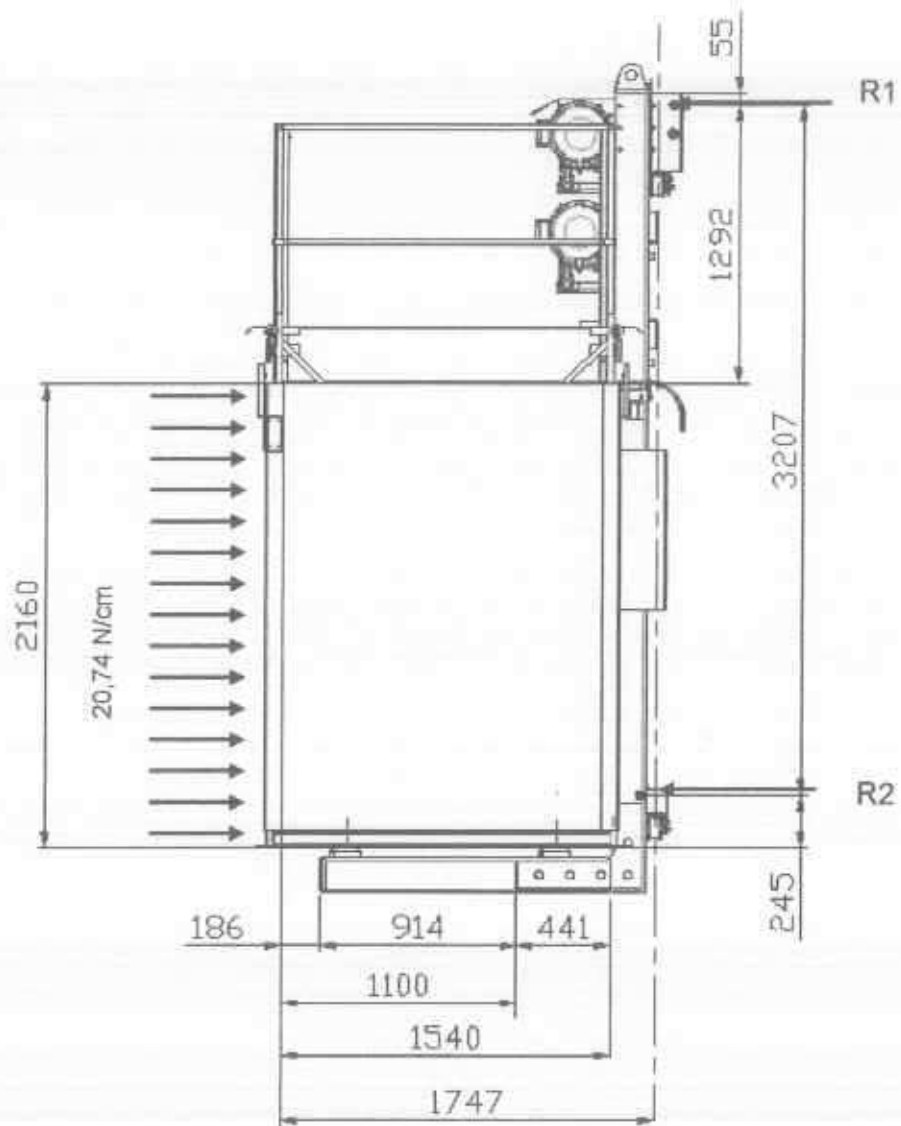
$$M - R1(1) \cdot 320,7 = 0$$

$$5203750 - R1(1) \cdot 320,7 = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = 16226 \text{ N}$$

$$\text{Substituindo na equação 1 temos} \quad R2(1) = 16226 \text{ N}$$

**6.2.1.2.2 Reações devido ao vento**

As reações R1(2) e R2(2) correspondem à parcela das cargas totais R1 e R2 devido ao vento. A parcela complementar é dada pelo peso da carga e peso próprio da cabina.



**Somatório das forças segundo o eixo X:**

$$\begin{aligned} R1(2) + R2(2) - qv \cdot 216 &= 0 \\ R1(2) + R2(2) - 20,74 \cdot 216 &= 0 \\ R1(2) + R2(2) - 4481 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) + R2(2) = 4481 \quad (\text{equação 1}) \end{aligned}$$

**Somatório dos momentos em relação a R2(2)**

$$\begin{aligned} - qv \cdot 24,5 \cdot 24,5 / 2 + qv \cdot (216 - 24,5) (216 - 24,5) / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\ - 20,74 \cdot 24,5^2 / 2 + 20,74 (216 - 24,5)^2 / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\ - 6224 + 376725 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\ 370501 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) = 1155 \text{ N} \end{aligned}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$1155 + R2(2) = 4481 \quad \Rightarrow \quad R2(2) = 3326 \text{ N}$$

**6.2.1.2.3 Valores totais das reações R1 e R2 - Elevador em freagem de emergência**

Os valores totais das reações são dados pela soma das reações definidas nos itens 6.2.1.2.1 e 6.2.1.2.2, conforme segue:

$$\begin{aligned} R1 &= R1(1) + R1(2) \\ R1 &= 16226 - 1155 \quad \Rightarrow \quad R1 = 15071 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R2 &= R2(1) + R2(2) \\ R2 &= 16226 + 3326 \quad \Rightarrow \quad R2 = 19552 \text{ N} \end{aligned}$$

**6.2.2 Momentos de inércia dos perfis inferiores da arcada**

Características do perfil conforme item 6.1.2.

**6.2.2.1 Momento de inércia da seção X = 1100mm**

Momento de inércia da seção conforme já definido no item 6.1.2.1,  $J = 1876 \text{ cm}^4$

**6.2.2.2 Momento de inércia da seção X = 1540 mm**

Momento de inércia conforme já definido no item 6.1.2.2,  $J = 2226 \text{ cm}^4$

**6.2.3 Tensões nos perfis inferiores da arcada**

Os perfis inferiores da arcada estão sujeitos à tensão de flexão, com valores dados conforme segue:

**6.2.3.1 Tensão de flexão na seção X = 1100**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 2747789 \text{ Ncm (conforme 6.2.1.1)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 1876 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.2.2.1)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 2747789 \cdot 8 / 1876$$

$$\sigma_f = 11717 \text{ N / cm}^2$$



### **6.2.3.2 Tensão de flexão na seção X = 1540**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{max}) / J$ , onde:

$$M = 5203750 \text{ Ncm (conforme 6.2.1.1)}$$

$$y_{max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.2.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 5203750 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 18702 \text{ N / cm}^2$$

### **6.2.3.3 Coeficiente de segurança para freagem de emergência**

O maior valor da tensão nos perfis inferiores durante um processo de freagem de emergência é igual a  $18702 \text{ N / cm}^2$ , o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 18702 \Rightarrow S_y = 1,33$$

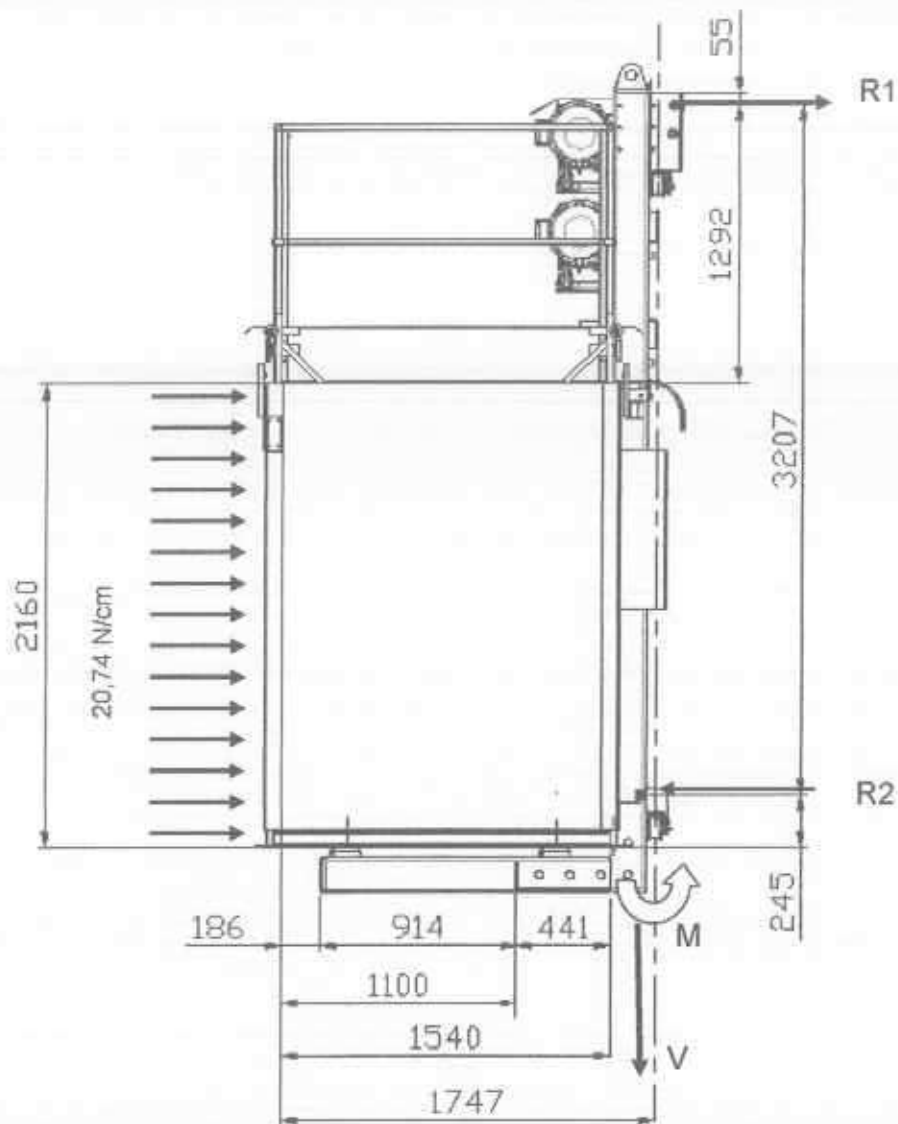
O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.

### **6.2.4 Verificação dos perfis verticais da arcada – freagem de emergência**

Os perfis verticais da arcada são executados tubos retangulares altura 160 mm, largura 80 mm e espessura da parede igual a 6,35 mm, qualidade do material conforme ASTM A 36. Durante um processo de freagem de emergência, os perfis verticais da arcada estão sujeitos à força vertical dada pelo carregamento devido ao peso próprio da cabina conforme item 4.3.1, à carga na cabina de acordo com o item 4.3.2, e à ação do vento conforme item 4.6. Estão sujeitos ainda ao momento fletor junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia inferiores da arcada, numa distancia igual a 60 mm a partir da superfície de montagem da cabina, dado pela soma do momento fletor máximo definido no item 6.2.1.1, com o momento devido à ação do vento na altura 60 mm a partir da base.

O peso próprio da cabina a ser considerado é igual a 21250 N e a carga a ser considerada é igual a 37500 N.





#### 6.2.4.1 Características geométricas dos perfis verticais

##### 6.2.4.1.1 Área da seção transversal do perfil tubular

A área da seção transversal é dada por:

$$A = 0,635 \cdot 2 (8 + 16) \Rightarrow A = 30 \text{ cm}^2$$

Na região próxima à solda com os perfis horizontais, devido à chapa de reforço espessura 9,56 mm, a área da seção transversal do tubo é igual a 42,42 cm<sup>2</sup>.

##### 6.2.4.1.2 Momento de inércia do perfil

O momento de inércia dos dois tubos retangulares montados em paralelo é igual a 2226 cm<sup>4</sup> conforme definido no item 6.1.2.2.

**6.2.4.1.3 Força normal nos perfis verticais**

A força normal total nos perfis verticais é dada conforme segue:

$$V = 21250 + 37500 \quad \Rightarrow \quad V = 58750 \text{ N}$$

**6.2.4.1.4 Tensão de tração nos perfis verticais**

Os perfis possuem área da seção transversal na seção considerada igual a  $42,42 \text{ cm}^2$ . São utilizados dois perfis em paralelo, de modo que a seção transversal total é igual a  $84,84 \text{ cm}^2$  e a tensão de tração é dada por:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= V / A \\ \sigma_t &= 58750 / 84,84 \quad \Rightarrow \quad \sigma_t = 692 \text{ N / cm}^2 \end{aligned}$$

**6.2.4.1.5 Momento fletor nos perfis verticais**

O momento fletor máximo nos perfis inferiores da arcada é igual a  $5203750 \text{ Ncm}$ . Este momento fletor, somado ao momento fletor devido à ação do vento atua nos perfis verticais, junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia da arcada, numa distancia igual a  $60 \text{ mm}$  a partir da superfície de montagem da cabina. O momento fletor total é dado por:

$$\begin{aligned} M &= 5203750 + (q_v \cdot 6) \cdot (6 / 2) \\ M &= 5203750 + (20,74 \cdot 6) \cdot (6 / 2) \quad \Rightarrow \quad M = 5204123 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

**6.2.4.1.6 Tensão de flexão nos perfis verticais**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 5204123 \text{ Ncm (conforme 6.1.4.1.5)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.1.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 5204123 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 18703 \text{ N / cm}^2$$

**6.2.4.1.7 Tensão máxima nos perfis verticais**

A tensão máxima nos perfis verticais em operação normal do elevador é dada pela soma das tensões de tração e de flexão conforme abaixo:

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_f$$

$$\sigma = 692 + 18703 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 19395 \text{ N / cm}^2$$

**6.2.4.1.8 Coeficiente de segurança - elevador em freagem de emergencia**

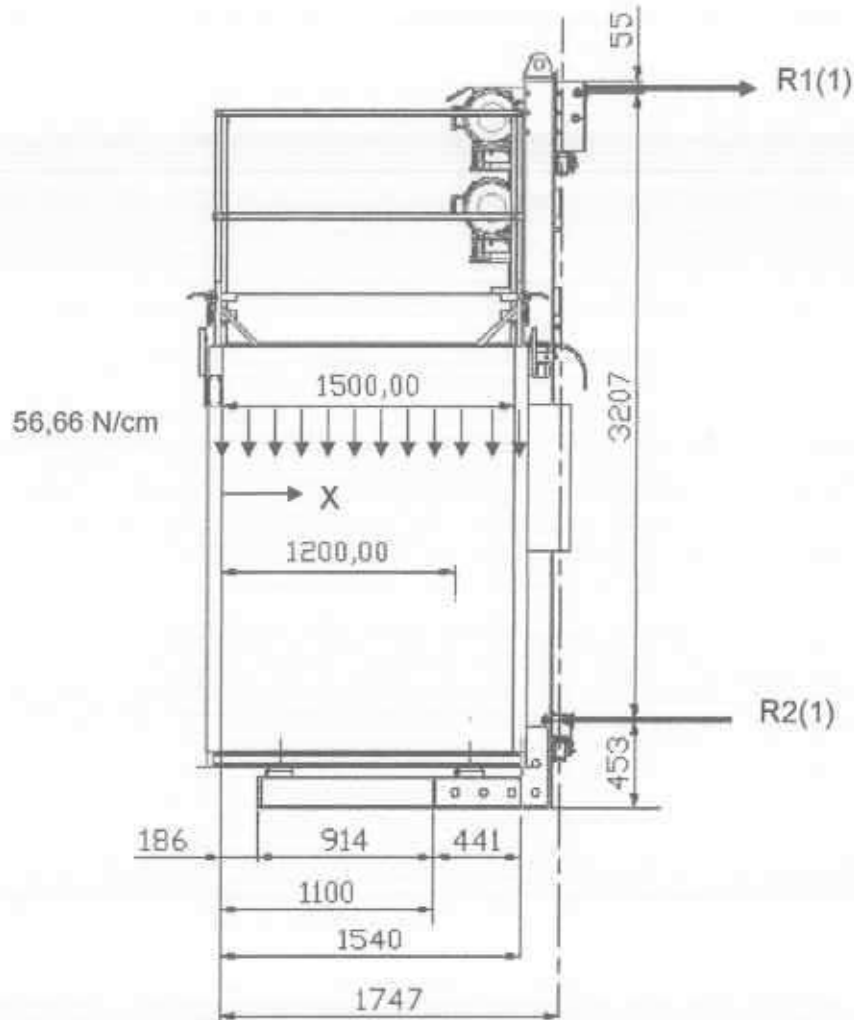
O maior valor da tensão nos perfis verticais para operação normal é igual a  $17351 \text{ N / cm}^2$ , o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 19395 \quad \Rightarrow \quad S_y = 1,28$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.

### 6.3 Elevador FORA DE SERVIÇO com vento máximo

Para o elevador fora de serviço a cabina deve por definição ocupar a posição inferior, junto à ancoragem zero, estando sujeita somente ao peso próprio, e à ação do vento conforme item 4.6. O peso próprio da cabina é igual a 8500 N, o qual atua num comprimento igual a 150 cm, o que determina uma carga distribuída igual a 56,66 N / cm.



#### 6.3.1.1 Momentos fletores nos perfis inferiores da arcada

Para  $0 \leq X \leq 1200$

$$M = (q_p \cdot X) (X / 2)$$

$$M = (56,66 \cdot X) (X / 2)$$

$$M = 28,33 \cdot X^2$$

Se  $X = 1100$  (transição momentos de inércia nos perfis inferiores)

$$M = 28,33 \cdot 110^2 \quad \Rightarrow \quad M = 342793 \text{ Ncm}$$

Para  $1200 \leq X \leq 1540$

$$M = (q_p \cdot 150) (X - 75)$$

$$M = (56,66 \cdot 150) (X - 75)$$

$$M = 8500 \cdot (X - 75)$$

Se  $X = 1540$

$$M = 8500 \cdot (154 - 75) \quad \Rightarrow \quad M = 671500 \text{ Ncm}$$

### **6.3.1.2 Determinação das reações $R1(1)$ e $R2(1)$**

#### **6.3.1.2.1 Reações devido ao momento fletor nos perfis inferiores da arcada**

As reações  $R1(1)$  e  $R2(1)$  correspondem à parcela das cargas totais  $R1$  e  $R2$  devido à carga e peso próprio. A parcela complementar é dada pela ação do vento.

Somatório das forças segundo o eixo X:

$$R1(1) - R2(1) = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = R2(1) \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação a  $R2(1)$

Conforme visto no item 6.3.1.1, o maior momento fletor nos perfis inferiores da arcada é igual a 342793 Ncm. Fazendo o somatório dos momentos em relação a  $R2(1)$  temos:

$$M - R1(1) \cdot 320,7 = 0$$

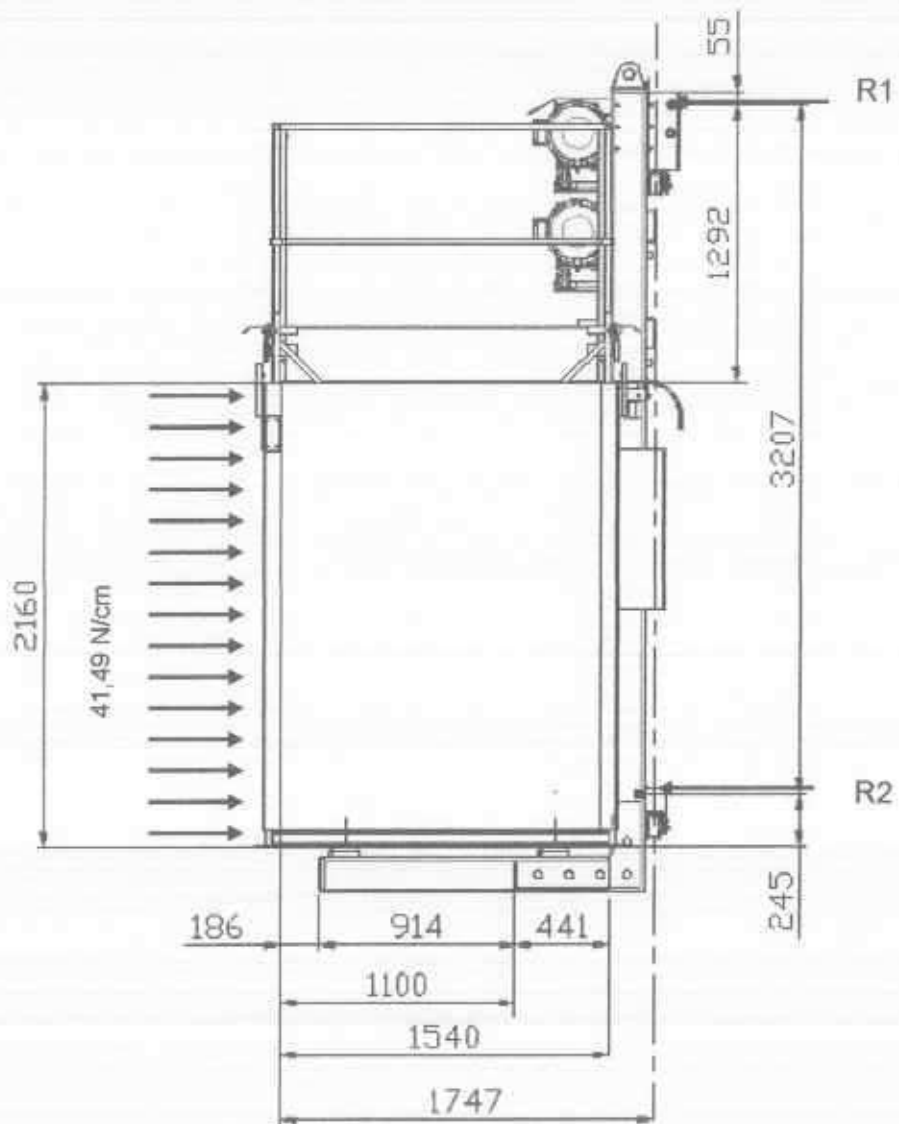
$$342793 - R1(1) \cdot 320,7 = 0 \quad \Rightarrow \quad R1(1) = 1069 \text{ N}$$

$$\text{Substituindo na equação 1 temos} \quad R2(1) = 1069 \text{ N}$$



**6.3.1.2.2 Reações devido ao vento**

As reações R1(2) e R2(2) correspondem à parcela das cargas totais R1 e R2 devido ao vento. A parcela complementar é dada pelo peso da carga e peso próprio da cabina. A pressão do vento considerada é igual a  $1100 \text{ N / m}^2$ , correspondente a uma velocidade igual a  $150 \text{ Km / h}$  ( $42 \text{ m / s}$ ). De acordo com o item 5.2.2.12 da norma, as paredes da cabina devem ser consideradas como sólidas, aplicando-se o coeficiente aerodinâmico  $c = 1,2$ . A cabina possui uma área sujeita à ação do vento igual a  $6,79 \text{ m}^2$ , de modo que a força total é igual a  $8963 \text{ N}$ . A altura da ação do vento na cabina é igual a  $2,16 \text{ m}$ , de modo que a carga distribuída devido ao vento é igual a  $41,49 \text{ N / cm}$ .



**Somatório das forças segundo o eixo X:**

$$\begin{aligned}
 R1(2) + R2(2) - qv \cdot 216 &= 0 \\
 R1(2) + R2(2) - 41,49 \cdot 216 &= 0 \\
 R1(2) + R2(2) - 8963 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) + R2(2) = 8963 \quad (\text{equação 1})
 \end{aligned}$$

**Somatório dos momentos em relação a R2(2)**

$$\begin{aligned}
 -qv \cdot 24,5 \cdot 24,5 / 2 + qv \cdot (216 - 24,5) \cdot (216 - 24,5) / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 -41,49 \cdot 24,5^2 / 2 + 41,49 \cdot (216 - 24,5)^2 / 2 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 -24904 + 760765 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \\
 735861 - R1(2) \cdot 320,7 &= 0 \quad \Rightarrow \quad R1(2) = 2294 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$2294 + R2(2) = 8963 \quad \Rightarrow \quad R2(2) = 6669 \text{ N}$$

**6.3.1.2.3 Valores totais das reações R1 e R2 – Elevador fora de operação**

Os valores totais das reações são dados pela soma das reações definidas nos itens 6.3.1.2.1 e 6.3.1.2.2, conforme segue:

$$\begin{aligned}
 R1 &= R1(1) + R1(2) \\
 R1 &= 1069 - 2294 \quad \Rightarrow \quad R1 = -1225 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R2 &= R2(1) + R2(2) \\
 R2 &= 1069 + 6669 \quad \Rightarrow \quad R2 = 7738 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**6.3.2 Momentos de inércia dos perfis inferiores da arcada**

Características do perfil conforme item 6.1.2.

**6.3.2.1 Momento de inércia da seção X = 1100 mm**

Momento de inércia da seção conforme já definido no item 6.1.2.1,  $J = 1876 \text{ cm}^4$

**6.3.2.2 Momento de inércia da seção X = 1540 mm**

Momento de inércia conforme já definido no item 6.1.2.2,  $J = 2226 \text{ cm}^4$

**6.3.3 Tensões nos perfis inferiores da arcada**

Os perfis inferiores da arcada estão sujeitos à tensão de flexão, com valores dados conforme segue:



**6.3.3.1 Tensão de flexão na seção X = 1100**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 342793 \text{ Ncm (conforme 6.3.1.1)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 1876 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.2.2.1)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 342793 \cdot 8 / 1876$$

$$\sigma_f = 1462 \text{ N / cm}^2$$

**6.3.3.2 Tensão de flexão na seção X = 1540**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 671500 \text{ Ncm (conforme 6.2.1.1)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.2.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 671500 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 2413 \text{ N / cm}^2$$

**6.3.3.3 Coeficiente de segurança para freagem de emergência**

O maior valor da tensão nos perfis inferiores durante um processo de freagem de emergência é igual a  $2413 \text{ N / cm}^2$ , o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

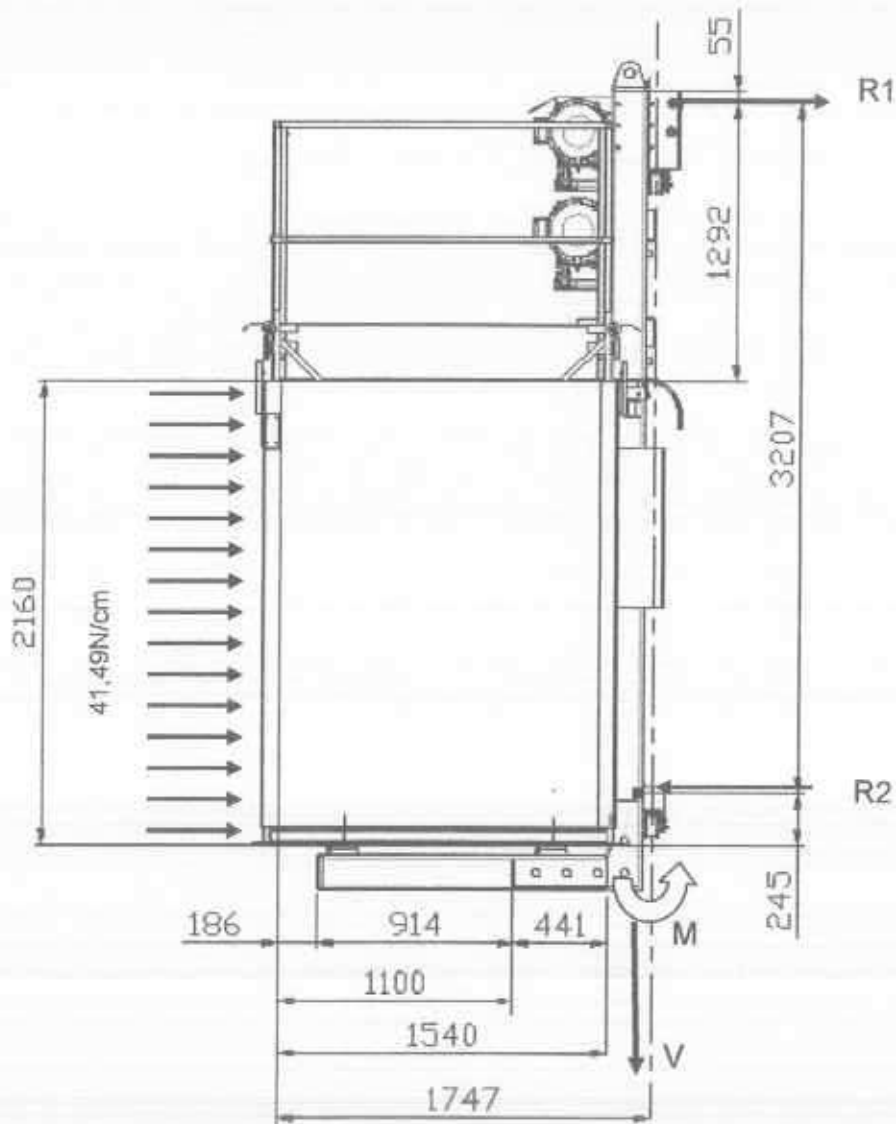
$$S_y = 25000 / 2413 \Rightarrow S_y = 10$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.



### 6.3.4 Verificação dos perfis verticais da arcada – elevador fora de operação

Os perfis verticais da arcada são executados tubos retangulares altura 160 mm, largura 80 mm e espessura da parede igual a 6,35 mm, qualidade do material conforme ASTM A 36. Para o elevador fora de operação a, os perfis verticais da arcada estão sujeitos à força vertical dada pelo carregamento devido ao peso próprio da cabina igual a 8500 N e à ação do vento conforme item 4.6. Estão sujeitos ainda ao momento fletor junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia inferiores da arcada, numa distancia igual a 60 mm a partir da superfície de montagem da cabina, dado pela soma do momento fletor máximo definido no item 6.3.1.1, com o momento devido à ação do vento na altura 60 mm a partir da base.



**6.3.4.1 Características geométricas dos perfis verticais****6.3.4.1.1 Área da seção transversal do perfil tubular**

A área da seção transversal é dada por:

$$A = 0,635 \cdot 2 (8 + 16) \Rightarrow A = 30 \text{ cm}^2$$

Na região próxima à solda com os perfis horizontais, devido à chapa de reforço espessura 9,56 mm, a área da seção transversal do tubo é igual a 42,42 cm<sup>2</sup>.

**6.3.4.1.2 Momento de inércia do perfil**

O momento de inércia dos dois tubos retangulares montados em paralelo igual a 2226 cm<sup>4</sup> conforme definido no item 6.1.2.2.

**6.3.4.1.3 Força normal nos perfis verticais**

A força normal V nos perfis verticais é igual a 8500 N.

**6.3.4.1.4 Tensão de tração nos perfis verticais**

Os perfis possuem área da seção transversal na seção considerada igual a 42,42 cm<sup>2</sup>. São utilizados dois perfis em paralelo, de modo que a seção transversal total é igual a 84,84 cm<sup>2</sup> e a tensão de tração é dada por:

$$\sigma_t = V / A$$

$$\sigma_t = 8500 / 84,84 \Rightarrow \sigma_t = 100 \text{ N / cm}^2$$

**6.3.4.1.5 Momento fletor nos perfis verticais**

O momento fletor máximo nos perfis inferiores da arcada é igual a 671500 Ncm. Este momento fletor, somado ao momento fletor devido à ação do vento atua nos perfis verticais, junto à seção a partir da qual é soldada a chapa de montagem dos roletes guia da arcada, numa distancia igual a 60 mm a partir da superfície de montagem da cabina. O momento fletor total é dado por:

$$M = 671500 + (q_v \cdot 6) \cdot (6 / 2)$$

$$M = 671500 + (41,49 \cdot 6) \cdot (6 / 2) \Rightarrow M = 672247 \text{ Ncm}$$

**6.3.4.1.6 Tensão de flexão nos perfis verticais**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M \cdot y_{\max}) / J$ , onde:

$$M = 672247 \text{ Ncm (conforme 6.3.4.1.5)}$$

$$y_{\max} = 16 / 2 = 8 \text{ cm}$$

$$J = 2226 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 6.1.2.2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 672247 \cdot 8 / 2226$$

$$\sigma_f = 2416 \text{ N / cm}^2$$

**6.3.4.1.7 Tensão máxima nos perfis verticais**

A tensão máxima nos perfis verticais em operação normal do elevador é dada pela soma das tensões de tração e de flexão conforme abaixo:

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_f$$

$$\sigma = 100 + 2416 \Rightarrow \sigma = 2516 \text{ N / cm}^2$$

**6.3.4.1.8 Coeficiente de segurança para elevador fora de operação**

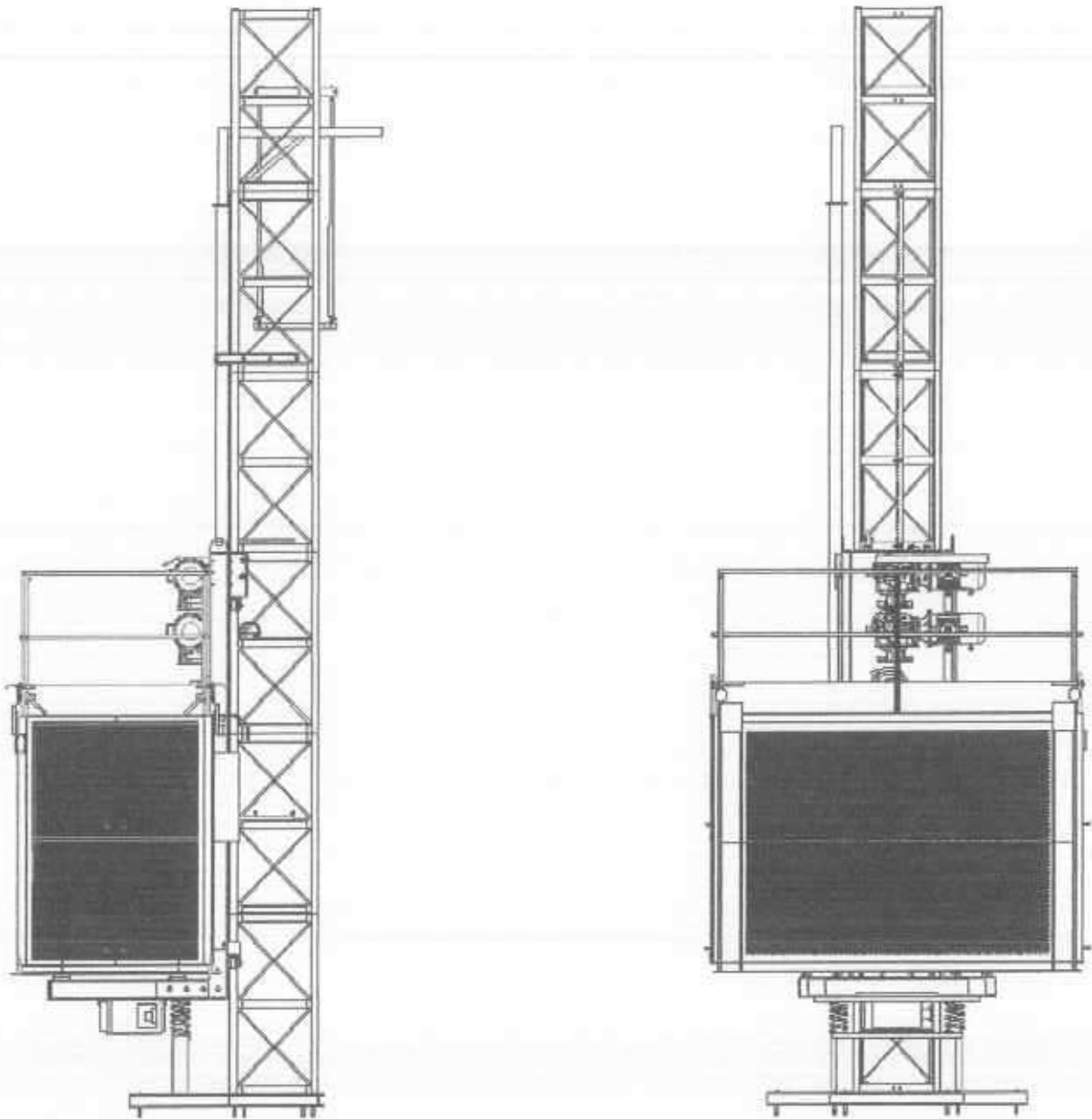
O maior valor da tensão nos perfis verticais para operação normal é igual a 2516 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 25000 / 2516 \Rightarrow S_y = 9,93$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.



## 7. VERIFICAÇÃO DA TORRE



A torre está sujeita à tensão de compressão devido ao peso próprio, tensão de compressão e momento fletor devido ao peso próprio da cabina e carga, e ao momento fletor devido à ação do vento.

- A tensão de compressão devido ao peso próprio da torre atua sobre as quatro colunas verticais simultaneamente.

- A tensão de compressão devido à cabina e carga se transmite à torre através da cremalheira, de modo que as colunas verticais do lado da cabina estarão mais carregadas do que as colunas do lado oposto.

- A tensão de compressão para o elevador fora de serviço considera o peso próprio da cabina, e se transmite à torre através da cremalheira, de modo que as colunas verticais deste lado estarão mais carregadas do que as colunas do lado oposto.

- A tensão de flexão na torre é definida para cinco pontos de ancoragem seqüenciais, uma vez que os demais pontos apresentarão momentos fletores menores e consequentemente tensões menores.

- Modulo de torre (incluindo a cremalheira).....	844 N
- Modulo de cremalheira.....	223 N

## 7.1 Solicitações na torre

### 7.1.1 Peso próprio da torre

É considerada a torre com altura máxima permitida para montagem, ou seja, 120 metros de altura. Nesta condição são utilizados 80 módulos de torre, cada qual com peso igual a 844 N sem considerar a cremalheira. O peso da cremalheira (223 N) é considerado atuando em conjunto com a carga móvel, uma vez que esta se transmite à torre pela própria cremalheira. Dessa forma, o peso da cremalheira é considerado como atuando em conjunto com o peso da carga. Na altura 120 m são utilizadas 18 peças de ancoragem, cada qual com peso total igual a 525 N. Sobre a torre atua uma parcela do peso de cada ancoragem, com valor dependente da condição de montagem. Admitimos por segurança, que a parcela desta carga seja igual à metade do seu peso total, atuando nos tubos laterais da torre. Dessa forma as cargas totais atuando na torre devido ao peso próprio são dadas conforme segue:

#### 7.1.1.1 Peso próprio centrado na torre:

$$Qt = 80 \cdot 844 \Rightarrow Qt = 67520 \text{ N}$$

#### 7.1.1.2 Peso próprio das ancoragens atuando nos tubos laterais da torre:

$$qt = 18 \cdot 525 / 2 \Rightarrow qt = 4725 \text{ N}$$

Em função do valor muito baixo do peso devido à ancoragem, pode-se adotar a carga total como igual à soma das cargas constantes nos itens 7.1.1.1 e 7.1.1.2, sem que os resultados finais se modifiquem. Temos então a carga total considerada como centrada na torre dada por:

#### 7.1.1.3 Peso próprio total considerado centrado na torre:

$$Qt = 80 \cdot 844 + 18 \cdot (525 / 2) \Rightarrow Qt = 72245 \text{ N}$$

**7.1.2 Peso da carga móvel em OPERAÇÃO NORMAL**

A carga móvel é dada pela soma dos pesos próprios da arcada, igual a 8200 N, do peso próprio da cabina, igual a 8500 N e pelo peso da carga igual a 15000 N. Sobre estes valores é aplicado o fator de multiplicação igual a 1,2230 conforme item 4.2. Ao valor da carga móvel é somado o peso da cremalheira (223 N unitário), já que o carregamento devido a este componente atua na mesma posição de atuação da carga móvel. Para uma altura de torre igual a 120 m são utilizadas 77 peças de cremalheira, de modo que o valor total da carga atuando na posição da cremalheira é dada por:

- **Peso da carga atuando na posição da cremalheira em operação normal:**

$$Q_c = (8200 + 8500 + 15000) \cdot 1,2230 + 77 \cdot 223$$

$$Q_c = 38769 + 17171 \quad \Rightarrow \quad Q_c = 55940 \text{ N}$$

**7.1.3 Peso da carga móvel durante um processo de FREAGEM DE EMERGENCIA**

Durante um processo de freagem de emergência o fator de multiplicação da carga móvel é igual a 2,5, de modo que neste caso o peso da carga atuando na posição da cremalheira é dado por:

- **Peso da carga na posição da cremalheira durante freagem de emergencia:**

$$Q_{cf} = (8200 + 8500 + 15000) \cdot 2,5 + 77 \cdot 223$$

$$Q_{cf} = 79250 + 17171 \quad \Rightarrow \quad Q_{cf} = 96421 \text{ N}$$

**7.1.4 Peso da carga movel para o elevador fora de serviço**

Para o elevador fora de serviço, a cabina deve ocupar a posição junto à base. Sobre as colunas da torre atua a tensão de compressão devido ao peso da arcada e da cabina, somados ao peso das cremalheiras, na ancoragem zero. Nas demais ancoragens atua somente o peso das cremalheiras, o qual diminui de um valor igual ao peso de quatro peças a cada ancoragem sequencialmente superior.

- **Peso atuando na posição da cremalheira - elevador fora de operação**

- **Para a ancoragem zero (base do elevador)**

$$Q_{of} = (8200 + 8500) + 77 \cdot 223$$

$$Q_{of} = 16700 + 17171 \quad \Rightarrow \quad Q_{of} = 33871 \text{ N}$$

**7.1.5 Momentos fletores na torre**

Os momentos fletores são definidos para cada caso de solicitação, em cinco ancoragens seqüenciais, considerando-se a cabina na posição mais desfavorável na torre, que conduza ao maior valor de momento fletor.

**7.1.6 Ação do vento**

A ação do vento é considerada para cada caso de operação (normal ou fora de serviço), definindo-se os momentos fletores nos mesmos pontos de ancoragem seqüenciais conforme 7.1.5.

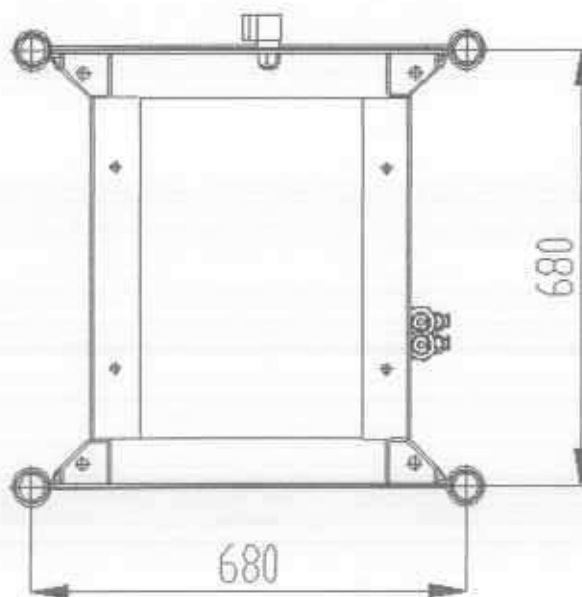
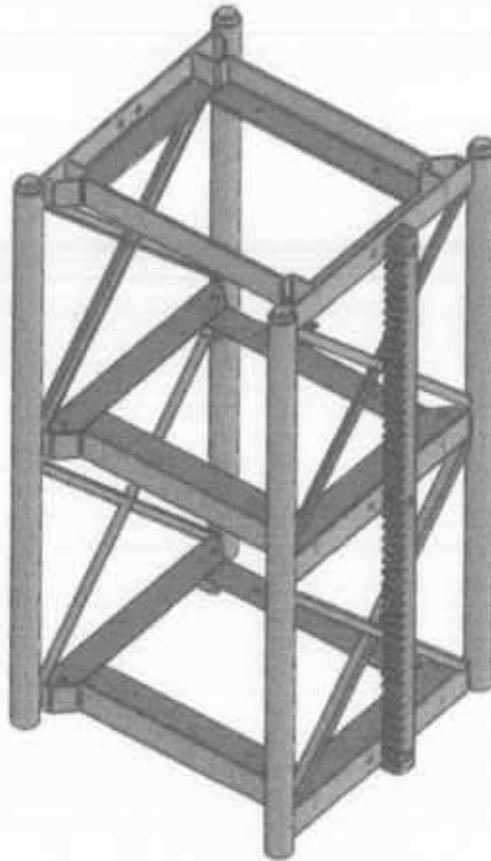
### **7.1.7 Tensão total na torre**

A tensão total na torre é dada pela soma algébrica de todas as tensões atuantes numa mesma seção, correspondente aos pontos de ancoragem considerados. Em função das cargas descentradas na torre, para cada seção são definidos quatro valores totais de tensão, correspondente a cada um dos tubos verticais.



**7.2 Características geométricas do módulo de torre**

Cada módulo da torre é constituído basicamente de quatro colunas verticais executadas em tubo redondo conforme esquema abaixo:



**7.2.1 Características geométricas dos tubos verticais da torre**

- Diâmetro externo dos tubos.....60,3 mm = 6,03 cm
- Espessura da parede .....4,25 mm = 0,425 cm
- Diâmetro interno dos tubos.....51,8 mm = 5,18 cm
- Momento de inércia dos tubos.....29,54 cm<sup>4</sup>
- Área da seção transversal dos tubos .....7,48 cm<sup>2</sup>

**7.2.2 Momento de inércia da torre**

O momento de inércia da torre, segundo o teorema de Steiner, é dado por:

$$J_x = 4 (J_o + A \cdot d^2)$$

**7.2.2.1 Momento de inércia segundo o eixo X**

$$J_x = 4 (29,54 + 7,48 \cdot 34^2) \Rightarrow J_x = 34706 \text{ cm}^4$$

**7.2.2.2 Momento de inércia segundo o eixo Y**

$$J_y = 4 (29,54 + 7,48 \cdot 34^2) \Rightarrow J_y = 34706 \text{ cm}^4$$



**7.3 Tensões de compressão na torre****7.3.1 Tensão de compressão devido ao peso da torre**

Conforme visto no item 7.1.1, o peso próprio da torre é igual a 72245 N, o qual se distribui de modo uniforme sobre as quatro colunas verticais. A carga referida atua sobre o apoio zero (junto à base). Para posições mais altas da torre, como por exemplo em cada ponto de ancoragem acima da base, o peso total da torre diminui de um valor equivalente a uma altura de torre igual a 6,00 m, e de um valor correspondente à metade do peso da peça de ancoragem, ou seja:

- Diferença de peso em cada ponto de ancoragem da torre:

$$\text{Dif.} = 4 (844) + (1 \cdot 525 / 2) \Rightarrow \text{Qt} = 3638 \text{ N}$$

**7.3.1.1 Tensões de compressão nas ancoragens zero a 4****7.3.1.1.1 Tensão de compressão na ancoragem zero**

$$\begin{aligned}\sigma_{0Qt} &= \text{Qt} / 4 \cdot A \\ \sigma_{0Qt} &= 72245 / 4 \cdot 7,48 \\ \sigma_{0Qt} &= 2414 \text{ N} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.1.1.2 Tensão de compressão na ancoragem 1**

$$\begin{aligned}\text{Peso da torre na posição considerada} &= 72245 - 3638 = 68607 \text{ N} \\ \sigma_{1Qt} &= \text{Qt} / 4 \cdot A \\ \sigma_{1Qt} &= 68607 / 4 \cdot 7,48 \\ \sigma_{1Qt} &= 2293 \text{ N} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.1.1.3 Tensão de compressão na ancoragem 2**

$$\begin{aligned}\text{Peso da torre na posição considerada} &= 68607 - 3638 = 64969 \text{ N} \\ \sigma_{2Qt} &= \text{Qt} / 4 \cdot A \\ \sigma_{2Qt} &= 64969 / 4 \cdot 7,48 \\ \sigma_{2Qt} &= 2171 \text{ N} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.1.1.4 Tensão de compressão na ancoragem 3**

$$\begin{aligned}\text{Peso da torre na posição considerada} &= 64969 - 3638 = 61331 \text{ N} \\ \sigma_{3Qt} &= \text{Qt} / 4 \cdot A \\ \sigma_{3Qt} &= 61331 / 4 \cdot 7,48 \\ \sigma_{3Qt} &= 2050 \text{ N} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.1.1.5 Tensão de compressão na ancoragem 4**

$$\begin{aligned}\text{Peso da torre na posição considerada} &= 61331 - 3638 = 57693 \text{ N} \\ \sigma_{4Qt} &= \text{Qt} / 4 \cdot A \\ \sigma_{4Qt} &= 57693 / 4 \cdot 7,48 \\ \sigma_{4Qt} &= 1928 \text{ N} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.1.2 Tensões de compressão nas ancoragens 1 a 5****7.3.1.2.1 Tensão de compressão na ancoragem 1**

Peso da torre na posição considerada =  $72245 - 3638 = 68607$  N

$$\sigma_{1Qt} = Q_t / 4 \cdot A$$

$$\sigma_{1Qt} = 68607 / 4 \cdot 7,48$$

$$\sigma_{1Qt} = 2293 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.1.2.2 Tensão de compressão na ancoragem 2**

Peso da torre na posição considerada =  $68607 - 3638 = 64969$  N

$$\sigma_{2Qt} = Q_t / 4 \cdot A$$

$$\sigma_{2Qt} = 64969 / 4 \cdot 7,48$$

$$\sigma_{2Qt} = 2171 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.1.2.3 Tensão de compressão na ancoragem 3**

Peso da torre na posição considerada =  $64969 - 3638 = 61331$  N

$$\sigma_{3Qt} = Q_t / 4 \cdot A$$

$$\sigma_{3Qt} = 61331 / 4 \cdot 7,48$$

$$\sigma_{3Qt} = 2050 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.1.2.4 Tensão de compressão na ancoragem 4**

Peso da torre na posição considerada =  $61331 - 3638 = 57693$  N

$$\sigma_{4Qt} = Q_t / 4 \cdot A$$

$$\sigma_{4Qt} = 57693 / 4 \cdot 7,48$$

$$\sigma_{4Qt} = 1928 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.1.2.5 Tensão de compressão na ancoragem 5**

Peso da torre na posição considerada =  $57693 - 3638 = 54055$  N

$$\sigma_{5Qt} = Q_t / 4 \cdot A$$

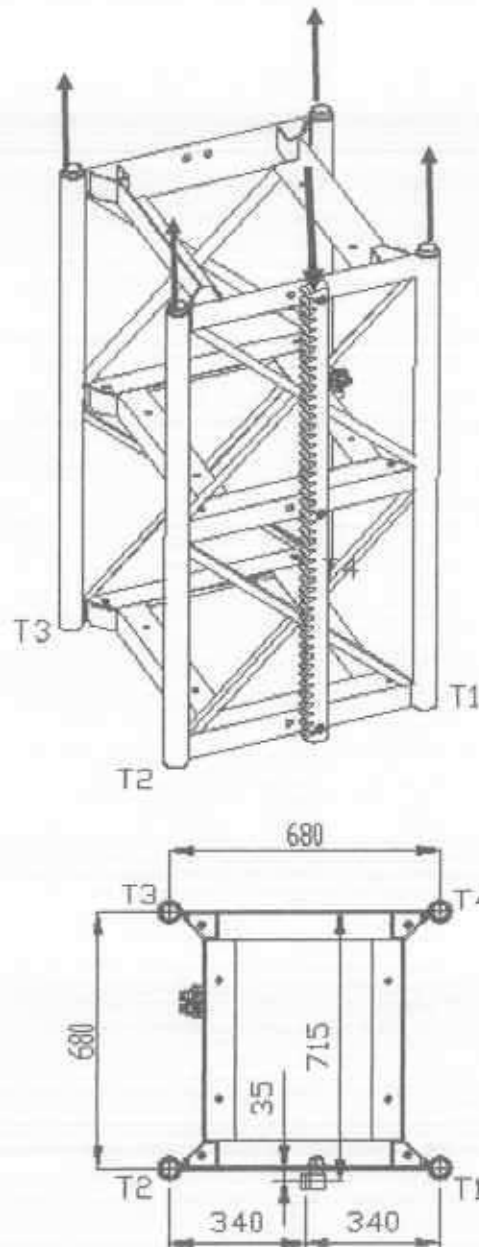
$$\sigma_{5Qt} = 54055 / 4 \cdot 7,48$$

$$\sigma_{5Qt} = 1807 \text{ N / cm}^2$$



**7.3.2 Tensão de compressão devido à carga móvel**  
**OPERAÇÃO NORMAL**

A carga móvel atua sobre a cremalheira, com valor igual a 55940 N de acordo com o item 7.1.2. As reações nos tubos verticais são diferentes e dadas conforme segue:



**7.3.2.1 Reações nos tubos verticais da torre – OPERAÇÃO NORMAL do elevador  
– ANCORAGENS zero a 4**

**7.3.2.1.1 Reações na seção junto à base (ancoragem zero)**

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T01 + T02 + T03 + T04 - Q0c &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 - 56643 &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 &= 55940 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T01 \cdot 68 + T02 \cdot 68 - 55940 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T01 + 68 \cdot T02 - 3999710 &= 0 \\ T01 + T02 &= 58819 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T03 \cdot 68 + T04 \cdot 68 + 55940 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T03 + 68 \cdot T04 + 195790 &= 0 \\ T03 + T04 &= - 2879 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T01 \cdot 34 + T02 \cdot 34 - 55940 \cdot 37,5 - T03 \cdot 34 - T04 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T01 + 34 T02 - 34 T03 - 34 T04 - 2097750 &= 0 \\ T01 + T02 - T03 - T04 &= 61698 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 55940 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 58819 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= - 2879 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 61698 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T01 &= 29409 \text{ N} \\ T02 &= 29409 \text{ N} \\ T03 &= - 1439 \text{ N} \\ T04 &= - 1439 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.2.1.2 Reações na seção junto à ancoragem 1**

A ancoragem 1 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação dinâmica da cabina com carga, ou seja:

$$Q_{2c} = 55940 - 4 \cdot 223 - 38769 \Rightarrow Q_{2c} = 16279 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} - Q_{1c} &= 0 \\ T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} - 16279 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} &= 16279 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{11} \cdot 68 + T_{12} \cdot 68 - 16279 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{11} + 68 \cdot T_{12} - 1163948 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} &= 17117 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{13} \cdot 68 + T_{14} \cdot 68 + 16279 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{13} + 68 \cdot T_{14} + 56976 &= 0 \\ T_{13} + T_{14} &= -838 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{11} \cdot 34 + T_{12} \cdot 34 - 16279 \cdot 37,5 - T_{13} \cdot 34 - T_{14} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{11} + 34 T_{12} - 34 T_{13} - 34 T_{14} - 610462 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} - T_{13} - T_{14} &= 17954 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 16279 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 17117 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -838 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 17954 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{11} &= 8558 \text{ N} \\ T_{12} &= 8558 \text{ N} \\ T_{13} &= -419 \text{ N} \\ T_{14} &= -419 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.2.1.3 Reações na seção junto à ancoragem 2**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{2c} = 16279 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{2c} = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} - Q_{1c} = 0$$

$$T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} - 15387 = 0$$

$$T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} = 15387 \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$T_{21} \cdot 68 + T_{22} \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 = 0$$

$$68 \cdot T_{21} + 68 \cdot T_{22} - 1100170 = 0$$

$$T_{21} + T_{22} = 16179 \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$T_{23} \cdot 68 + T_{24} \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 = 0$$

$$68 \cdot T_{23} + 68 \cdot T_{24} + 53854 = 0$$

$$T_{23} + T_{24} = -792 \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$T_{21} \cdot 34 + T_{22} \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T_{23} \cdot 34 - T_{24} \cdot 34 = 0$$

$$34 T_{21} + 34 T_{22} - 34 T_{23} - 34 T_{24} - 577012 = 0$$

$$T_{21} + T_{22} - T_{23} - T_{24} = 16971 \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 15387$$

$$1 + 1 + 0 + 0 = 16179$$

$$0 + 0 + 1 + 1 = -792$$

$$1 + 1 - 1 - 1 = 16971$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$T_{21} = 8089 \text{ N}$$

$$T_{22} = 8089 \text{ N}$$

$$T_{23} = -396 \text{ N}$$

$$T_{24} = -396 \text{ N}$$

**7.3.2.1.4 Reações na seção junto à ancoragem 3**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{3c} = 15387 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q_{3c} = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - Q_{1c} &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - 14495 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 68 + T_{32} \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{31} + 68 \cdot T_{32} - 1036392 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{33} \cdot 68 + T_{34} \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{33} + 68 \cdot T_{34} + 50732 &= 0 \\ T_{33} + T_{34} &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 34 + T_{32} \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T_{33} \cdot 34 - T_{34} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{31} + 34 T_{32} - 34 T_{33} - 34 T_{34} - 543562 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} - T_{33} - T_{34} &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{31} &= 7620 \text{ N} \\ T_{32} &= 7620 \text{ N} \\ T_{33} &= -373 \text{ N} \\ T_{34} &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.2.1.5 Reações na seção junto à ancoragem 4**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{4c} = 14495 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q_{4c} = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - Q_{4c} &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - 13603 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} &= 13603 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 68 + T_{42} \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{41} + 68 \cdot T_{42} - 972614 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} &= 14303 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{43} \cdot 68 + T_{44} \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{43} + 68 \cdot T_{44} + 47610 &= 0 \\ T_{43} + T_{44} &= -700 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 34 + T_{42} \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T_{43} \cdot 34 - T_{44} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{41} + 34 T_{42} - 34 T_{43} - 34 T_{44} - 510112 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} - T_{43} - T_{44} &= 15003 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 13603 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 14303 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -700 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15003 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{41} &= 7151 \text{ N} \\ T_{42} &= 7151 \text{ N} \\ T_{43} &= -350 \text{ N} \\ T_{44} &= -350 \text{ N} \end{aligned}$$

### 7.3.2.2 Reações nos tubos verticais da torre – OPERAÇÃO NORMAL do elevador – ANCORAGENS 1 a 5

#### 7.3.2.2.1 Reações na seção junto à ancoragem 1

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja:

$$Q_{1c} = 55940 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q_{1c} = 55048 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} - Q_{1c} &= 0 \\ T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} - 55048 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14} &= 55048 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{11} \cdot 68 + T_{12} \cdot 68 - 55048 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{11} + 68 \cdot T_{12} - 3935932 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} &= 57881 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{13} \cdot 68 + T_{14} \cdot 68 + 55048 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{13} + 68 \cdot T_{14} + 192668 &= 0 \\ T_{13} + T_{14} &= -2833 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{11} \cdot 34 + T_{12} \cdot 34 - 55048 \cdot 37,5 - T_{13} \cdot 34 - T_{14} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{11} + 34 T_{12} - 34 T_{13} - 34 T_{14} - 2064300 &= 0 \\ T_{11} + T_{12} - T_{13} - T_{14} &= 60714 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 55048 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 57881 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -2833 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 60714 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{11} &= 28940 \text{ N} \\ T_{12} &= 28940 \text{ N} \\ T_{13} &= -1416 \text{ N} \\ T_{14} &= -1416 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.2.2.2 Reações na seção junto à ancoragem 2**

A ancoragem 2 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação dinâmica da cabina, ou seja:

$$Q2c = 55048 - 4 \cdot 223 - 38769 \Rightarrow Q2c = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T21 + T22 + T23 + T24 - Q1c &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 - 15387 &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 &= 15387 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T21 \cdot 68 + T22 \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T21 + 68 \cdot T22 - 1100170 &= 0 \\ T21 + T22 &= 16179 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T23 \cdot 68 + T24 \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T23 + 68 \cdot T24 + 53854 &= 0 \\ T23 + T24 &= -792 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T21 \cdot 34 + T22 \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T23 \cdot 34 - T24 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T21 + 34 T22 - 34 T23 - 34 T24 - 577012 &= 0 \\ T21 + T22 - T23 - T24 &= 16971 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 15387 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 16179 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -792 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 16971 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T21 &= 8089 \text{ N} \\ T22 &= 8089 \text{ N} \\ T23 &= -396 \text{ N} \\ T24 &= -396 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.2.2.3 Reações na seção junto à ancoragem 3**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{3c} = 15387 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q_{3c} = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - Q_{1c} &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - 14495 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 68 + T_{32} \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{31} + 68 \cdot T_{32} - 1036392 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{33} \cdot 68 + T_{34} \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{33} + 68 \cdot T_{34} + 50732 &= 0 \\ T_{33} + T_{34} &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 34 + T_{32} \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T_{33} \cdot 34 - T_{34} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{31} + 34 T_{32} - 34 T_{33} - 34 T_{34} - 543562 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} - T_{33} - T_{34} &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{31} &= 7620 \text{ N} \\ T_{32} &= 7620 \text{ N} \\ T_{33} &= -373 \text{ N} \\ T_{34} &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.2.2.4 Reações na seção junto à ancoragem 4**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{4c} = 14495 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q_{4c} = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - Q_{4c} = 0$$

$$T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - 13603 = 0$$

$$T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} = 13603$$

(equação 1)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$T_{41} \cdot 68 + T_{42} \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 = 0$$

$$68 \cdot T_{41} + 68 \cdot T_{42} - 972614 = 0$$

$$T_{41} + T_{42} = 14303$$

(equação 2)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$T_{43} \cdot 68 + T_{44} \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 = 0$$

$$68 \cdot T_{43} + 68 \cdot T_{44} + 47610 = 0$$

$$T_{43} + T_{44} = -700$$

(equação 3)

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$T_{41} \cdot 34 + T_{42} \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T_{43} \cdot 34 - T_{44} \cdot 34 = 0$$

$$34 T_{41} + 34 T_{42} - 34 T_{43} - 34 T_{44} - 510112 = 0$$

$$T_{41} + T_{42} - T_{43} - T_{44} = 15003$$

(equação 4)

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 13603$$

$$1 + 1 + 0 + 0 = 14303$$

$$0 + 0 + 1 + 1 = -700$$

$$1 + 1 - 1 - 1 = 15003$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$T_{41} = 7151 \text{ N}$$

$$T_{42} = 7151 \text{ N}$$

$$T_{43} = -350 \text{ N}$$

$$T_{44} = -350 \text{ N}$$



**7.3.2.2.5 Reações na seção junto à ancoragem 5**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q5c = 13603 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q5c = 12711 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$T51 + T52 + T53 + T54 - Q1c = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 - 12711 = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 = 12711$$

(equação 1)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$T51 \cdot 68 + T52 \cdot 68 - 12711 \cdot 71,5 = 0$$

$$68 \cdot T51 + 68 \cdot T52 - 908836 = 0$$

$$T51 + T52 = 13365$$

(equação 2)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$T53 \cdot 68 + T54 \cdot 68 + 12711 \cdot 3,5 = 0$$

$$68 \cdot T53 + 68 \cdot T54 + 44488 = 0$$

$$T53 + T54 = -654$$

(equação 3)

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$T51 \cdot 34 + T52 \cdot 34 - 12711 \cdot 37,5 - T53 \cdot 34 - T54 \cdot 34 = 0$$

$$34 T51 + 34 T52 - 34 T53 - 34 T54 - 476662 = 0$$

$$T51 + T52 - T53 - T54 = 14019$$

(equação 4)

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 12711$$

$$1 + 1 + 0 + 0 = 13365$$

$$0 + 0 + 1 + 1 = -654$$

$$1 + 1 - 1 - 1 = 14019$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$T51 = 6682 \text{ N}$$

$$T52 = 6682 \text{ N}$$

$$T53 = -327 \text{ N}$$

$$T54 = -327 \text{ N}$$



**7.3.2.3 Tensões de compressão nas colunas verticais devido à carga móvel**  
**OPERAÇÃO NORMAL do elevador**

**ANCORAGENS zero a 4**

**7.3.2.3.1 Tensão de compressão na ancoragem zero**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{0Qc1} = T01 / A$ $\sigma_{0Qc1} = 29409 / 7,48$ $\sigma_{0Qc1} = 3932 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{0Qc2} = T02 / A$ $\sigma_{0Qc2} = 29409 / 7,48$ $\sigma_{0Qc2} = 3932 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{0Qc3} = T03 / A$ $\sigma_{0Qc3} = - 1439 / 7,48$ $\sigma_{0Qc3} = - 192 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{0Qc4} = T04 / A$ $\sigma_{0Qc4} = - 1439 / 7,48$ $\sigma_{0Qc4} = - 192 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.2.3.2 Tensão de compressão na ancoragem 1**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{1Qc1} = T11 / A$ $\sigma_{1Qc1} = 8558 / 7,48$ $\sigma_{1Qc1} = 1144 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{1Qc2} = T12 / A$ $\sigma_{1Qc2} = 8558 / 7,48$ $\sigma_{1Qc2} = 1144 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{1Qc3} = T13 / A$ $\sigma_{1Qc3} = - 419 / 7,48$ $\sigma_{1Qc3} = - 56 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{1Qc4} = T14 / A$ $\sigma_{1Qc4} = - 419 / 7,48$ $\sigma_{1Qc4} = - 56 \text{ N / cm}^2$	(tração)



**7.3.2.3.3 Tensão de compressão na ancoragem 2**

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{2Qc1} = T21 / A$ $\sigma_{2Qc1} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{2Qc1} = 1081 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{2Qc2} = T22 / A$ $\sigma_{2Qc2} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{2Qc2} = 1081 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{2Qc3} = T23 / A$ $\sigma_{2Qc3} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{2Qc3} = - 53 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{2Qc4} = T24 / A$ $\sigma_{2Qc4} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{2Qc4} = - 53 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.2.3.4 Tensão de compressão na ancoragem 3**

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{3Qc1} = T31 / A$ $\sigma_{3Qc1} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3Qc1} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{3Qc2} = T32 / A$ $\sigma_{3Qc2} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3Qc2} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{3Qc3} = T33 / A$ $\sigma_{3Qc3} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3Qc3} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{3Qc4} = T34 / A$ $\sigma_{3Qc4} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3Qc4} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.2.3.5 Tensão de compressão na ancoragem 4**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{4Qc1} = T41 / A$ $\sigma_{4Qc1} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4Qc1} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{4Qc2} = T42 / A$ $\sigma_{4Qc2} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4Qc2} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{4Qc3} = T43 / A$ $\sigma_{4Qc3} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4Qc3} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{4Qc4} = T44 / A$ $\sigma_{4Qc4} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4Qc4} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)





**7.3.2.4.3 Tensão de compressão na ancoragem 3**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{3Qc1} = T31 / A$ $\sigma_{3Qc1} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3Qc1} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{3Qc2} = T32 / A$ $\sigma_{3Qc2} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3Qc2} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{3Qc3} = T33 / A$ $\sigma_{3Qc3} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3Qc3} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{3Qc4} = T34 / A$ $\sigma_{3Qc4} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3Qc4} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.2.4.4 Tensão de compressão na ancoragem 4**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{4Qc1} = T41 / A$ $\sigma_{4Qc1} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4Qc1} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{4Qc2} = T42 / A$ $\sigma_{4Qc2} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4Qc2} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{4Qc3} = T43 / A$ $\sigma_{4Qc3} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4Qc3} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{4Qc4} = T44 / A$ $\sigma_{4Qc4} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4Qc4} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)



**7.3.2.4.5 Tensão de compressão na ancoragem 5**

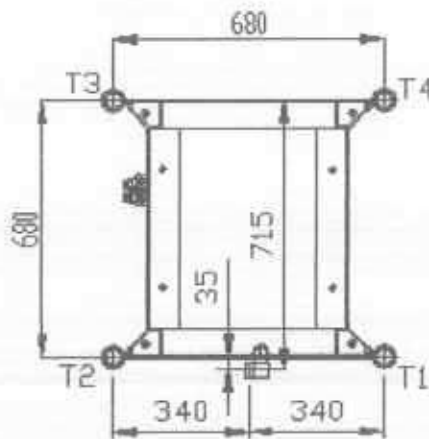
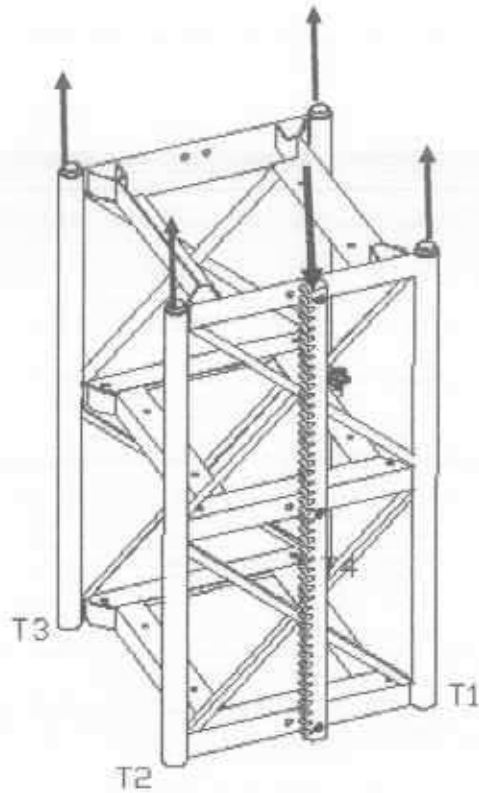
<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{5Qc1} = T51 / A$ $\sigma_{5Qc1} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc1} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{5Qc2} = T52 / A$ $\sigma_{5Qc2} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc2} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{5Qc3} = T53 / A$ $\sigma_{5Qc3} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc3} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{5Qc4} = T54 / A$ $\sigma_{5Qc4} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc4} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)



**7.3.3 Tensão de compressão devido à carga móvel**

**FREAGEM DE EMERGENCIA**

A carga móvel atua sobre a cremalheira, com valor dado igual a 96421 N de acordo com o item 7.1.3. As reações nos tubos verticais são dadas conforme segue:



**7.3.3.1 Reações nos tubos verticais da torre**  
**Elevador em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA**

**- ANCORAGENS zero a 4**

**7.3.3.1.1 Reações na seção junto à base (ancoragem zero)**

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T01 + T02 + T03 + T04 - Q0cf &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 - 96421 &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 &= 96421 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T01 \cdot 68 + T02 \cdot 68 - 96421 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T01 + 68 \cdot T02 - 6894101 &= 0 \\ T01 + T02 &= 101384 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T03 \cdot 68 + T04 \cdot 68 + 96421 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T03 + 68 \cdot T04 + 337473 &= 0 \\ T03 + T04 &= - 4963 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatorio dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T01 \cdot 34 + T02 \cdot 34 - 96421 \cdot 37,5 - T03 \cdot 34 - T04 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T01 + 34 T02 - 34 T03 - 34 T04 - 3615787 &= 0 \\ T01 + T02 - T03 - T04 &= 106347 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 96421 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 101384 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= - 4963 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 106347 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T01 &= 50692 \text{ N} \\ T02 &= 50692 \text{ N} \\ T03 &= - 2481 \text{ N} \\ T04 &= - 2481 \text{ N} \end{aligned}$$



### 7.3.3.1.2 Reações na seção junto à ancoragem 1

A ancoragem 1 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação dinâmica da cabina, ou seja:

$$Q1cf = 96421 - 4.223 - 79250 \Rightarrow Q1cf = 16279 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T11 + T12 + T13 + T14 - Q1cf &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 - 16279 &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 &= 16279 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T11 \cdot 68 + T12 \cdot 68 - 16279 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T11 + 68 \cdot T12 - 1163948 &= 0 \\ T11 + T12 &= 17117 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T13 \cdot 68 + T14 \cdot 68 + 16279 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T13 + 68 \cdot T14 + 56976 &= 0 \\ T13 + T14 &= -838 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T11 \cdot 34 + T12 \cdot 34 - 16279 \cdot 37,5 - T13 \cdot 34 - T14 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T11 + 34 T12 - 34 T13 - 34 T14 - 610462 &= 0 \\ T11 + T12 - T13 - T14 &= 17955 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 16279 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 17117 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -838 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 17955 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T11 &= 8558 \text{ N} \\ T12 &= 8558 \text{ N} \\ T13 &= -419 \text{ N} \\ T14 &= -419 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.3.1.3 Reações na seção junto à ancoragem 2**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{2c} = 16279 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{2c} = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} - Q_{2c} &= 0 \\ T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} - 15387 &= 0 \\ T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} &= 15387 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{21} \cdot 68 + T_{22} \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{21} + 68 \cdot T_{22} - 1100170 &= 0 \\ T_{21} + T_{22} &= 16179 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{23} \cdot 68 + T_{24} \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{23} + 68 \cdot T_{24} + 53855 &= 0 \\ T_{23} + T_{24} &= -792 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{21} \cdot 34 + T_{22} \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T_{23} \cdot 34 - T_{24} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{21} + 34 T_{22} - 34 T_{23} - 34 T_{24} - 577012 &= 0 \\ T_{21} + T_{22} - T_{23} - T_{24} &= 16971 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 15387 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 16179 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -792 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 16971 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{21} &= 8089 \text{ N} \\ T_{22} &= 8089 \text{ N} \\ T_{23} &= -396 \text{ N} \\ T_{24} &= -396 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.3.1.4 Reações na seção junto à ancoragem 3**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{3cf} = 15387 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{3cf} = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - Q_{3cf} &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - 14495 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 68 + T_{32} \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{31} + 68 \cdot T_{32} - 1036392 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{33} \cdot 68 + T_{34} \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{33} + 68 \cdot T_{34} + 50732 &= 0 \\ T_{33} + T_{34} &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 34 + T_{32} \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T_{33} \cdot 34 - T_{34} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{31} + 34 T_{32} - 34 T_{33} - 34 T_{34} - 543562 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} - T_{33} - T_{34} &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{31} &= 7620 \text{ N} \\ T_{32} &= 7620 \text{ N} \\ T_{33} &= -373 \text{ N} \\ T_{34} &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$

### 7.3.3.1.5 Reações na seção junto à ancoragem 4

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{4fc} = 14495 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{3cf} = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - Q_{4cf} &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - 13603 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} &= 13603 \quad \text{(equação 1)} \end{aligned}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 68 + T_{42} \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{41} + 68 \cdot T_{42} - 972614 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} &= 14303 \quad \text{(equação 2)} \end{aligned}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{43} \cdot 68 + T_{44} \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{43} + 68 \cdot T_{44} + 47610 &= 0 \\ T_{43} + T_{44} &= -700 \quad \text{(equação 3)} \end{aligned}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 34 + T_{42} \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T_{43} \cdot 34 - T_{44} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{41} + 34 T_{42} - 34 T_{43} - 34 T_{44} - 510112 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} - T_{43} - T_{44} &= 15003 \quad \text{(equação 4)} \end{aligned}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 13603 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 14303 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -700 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15003 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{41} &= 7151 \text{ N} \\ T_{42} &= 7151 \text{ N} \\ T_{43} &= -350 \text{ N} \\ T_{44} &= -350 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.3.2 Reações nos tubos verticais da torre**  
**Elevador em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA**

**- ANCORAGENS 1 a 5**

**7.3.3.2.1 Reações na seção junto à ancoragem 1**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja:

$$Q1cf = 96421 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q1cf = 95529 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T11 + T12 + T13 + T14 - Q1cf &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 - 95529 &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 &= 95529 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T11 \cdot 68 + T12 \cdot 68 - 95529 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T11 + 68 \cdot T12 - 6830323 &= 0 \\ T11 + T12 &= 100446 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T13 \cdot 68 + T14 \cdot 68 + 95529 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T13 + 68 \cdot T14 + 334351 &= 0 \\ T13 + T14 &= -4917 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T11 \cdot 34 + T12 \cdot 34 - 95529 \cdot 37,5 - T13 \cdot 34 - T14 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T11 + 34 T12 - 34 T13 - 34 T14 - 3582337 &= 0 \\ T11 + T12 - T13 - T14 &= 105362 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 95529 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 100446 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -4917 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 105362 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T11 &= 50222 \text{ N} \\ T12 &= 50222 \text{ N} \\ T13 &= -2458 \text{ N} \\ T14 &= -2458 \text{ N} \end{aligned}$$

**7.3.3.2.2 Reações na seção junto à ancoragem 2**

A ancoragem 2 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação dinâmica da cabina, ou seja:

$$Q2c = 95529 - 4 \cdot 223 - 79250 \Rightarrow Q2c = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T21 + T22 + T23 + T24 - Q2c &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 - 15387 &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 &= 15387 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T21 \cdot 68 + T22 \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T21 + 68 \cdot T22 - 1100170 &= 0 \\ T21 + T22 &= 16179 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T23 \cdot 68 + T24 \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T23 + 68 \cdot T24 + 53855 &= 0 \\ T23 + T24 &= -792 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T1 \cdot 34 + T22 \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T23 \cdot 34 - T24 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T1 + 34 T22 - 34 T23 - 34 T24 - 577012 &= 0 \\ T21 + T22 - T23 - T24 &= 16971 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 15387 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 16179 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -792 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 16971 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T21 &= 8089 \text{ N} \\ T22 &= 8089 \text{ N} \\ T23 &= -396 \text{ N} \\ T24 &= -396 \text{ N} \end{aligned}$$

### 7.3.3.2.3 Reações na seção junto à ancoragem 3

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{3c} = 15387 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{3c} = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - Q_{3c} &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} - 14495 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} + T_{33} + T_{34} &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 68 + T_{32} \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{31} + 68 \cdot T_{32} - 1036392 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{33} \cdot 68 + T_{34} \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{33} + 68 \cdot T_{34} + 50732 &= 0 \\ T_{33} + T_{34} &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{31} \cdot 34 + T_{32} \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T_{33} \cdot 34 - T_{34} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{31} + 34 T_{32} - 34 T_{33} - 34 T_{34} - 543562 &= 0 \\ T_{31} + T_{32} - T_{33} - T_{34} &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{31} &= 7620 \text{ N} \\ T_{32} &= 7620 \text{ N} \\ T_{33} &= -373 \text{ N} \\ T_{34} &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.3.2.4 Reações na seção junto à ancoragem 4**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja:

$$Q_{4c} = 14495 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{4c} = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - Q_{4c} &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - 13603 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} &= 13603 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 68 + T_{42} \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{41} + 68 \cdot T_{42} - 972614 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} &= 14303 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{43} \cdot 68 + T_{44} \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{43} + 68 \cdot T_{44} + 47610 &= 0 \\ T_{43} + T_{44} &= -700 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 34 + T_{42} \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T_{43} \cdot 34 - T_{44} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{41} + 34 T_{42} - 34 T_{43} - 34 T_{44} - 510112 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} - T_{43} - T_{44} &= 15003 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 13603 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 14303 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -700 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15003 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{41} &= 7151 \text{ N} \\ T_{42} &= 7151 \text{ N} \\ T_{43} &= -350 \text{ N} \\ T_{44} &= -350 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.3.2.5 Reações na seção junto à ancoragem 5**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q5c = 13603 - 4 \cdot 360 \Rightarrow Q5c = 12711 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$T51 + T52 + T53 + T54 - Q1c = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 - 12711 = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 = 12711$$

(equação 1)

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$T51 \cdot 68 + T52 \cdot 68 - 12711 \cdot 71,5 = 0$$

$$68 \cdot T51 + 68 \cdot T52 - 908836 = 0$$

$$T51 + T52 = 13365$$

(equação 2)

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$T53 \cdot 68 + T54 \cdot 68 + 12711 \cdot 3,5 = 0$$

$$68 \cdot T53 + 68 \cdot T54 + 44488 = 0$$

$$T53 + T54 = -654$$

(equação 3)

Somatorio dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$T51 \cdot 34 + T52 \cdot 34 - 12711 \cdot 37,5 - T53 \cdot 34 - T54 \cdot 34 = 0$$

$$34 T51 + 34 T52 - 34 T53 - 34 T54 - 476662 = 0$$

$$T51 + T52 - T53 - T54 = 14019$$

(equação 4)

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 12711$$

$$1 + 1 + 0 + 0 = 13365$$

$$0 + 0 + 1 + 1 = -654$$

$$1 + 1 - 1 - 1 = 14019$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$T51 = 6682 \text{ N}$$

$$T52 = 6682 \text{ N}$$

$$T53 = -327 \text{ N}$$

$$T54 = -327 \text{ N}$$

### 7.3.3.3 Tensões de compressão nas colunas verticais devido à carga móvel Elevador em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA

#### ANCORAGENS ZERO a 4

##### 7.3.3.3.1 Tensão de compressão na ancoragem zero

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{ocf1} = T01 / A$ $\sigma_{ocf1} = 50692 / 7,48$ $\sigma_{ocf1} = 6777 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{ocf2} = T02 / A$ $\sigma_{ocf2} = 50692 / 7,48$ $\sigma_{ocf2} = 6777 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{ocf3} = T03 / A$ $\sigma_{ocf3} = - 2481 / 7,48$ $\sigma_{ocf3} = - 331 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{ocf4} = T04 / A$ $\sigma_{ocf4} = - 2481 / 7,48$ $\sigma_{ocf4} = - 331 \text{ N / cm}^2$

##### 7.3.3.3.2 Tensão de compressão na ancoragem 1

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{1cf1} = T11 / A$ $\sigma_{1cf1} = 8558 / 7,48$ $\sigma_{1cf1} = 1144 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{1cf2} = T12 / A$ $\sigma_{1cf2} = 8558 / 7,48$ $\sigma_{1cf2} = 1144 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{1cf3} = T13 / A$ $\sigma_{1cf3} = - 419 / 7,48$ $\sigma_{1cf3} = - 56 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{1cf4} = T14 / A$ $\sigma_{1cf4} = - 419 / 7,48$ $\sigma_{1cf4} = - 56 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.3.3.3 Tensão de compressão na ancoragem 2**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{2cf1} = T21 / A$ $\sigma_{2cf1} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{2cf1} = 1081 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{2cf2} = T22 / A$ $\sigma_{2cf2} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{2cf2} = 1081 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{3cf3} = T23 / A$ $\sigma_{3cf3} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{3cf3} = - 53 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{2cf4} = T24 / A$ $\sigma_{2cf4} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{2cf4} = - 53 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.3.3.4 Tensão de compressão na ancoragem 3**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{3cf1} = T31 / A$ $\sigma_{3cf1} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3cf1} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{3cf2} = T32 / A$ $\sigma_{3cf2} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3cf2} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{3cf3} = T33 / A$ $\sigma_{3cf3} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3cf3} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{3cf4} = T34 / A$ $\sigma_{3cf4} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3cf4} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)



**7.3.3.3.5 Tensão de compressão na ancoragem 4**

**Tubo T1**  $\sigma_{4cf1} = T41 / A$   
 $\sigma_{4cf1} = 7151 / 7,48$   
 $\sigma_{4cf1} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**  $\sigma_{4cf2} = T42 / A$   
 $\sigma_{2cf2} = 7151 / 7,48$   
 $\sigma_{4cf2} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**  $\sigma_{4cf3} = T43 / A$   
 $\sigma_{4cf3} = - 350 / 7,48$   
 $\sigma_{4cf3} = - 47 \text{ N / cm}^2$  (tração)

**Tubo T4**  $\sigma_{4cf4} = T04 / A$   
 $\sigma_{4cf4} = - 350 / 7,48$   
 $\sigma_{4cf4} = - 47 \text{ N / cm}^2$  (tração)





**7.3.3.4.3 Tensão de compressão na ancoragem 3**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{3cf1} = T31 / A$ $\sigma_{3cf1} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3cf1} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{3cf2} = T32 / A$ $\sigma_{3cf2} = 7620 / 7,48$ $\sigma_{3cf2} = 1019 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{3cf3} = T33 / A$ $\sigma_{3cf3} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3cf3} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{3cf4} = T34 / A$ $\sigma_{3cf4} = - 373 / 7,48$ $\sigma_{3cf4} = - 50 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.3.4.4 Tensão de compressão na ancoragem 4**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{4cf1} = T41 / A$ $\sigma_{4cf1} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4cf1} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{4cf2} = T42 / A$ $\sigma_{4cf2} = 7151 / 7,48$ $\sigma_{4cf2} = 956 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{4cf3} = T43 / A$ $\sigma_{4cf3} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4cf3} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{4cf4} = T04 / A$ $\sigma_{4cf4} = - 350 / 7,48$ $\sigma_{4cf4} = - 47 \text{ N / cm}^2$	(tração)



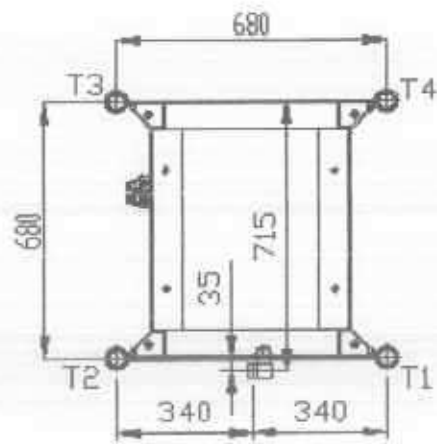
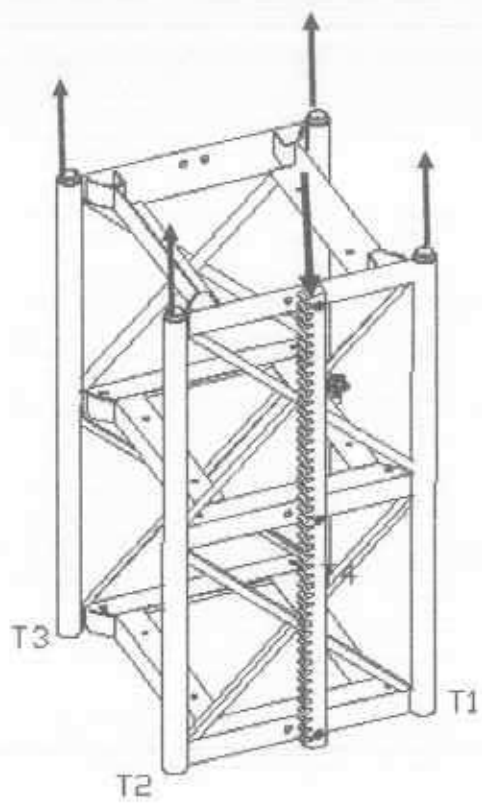
**7.3.3.4.5 Tensão de compressão na ancoragem 5**

<b><u>Tubo T1</u></b>	$\sigma_{5Qc1} = T51 / A$ $\sigma_{5Qc1} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc1} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T2</u></b>	$\sigma_{5Qc2} = T52 / A$ $\sigma_{5Qc2} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc2} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<b><u>Tubo T3</u></b>	$\sigma_{5Qc3} = T53 / A$ $\sigma_{5Qc3} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc3} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<b><u>Tubo T4</u></b>	$\sigma_{5Qc4} = T54 / A$ $\sigma_{5Qc4} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc4} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)



**7.3.4 Tensão de compressão na torre**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO**

Para o elevador fora de serviço a cabina deve ocupar a posição junto à base, de modo que a tensão de compressão nas ancoragens superiores para esta condição é dada pelo peso das cremalheiras acima da ancoragem considerada.. A carga móvel atua sobre a cremalheira, com valor dado igual a 33871 N para a ancoragem zero, de acordo com o item 7.1.4. As reações nos tubos verticais são diferentes e dadas conforme segue:



### 7.3.4.1 Reações nos tubos verticais – ELEVADOR FORA DE OPERAÇÃO

#### ANCORAGENS zero a 4

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T01 + T02 + T03 + T04 - Qof &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 - 33871 &= 0 \\ T01 + T02 + T03 + T04 &= 33871 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T01 \cdot 68 + T02 \cdot 68 - 33871 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T01 + 68 \cdot T02 - 2421776 &= 0 \\ T01 + T02 &= 35614 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatorio dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T03 \cdot 68 + T04 \cdot 68 + 33871 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T03 + 68 \cdot T04 + 118548 &= 0 \\ T03 + T04 &= - 1743 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatorio dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T01 \cdot 34 + T02 \cdot 34 - 33871 \cdot 37,5 - T03 \cdot 34 - T04 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T01 + 34 T02 - 34 T03 - 34 T04 - 1270162 &= 0 \\ T01 + T02 - T03 - T04 &= 37358 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 33871 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 35614 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= - 1743 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 37358 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T01 &= 17807 \text{ N} \\ T02 &= 17807 \text{ N} \\ T03 &= - 872 \text{ N} \\ T04 &= - 872 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.1.2 Reações na seção junto à ancoragem 1**

A ancoragem 1 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação da arcada e cabina, ou seja:

$$Q1f = 33871 - 16700 - 4.223 \Rightarrow Q1f = 16279 \text{ N}$$

A carga supra definida corresponde unicamente ao peso da cremalheira acima do ponto considerado, correspondente a 73 peças.

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T11 + T12 + T13 + T14 - Q1f &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 - 16279 &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 &= 16279 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T11 \cdot 68 + T12 \cdot 68 - 16279 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T11 + 68 \cdot T12 - 1163948 &= 0 \\ T11 + T12 &= 17117 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T13 \cdot 68 + T14 \cdot 68 + 16279 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T13 + 68 \cdot T14 + 56976 &= 0 \\ T13 + T14 &= - 838 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T11 \cdot 34 + T12 \cdot 34 - 16279 \cdot 37,5 - T13 \cdot 34 - T14 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T11 + 34 T12 - 34 T13 - 34 T14 - 610462 &= 0 \\ T11 + T12 - T13 - T14 &= 17955 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 16279 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 17117 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= - 838 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 17955 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T11 &= 8558 \text{ N} \\ T12 &= 8558 \text{ N} \\ T13 &= - 419 \text{ N} \\ T14 &= - 419 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.1.3 Reações na seção junto à ancoragem 2**

A carga neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q2f = 16279 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q2f = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T21 + T22 + T23 + T24 - Q2f &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 - 15387 &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 &= 15387 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T21 \cdot 68 + T22 \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T21 + 68 \cdot T22 - 1100170 &= 0 \\ T21 + T22 &= 16179 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T23 \cdot 68 + T24 \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T23 + 68 \cdot T24 + 53854 &= 0 \\ T23 + T24 &= -792 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T21 \cdot 34 + T22 \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T23 \cdot 34 - T24 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T21 + 34 T22 - 34 T23 - 34 T24 - 577012 &= 0 \\ T21 + T22 - T23 - T24 &= 16971 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 15387 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 16179 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -792 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 16971 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T21 &= 8089 \text{ N} \\ T22 &= 8089 \text{ N} \\ T23 &= -396 \text{ N} \\ T24 &= -396 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.1.4 Reações na seção junto à ancoragem 3**

A carga neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q3f = 15387 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q3f = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T31 + T32 + T33 + T34 - Q3f &= 0 \\ T31 + T42 + T43 + T44 - 14495 &= 0 \\ T31 + T32 + T33 + T34 &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T31 \cdot 68 + T32 \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T31 + 68 \cdot T32 - 1036392 &= 0 \\ T31 + T32 &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T33 \cdot 68 + T34 \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T33 + 68 \cdot T34 + 50732 &= 0 \\ T33 + T34 &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T31 \cdot 34 + T32 \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T33 \cdot 34 - T34 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T31 + 34 T32 - 34 T33 - 34 T34 - 543562 &= 0 \\ T31 + T32 - T33 - T34 &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T31 &= 7620 \text{ N} \\ T32 &= 7620 \text{ N} \\ T33 &= -373 \text{ N} \\ T34 &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$



#### 7.3.4.1.5 Reações na seção junto à ancoragem 4

A carga neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q_{4f} = 14495 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q_{4f} = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - Q_{4c} &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} - 13603 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} + T_{43} + T_{44} &= 13603 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 68 + T_{42} \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{41} + 68 \cdot T_{42} - 972614 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} &= 14303 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T_{43} \cdot 68 + T_{44} \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T_{43} + 68 \cdot T_{44} + 47610 &= 0 \\ T_{43} + T_{44} &= -700 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T_{41} \cdot 34 + T_{42} \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T_{43} \cdot 34 - T_{44} \cdot 34 &= 0 \\ 34 T_{41} + 34 T_{42} - 34 T_{43} - 34 T_{44} - 510112 &= 0 \\ T_{41} + T_{42} - T_{43} - T_{44} &= 15003 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 13603 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 14303 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -700 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15003 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T_{41} &= 7151 \text{ N} \\ T_{42} &= 7151 \text{ N} \\ T_{43} &= -350 \text{ N} \\ T_{44} &= -350 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.2 Reações nos tubos verticais – ELEVADOR FORA DE OPERAÇÃO**

**ANCORAGENS 1 a 5**

**7.3.4.2.1 Reações na seção junto à ancoragem 1**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja:

$$Q1c = 33871 - 4 \cdot 223 \quad \Rightarrow \quad Q1c = 32979 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T11 + T12 + T13 + T14 - Q1f &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 - 32979 &= 0 \\ T11 + T12 + T13 + T14 &= 32979 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T11 \cdot 68 + T12 \cdot 68 - 32979 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T11 + 68 \cdot T12 - 2357998 &= 0 \\ T11 + T12 &= 34676 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T13 \cdot 68 + T14 \cdot 68 + 32979 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T13 + 68 \cdot T14 + 115426 &= 0 \\ T13 + T14 &= -1697 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T11 \cdot 34 + T12 \cdot 34 - 32979 \cdot 37,5 - T13 \cdot 34 - T14 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T11 + 34 T12 - 34 T13 - 34 T14 - 1236712 &= 0 \\ T11 + T12 - T13 - T14 &= 36374 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 32979 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 34676 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -1697 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 36374 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T11 &= 17338 \text{ N} \\ T12 &= 17338 \text{ N} \\ T13 &= -848 \text{ N} \\ T14 &= -848 \text{ N} \end{aligned}$$



### 7.3.4.2.2 Reações na seção junto à ancoragem 2

A ancoragem 2 se situa acima da posição considerada para a cabina, de modo que a tensão de compressão é definida somente pelo peso próprio das cremalheiras, sendo descontada a ação da arcada e cabina, ou seja:

$$Q2c = 32979 - 4 \cdot 223 - 16700 \Rightarrow Q2c = 15387 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T21 + T22 + T23 + T24 - Q2f &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 - 15387 &= 0 \\ T21 + T22 + T23 + T24 &= 15387 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T21 \cdot 68 + T22 \cdot 68 - 15387 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T21 + 68 \cdot T22 - 1100170 &= 0 \\ T21 + T22 &= 16179 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T23 \cdot 68 + T24 \cdot 68 + 15387 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T23 + 68 \cdot T24 + 53854 &= 0 \\ T23 + T24 &= -792 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T21 \cdot 34 + T22 \cdot 34 - 15387 \cdot 37,5 - T23 \cdot 34 - T24 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T21 + 34 T22 - 34 T23 - 34 T24 - 577012 &= 0 \\ T21 + T22 - T23 - T24 &= 16971 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 15387 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 16179 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -792 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 16971 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T21 &= 8089 \text{ N} \\ T22 &= 8089 \text{ N} \\ T23 &= -396 \text{ N} \\ T24 &= -396 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.2.3 Reações na seção junto à ancoragem 3**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q3f = 15387 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q3f = 14495 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T31 + T32 + T33 + T34 - Q3f &= 0 \\ T31 + T32 + T33 + T34 - 14495 &= 0 \\ T31 + T32 + T33 + T34 &= 14495 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T31 \cdot 68 + T32 \cdot 68 - 14495 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T31 + 68 \cdot T32 - 1036392 &= 0 \\ T31 + T32 &= 15241 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T33 \cdot 68 + T34 \cdot 68 + 14495 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T33 + 68 \cdot T34 + 50732 &= 0 \\ T33 + T34 &= -746 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T31 \cdot 34 + T32 \cdot 34 - 14495 \cdot 37,5 - T33 \cdot 34 - T34 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T31 + 34 T32 - 34 T33 - 34 T34 - 543562 &= 0 \\ T31 + T32 - T33 - T34 &= 15987 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 14495 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 15241 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -746 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15987 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T31 &= 7620 \text{ N} \\ T32 &= 7620 \text{ N} \\ T33 &= -373 \text{ N} \\ T34 &= -373 \text{ N} \end{aligned}$$



**7.3.4.2.4 Reações na seção junto à ancoragem 4**

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q4f = 14495 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q4f = 13603 \text{ N}$$

A carga neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q4f = 14495 - 4 \cdot 223 \Rightarrow Q4f = 13603 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$\begin{aligned} T41 + T42 + T43 + T44 - Q4c &= 0 \\ T41 + T42 + T43 + T44 - 13603 &= 0 \\ T41 + T42 + T43 + T44 &= 13603 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$\begin{aligned} T41 \cdot 68 + T42 \cdot 68 - 13603 \cdot 71,5 &= 0 \\ 68 \cdot T41 + 68 \cdot T42 - 972614 &= 0 \\ T41 + T42 &= 14303 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$\begin{aligned} T43 \cdot 68 + T44 \cdot 68 + 13603 \cdot 3,5 &= 0 \\ 68 \cdot T43 + 68 \cdot T44 + 47610 &= 0 \\ T43 + T44 &= -700 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$\begin{aligned} T41 \cdot 34 + T42 \cdot 34 - 13603 \cdot 37,5 - T43 \cdot 34 - T44 \cdot 34 &= 0 \\ 34 T41 + 34 T42 - 34 T43 - 34 T44 - 510112 &= 0 \\ T41 + T42 - T43 - T44 &= 15003 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 1 + 1 + 1 &= 13603 \\ 1 + 1 + 0 + 0 &= 14303 \\ 0 + 0 + 1 + 1 &= -700 \\ 1 + 1 - 1 - 1 &= 15003 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} T41 &= 7151 \text{ N} \\ T42 &= 7151 \text{ N} \\ T43 &= -350 \text{ N} \\ T44 &= -350 \text{ N} \end{aligned}$$



### 7.3.4.2.5 Reações na seção junto à ancoragem 5

A carga total neste caso é diminuída do peso equivalente a quatro peças de cremalheira, ou seja::

$$Q5c = 13603 - 4 \cdot 360 \Rightarrow Q5c = 12711 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo Z

$$T51 + T52 + T53 + T54 - Q1c = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 - 12711 = 0$$

$$T51 + T52 + T53 + T54 = 12711$$

(equação 1)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T3 e T4

$$T51 \cdot 68 + T52 \cdot 68 - 12711 \cdot 71,5 = 0$$

$$68 \cdot T51 + 68 \cdot T52 - 908836 = 0$$

$$T51 + T52 = 13365$$

(equação 2)

Somatório dos momentos em relação à linha de união de T1 e T2

$$T53 \cdot 68 + T54 \cdot 68 + 12711 \cdot 3,5 = 0$$

$$68 \cdot T53 + 68 \cdot T54 + 44488 = 0$$

$$T53 + T54 = -654$$

(equação 3)

Somatório dos momentos em relação ao centro da torre eixo Y

$$T51 \cdot 34 + T52 \cdot 34 - 12711 \cdot 37,5 - T53 \cdot 34 - T54 \cdot 34 = 0$$

$$34 T51 + 34 T52 - 34 T53 - 34 T54 - 476662 = 0$$

$$T51 + T52 - T53 - T54 = 14019$$

(equação 4)

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 12711$$

$$1 + 1 + 0 + 0 = 13365$$

$$0 + 0 + 1 + 1 = -654$$

$$1 + 1 - 1 - 1 = 14019$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$T51 = 6682 \text{ N}$$

$$T52 = 6682 \text{ N}$$

$$T53 = -327 \text{ N}$$

$$T54 = -327 \text{ N}$$

### 7.3.4.3 Tensões de compressão nas colunas verticais devido à carga móvel Elevador FORA DE OPERAÇÃO

#### ANCORAGENS zero a 4

##### 7.3.4.3.1 Tensão de compressão na ancoragem zero

Tubo T1  $\sigma_{1Qof} = T01 / A$   
 $\sigma_{1Qof} = 17807 / 7,48$   
 $\sigma_{1Qof} = 2380 \text{ N / cm}^2$

Tubo T2  $\sigma_{2Qof} = T02 / A$   
 $\sigma_{2Qof} = 17807 / 7,48$   
 $\sigma_{2Qof} = 2380 \text{ N / cm}^2$

Tubo T3  $\sigma_{3Qof} = T03 / A$   
 $\sigma_{3Qof} = - 872 / 7,48$   
 $\sigma_{3Qof} = - 116 \text{ N / cm}^2$

Tubo T4  $\sigma_{4Qof} = T04 / A$   
 $\sigma_{4Qof} = - 872 / 7,48$   
 $\sigma_{4Qof} = - 116 \text{ N / cm}^2$

##### 7.3.4.3.2 Tensão de compressão na ancoragem 1

Tubo T1  $\sigma_{1Q1f} = T11 / A$   
 $\sigma_{1Q1f} = 8558 / 7,48$   
 $\sigma_{1Q1f} = 1144 \text{ N / cm}^2$

Tubo T2  $\sigma_{2Q1f} = T12 / A$   
 $\sigma_{2Q1f} = 8558 / 7,48$   
 $\sigma_{2Q1f} = 1144 \text{ N / cm}^2$

Tubo T3  $\sigma_{3Q1f} = T13 / A$   
 $\sigma_{3Q1f} = - 419 / 7,48$   
 $\sigma_{3Q1f} = - 56 \text{ N / cm}^2$

Tubo T4  $\sigma_{4Q1f} = T14 / A$   
 $\sigma_{4Q1f} = - 419 / 7,48$   
 $\sigma_{4Q1f} = - 56 \text{ N / cm}^2$



**7.3.4.3.3 Tensão de compressão na ancoragem 2**

**Tubo T1**  $\sigma_{1Q2f} = T21 / A$   
 $\sigma_{1Q2f} = 8089 / 7,48$   
 $\sigma_{1Q2f} = 1081 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**  $\sigma_{2Q2f} = T22 / A$   
 $\sigma_{2Q2f} = 8089 / 7,48$   
 $\sigma_{2Q2f} = 1081 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**  $\sigma_{3Q2f} = T23 / A$   
 $\sigma_{3Q2f} = - 396 / 7,48$   
 $\sigma_{3Q2f} = - 53 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T4**  $\sigma_{4Q2f} = T24 / A$   
 $\sigma_{4Q2f} = - 396 / 7,48$   
 $\sigma_{4Q2f} = - 53 \text{ N / cm}^2$

**7.3.4.3.4 Tensão de compressão na ancoragem 3**

**Tubo T1**  $\sigma_{1Q3f} = T31 / A$   
 $\sigma_{1Q3f} = 7620 / 7,48$   
 $\sigma_{1Q3f} = 1019 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**  $\sigma_{2Q3f} = T32 / A$   
 $\sigma_{2Q3f} = 7620 / 7,48$   
 $\sigma_{2Q3f} = 1019 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**  $\sigma_{3Q3f} = T33 / A$   
 $\sigma_{3Q3f} = - 373 / 7,48$   
 $\sigma_{3Q3f} = - 50 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T4**  $\sigma_{4Q3f} = T34 / A$   
 $\sigma_{4Q3f} = - 373 / 7,48$   
 $\sigma_{4Q3f} = - 50 \text{ N / cm}^2$



**7.3.4.3.5 Tensão de compressão na ancoragem 4**

**Tubo T1**     $\sigma_{1Q4f} = T41 / A$   
                  $\sigma_{1Q4f} = 7151 / 7,48$   
                  $\sigma_{1Q4f} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**     $\sigma_{2Q4f} = T42 / A$   
                  $\sigma_{2Q4f} = 7151 / 7,48$   
                  $\sigma_{2Q4f} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**     $\sigma_{3Q4f} = T43 / A$   
                  $\sigma_{3Q4f} = - 350 / 7,48$   
                  $\sigma_{3Q4f} = - 47 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T4**     $\sigma_{4Q4f} = T44 / A$   
                  $\sigma_{4Q4f} = - 350 / 7,48$   
                  $\sigma_{4Q4f} = - 47 \text{ N / cm}^2$



**7.3.4.4 Tensões de compressão nas colunas verticais devido à carga móvel  
Elevador FORA DE OPERAÇÃO**

**- ANCORAGENS 1 a 5**

**7.3.4.4.1 Tensão de compressão na ancoragem 1**

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{1Q1f} = T_{11} / A$ $\sigma_{1Q1f} = 17338 / 7,48$ $\sigma_{1Q1f} = 2318 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{2Q1f} = T_{12} / A$ $\sigma_{2Q1f} = 17338 / 7,48$ $\sigma_{2Q1f} = 2318 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{3Q1f} = T_{13} / A$ $\sigma_{3Q1f} = - 848 / 7,48$ $\sigma_{3Q1f} = - 113 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{4Q1f} = T_{14} / A$ $\sigma_{4Q1f} = - 848 / 7,48$ $\sigma_{4Q1f} = - 113 \text{ N / cm}^2$	(tração)

**7.3.4.4.2 Tensão de compressão na ancoragem 2**

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{1Q2f} = T_{21} / A$ $\sigma_{1Q2f} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{1Q2f} = 1081 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{2Q2f} = T_{22} / A$ $\sigma_{2Q2f} = 8089 / 7,48$ $\sigma_{2Q2f} = 1081 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{3Q2f} = T_{23} / A$ $\sigma_{3Q2f} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{3Q2f} = - 53 \text{ N / cm}^2$
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{4Q2f} = T_{24} / A$ $\sigma_{4Q2f} = - 396 / 7,48$ $\sigma_{4Q2f} = - 53 \text{ N / cm}^2$



**7.3.4.4.3 Tensão de compressão na ancoragem 3**

**Tubo T1**  $\sigma_{1Q3f} = T_{31} / A$   
 $\sigma_{1Q3f} = 7620 / 7,48$   
 $\sigma_{1Q3f} = 1019 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**  $\sigma_{2Q3f} = T_{32} / A$   
 $\sigma_{2Q3f} = 7620 / 7,48$   
 $\sigma_{2Q3f} = 1019 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**  $\sigma_{3Q3f} = T_{33} / A$   
 $\sigma_{3Q3f} = - 373 / 7,48$   
 $\sigma_{3Q3f} = - 50 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T4**  $\sigma_{4Q3f} = T_{34} / A$   
 $\sigma_{4Q3f} = - 373 / 7,48$   
 $\sigma_{4Q3f} = - 50 \text{ N / cm}^2$

**7.3.4.4.4 Tensão de compressão na ancoragem 4**

**Tubo T1**  $\sigma_{1Q4f} = T_{41} / A$   
 $\sigma_{1Q4f} = 7151 / 7,48$   
 $\sigma_{1Q4f} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T2**  $\sigma_{2Q4f} = T_{42} / A$   
 $\sigma_{2Q4f} = 7151 / 7,48$   
 $\sigma_{2Q4f} = 956 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T3**  $\sigma_{3Q4f} = T_{43} / A$   
 $\sigma_{3Q4f} = - 350 / 7,48$   
 $\sigma_{3Q4f} = - 47 \text{ N / cm}^2$

**Tubo T4**  $\sigma_{4Q4f} = T_{44} / A$   
 $\sigma_{4Q4f} = - 350 / 7,48$   
 $\sigma_{4Q4f} = - 47 \text{ N / cm}^2$



#### 7.3.4.4.5 Tensão de compressão na ancoragem 5

<u>Tubo T1</u>	$\sigma_{5Qc1} = T51 / A$ $\sigma_{5Qc1} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc1} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T2</u>	$\sigma_{5Qc2} = T52 / A$ $\sigma_{5Qc2} = 6682 / 7,48$ $\sigma_{5Qc2} = 893 \text{ N / cm}^2$	
<u>Tubo T3</u>	$\sigma_{5Qc3} = T53 / A$ $\sigma_{5Qc3} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc3} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)
<u>Tubo T4</u>	$\sigma_{5Qc4} = T54 / A$ $\sigma_{5Qc4} = - 327 / 7,48$ $\sigma_{5Qc4} = - 44 \text{ N / cm}^2$	(tração)



### 7.3.5 Momentos fletores na torre devido à carga móvel OPERAÇÃO NORMAL do elevador

#### 7.3.5.1 ANCORAGENS 0 A 4

De acordo com os dados do item 6.1.1.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento em operação normal são dados por:

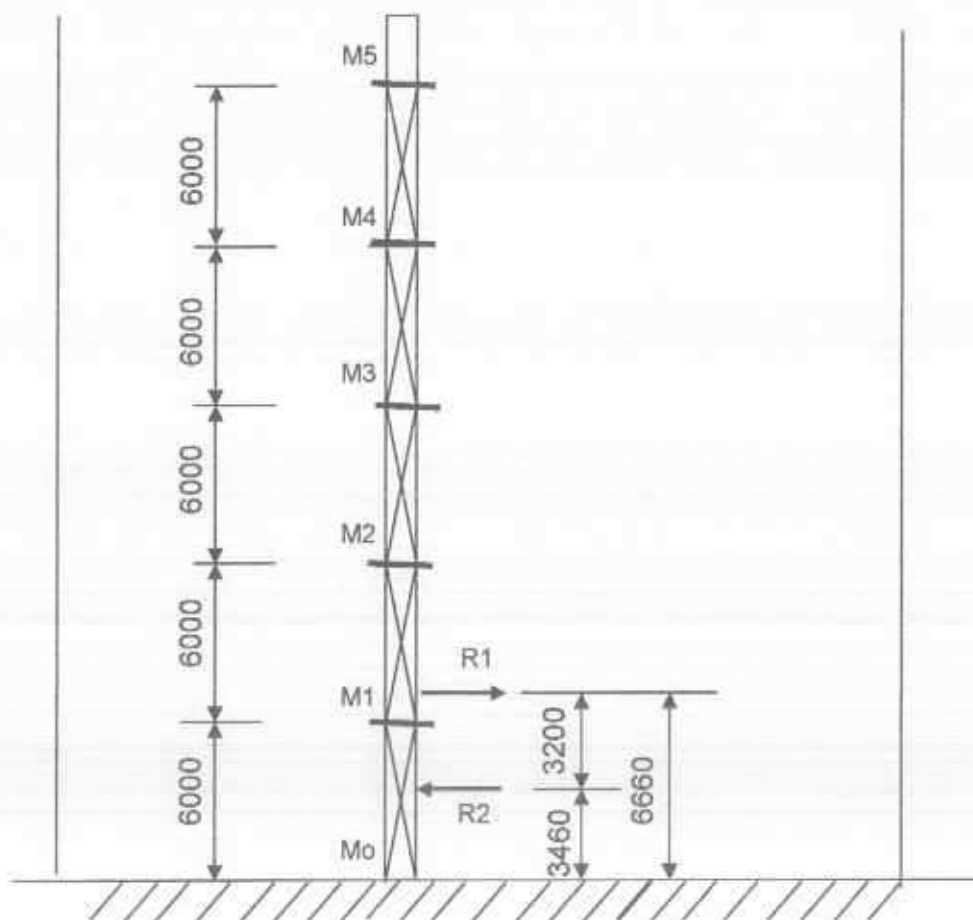
$$R1 = 6340 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 10821 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que deve ser determinado o momento fletor nesta mesma seção a fim de se obter o maior valor de tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre a base e o primeiro ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga engastada em uma extremidade e apoiada na outra, o momento fletor máximo ocorre no ponto de engastamento quando a carga é aplicada numa distancia, a partir da extremidade apoiada, dada por:

$$c = l / (0,3)^{0,5}$$

$$c = 6 / (0,3)^{0,5} \quad \Rightarrow \quad c = 3,46 \text{ m}$$

A reação R2 portanto, é posicionada na distancia supra definida e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.8, como uma ação superposta.



### 7.3.5.1.1 Momentos fletores nas ancoragens 0,1, e 2

Para os três apoios considerados temos:

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para  $l_1 = l_2$ , podemos escrever:

$$M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a_1 = 346 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b_2 = 534 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$\begin{aligned} &= - (10821 \cdot 346 / 600) (600^2 - 346^2) - (- 6340 \cdot 534 / 600) (600^2 - 534^2) \\ &= - (1499398591) + (422314754) \\ &= - 1077083837 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 &= - 1077083837 \\ 600 M_0 + 2400 M_1 + 600 M_2 &= - 1077083837 \\ M_0 + 4 M_1 + M_2 &= - 1795140 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

### 7.3.5.1.2 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2 e 3

Para os três apoios considerados temos:

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2) - \sum(P_2 \cdot b_3 / l_3) (l_3^2 - b_3^2)$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamento no terceiro vão igual a zero, podemos escrever:

$$M_1 \cdot l_2 + 4 M_2 \cdot l_2 + M_3 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$b_2 = 534 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_1 \cdot 600 + 2400 M_2 + M_3 \cdot 600 &= - (- 6340 \cdot 534 / 600) (600^2 - 534^2) \\ M_1 \cdot 600 + 2400 M_2 + M_3 \cdot 600 &= 422314754 \\ M_1 + 4 M_2 + M_3 &= 703857 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$



### 7.3.5.1.3 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l3 + 2 M3 (l3 + l4) + M4 \cdot L4 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l3 = l4$  e carregamento no quarto vão igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M2 \cdot l3 + 4 M3 \cdot l3 + M4 \cdot l3 &= 0 \\ M2 \cdot 600 + 2400 M3 + M4 \cdot 600 &= 0 \\ M2 + 4 M3 + M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

### 7.3.5.1.4 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot L5 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quinto vão igual a zero, e admitindo ainda que o momento no quinto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + 0 &= 0 \\ M3 + 4 M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

### 7.3.5.1.5 Condições de engastamento na ancoragem zero

A condição de engastamento no apoio zero é dada por:

$$\begin{aligned} (M0 \cdot l1 / 3 \cdot E \cdot J) + (M1 \cdot l1 / 6 \cdot E \cdot J) &= 0 \\ M0 + M1 / 2 &= 0 \\ M0 + 0,5 M1 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 5)}$$

### 7.3.5.6 Valores dos momentos nas ancoragens

Para o sistema de cinco equações e cinco incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 4 + 1 + 0 + 0 &= -1795140 \\ 0 + 1 + 4 + 1 + 0 &= 703854 \\ 0 + 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \\ 1 + 0,5 + 0 + 0 + 0 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} M0 &= 306866 \text{ Ncm} \\ M1 &= -613732 \text{ Ncm} \\ M2 &= 352925 \text{ Ncm} \\ M3 &= -94113 \text{ Ncm} \\ M4 &= 23528 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

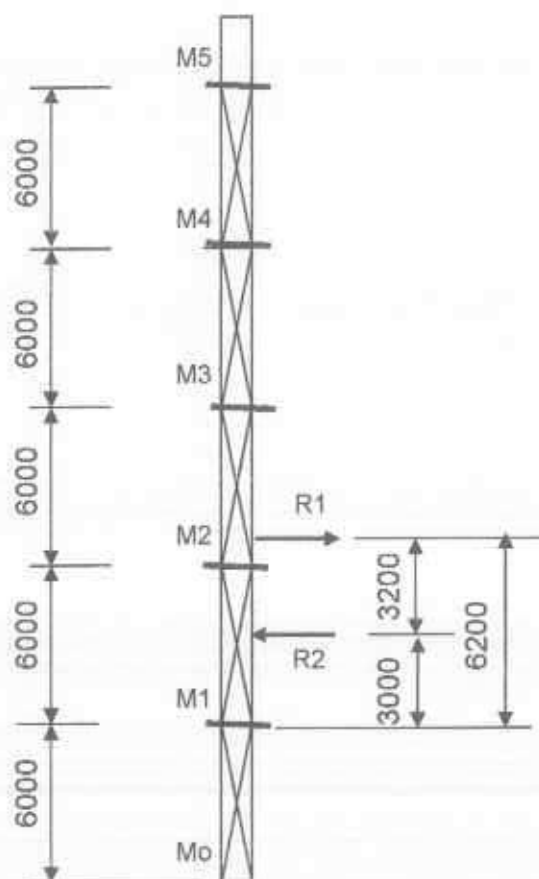
### 7.3.5.2 ANCORAGENS 1 A 5

De acordo com os dados do item 6.1.1.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento em operação normal são dados por:

$$R1 = 6340 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 10821 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que o momento fletor é definido nesta mesma seção a fim de se obter o valor da tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre o primeiro e o segundo ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga apoiada, os momento fletor máximo ocorre entre os apoios quando a maior carga é aplicada no centro do vão.

A reação R2 portanto, é posicionada no centro do vão e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.8, como uma ação superposta.



### 7.3.5.2.1 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2, e 3

Para os três apoios considerados temos:

$$M1 \cdot l_2 + 2 M2 (l_2 + l_3) + M3 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para  $l_2 = l_3$  e admitindo ainda que o momento no primeiro apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$0 + 4 M2 \cdot l_2 + M3 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a1 = 300 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b2 = 580 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$= - (10821 \cdot 300 / 600) (600^2 - 300^2) - (- 6340 \cdot 580 / 600) (600^2 - 580^2)$$

$$= - (1460835000) + (144636533)$$

$$= - 1316198467 \text{ Ncm}$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot l_2 + M3 \cdot l_3 = - 1316198467$$

$$2400 M2 + 600 M3 = - 1316198467$$

$$4 M2 + M3 = - 2193664$$

(equação 1)

### 7.3.5.2.2 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l_3 + 2 M3 (l_3 + l_4) + M4 \cdot l_4 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2) - \sum(P2 \cdot b3 / l3) (l3^2 - b3^2)$$

Para  $l_3 = l_4$ , podemos escrever:

$$M2 \cdot l_3 + 4 M3 \cdot l_3 + M4 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$a2 = 20 \text{ cm}$$

$$M2 \cdot 600 + 2400 \cdot M3 + M4 \cdot 600 = - (-6340 \cdot 20 / 600)(600^2 - 20^2)$$

$$2400 M2 + 600 M3 = 144636533$$

$$M2 + 4 \cdot M3 + M4 = 75995$$

(equação 2)



**7.3.5.2.3 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot L5 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + M5 \cdot 600 &= 0 \\ M3 + 4 M4 + M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.5.2.4 Momentos fletores nas ancoragens 4, 5 e 6**

Para os três apoios considerados temos:

$$M4 \cdot l5 + 2 M5 (l5 + l6) + M6 \cdot L6 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l5 = l6$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, e admitindo ainda que o momento no sexto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M4 \cdot l5 + 4 M5 \cdot l5 + M6 \cdot l5 &= 0 \\ M4 \cdot 600 + 2400 M5 + 0 &= 0 \\ M4 + 4 M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.5.2.5 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 4 + 1 + 0 + 0 &= - 2193664 \\ 1 + 4 + 1 + 0 &= 75995 \\ 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos: ( $M1 = 0$ )

$$\begin{aligned} M2 &= - 593230 \text{ Ncm} \\ M3 &= 179256 \text{ Ncm} \\ M4 &= - 47801 \text{ Ncm} \\ M5 &= 11950 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

**7.3.5.3 Tensões de flexão na torre devido à carga move!****- OPERAÇÃO NORMAL do elevador - ANCORAGENS 0 a 4****7.3.5.3.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)****7.3.5.3.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0Qc12} = 306866 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0Qc12} = 327 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.3.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1Qc12} = - 613732 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1Qc12} = - 654 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.3.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qc12} = 352925 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qc12} = 376 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.3.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qc12} = - 94113 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qc12} = - 100 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.3.1.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qc12} = 23528 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qc12} = 25 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.3.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)****7.3.5.3.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0Qc34} = 306866 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0Qc34} = 327 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.3.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1Qc34} = - 613732 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1Qc34} = - 654 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.3.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qc34} = 352925 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qc34} = 376 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.3.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qc34} = - 94113 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qc34} = - 100 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.3.2.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qc34} = 23528 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qc34} = 25 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$



**7.3.5.4 Tensões de flexão na torre devido à carga move! OPERAÇÃO NORMAL do elevador - ANCORAGENS 1 a 5**

**7.3.5.4.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)**

**7.3.5.4.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qc12} = - 593230.37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qc12} = - 632 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.4.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qc12} = 179256.37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qc12} = 191 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.4.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qc12} = - 47801.37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qc12} = - 51 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.4.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qc12} = 11950.37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qc12} = 12 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.4.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)**

**7.3.5.4.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qc34} = - 593230.37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qc34} = - 632 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.4.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qc34} = 179256.37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qc34} = 191 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.5.4.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qc34} = - 47801.37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qc34} = - 51 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.5.4.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qc34} = 11950.37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qc34} = 12 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$



### 7.3.6 Momentos fletores na torre devido à carga móvel Cabina em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA

#### 7.3.6.1 ANCORAGENS 0 a 4

De acordo com os dados do item 6.2.1.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento durante um processo de freagem de emergencia são dados por:

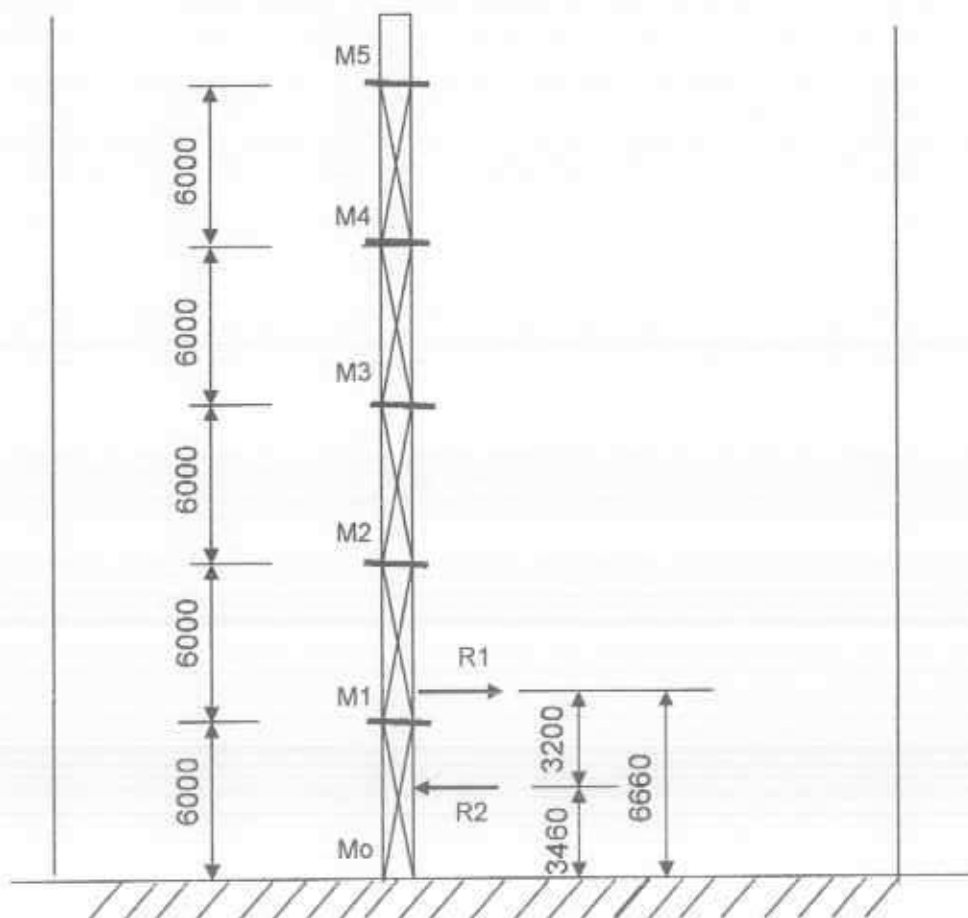
$$R1 = 15071 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 19552 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que deve ser determinado o momento fletor nesta mesma seção a fim de se obter o maior valor de tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre a base e o primeiro ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga engastada em uma extremidade e apoiada na outra, o momento fletor máximo ocorre no ponto de engastamento quando a carga é aplicada numa distancia, a partir da extremidade apoiada, dada por:

$$c = 1 / (0,3)^{0,5}$$

$$c = 6 / (0,3)^{0,5} \quad \Rightarrow \quad c = 3,46 \text{ m}$$

A reação R2 portanto, é posicionada na distancia supra definida e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.8, como uma ação superposta.



**7.3.6.1.1 Momentos fletores nas ancoragens 0,1, e 2**

Para os três apoios considerados temos:

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para  $l_1 = l_2$ , podemos escrever:

$$M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a_1 = 346 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b_2 = 534 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$\begin{aligned} &= - (19552 \cdot 346 / 600) (600^2 - 346^2) - (- 15071 \cdot 534 / 600) (600^2 - 534^2) \\ &= - 2709198896 + 1003896792 \\ &= - 1705302104 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 &= - 1705302104 \\ 600 M_0 + 2400 M_1 + 600 M_2 &= - 1705302104 \\ M_0 + 4 M_1 + M_2 &= - 2842170 \end{aligned}$$

(equação 1)

**7.3.6.1.2 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2 e 3**

Para os três apoios considerados temos:

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2) - \sum(P_2 \cdot b_3 / l_3) (l_3^2 - b_3^2)$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamento no terceiro vão igual a zero, podemos escrever:

$$M_1 \cdot l_2 + 4 M_2 \cdot l_2 + M_3 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$a_2 = 20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_1 \cdot 600 + 2400 \cdot M_2 + M_3 \cdot 600 &= - (- 15071 \cdot 20 / 600) (600^2 - 20^2) \\ M_1 \cdot 600 + 2400 \cdot M_2 + M_3 \cdot 600 &= 180651053 \\ M_1 + 4 \cdot M_2 + M_3 &= 301085 \end{aligned}$$

(equação 2)



**7.3.6.1.3 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l3 + 2 M3 (l3 + l4) + M4 \cdot l4 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l3 = l4$  e carregamento no terceiro e quarto vãos igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M2 \cdot l3 + 4 M3 \cdot l3 + M4 \cdot l3 &= 0 \\ M2 \cdot 600 + 2400 M3 + M4 \cdot 600 &= 0 \\ M2 + 4 M3 + M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.6.1.4 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot l5 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, e admitindo ainda que o momento no quinto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + 0 &= 0 \\ M3 + 4 M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.6.1.5 Condições de engastamento na ancoragem zero**

A condição de engastamento no apoio zero é dada por:

$$\begin{aligned} (M0 \cdot l1 / 3 \cdot E \cdot J) + (M1 \cdot l1 / 6 \cdot E \cdot J) &= 0 \\ M0 + M1 / 2 &= 0 \\ M0 + 0,5 M1 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 5)}$$

**7.3.8.1.6 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de cinco equações e cinco incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 4 + 1 + 0 + 0 &= -2842170 \\ 0 + 1 + 4 + 1 + 0 &= 301085 \\ 0 + 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \\ 1 + 0,5 + 0 + 0 + 0 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} M0 &= 452148 \text{ Ncm} \\ M1 &= -904297 \text{ Ncm} \\ M2 &= 322870 \text{ Ncm} \\ M3 &= -86098 \text{ Ncm} \\ M4 &= 21524 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

### 7.3.6.2 Momentos fletores na torre devido à carga móvel Cabina em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA

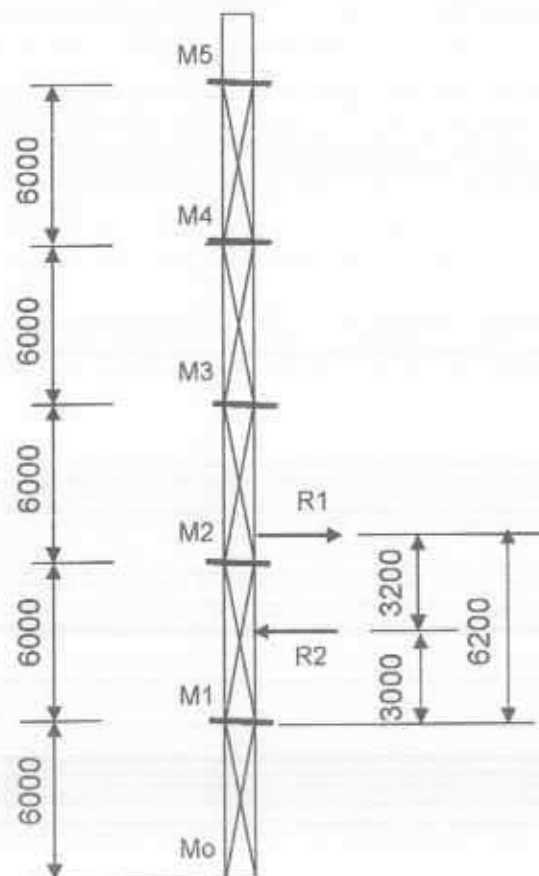
#### ANCORAGENS 1 a 5

De acordo com os dados do item 5.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento durante um processo de freagem de emergencia são dados por:

$$R1 = 15071 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 19552 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que o momento fletor é definido nesta mesma seção a fim de se obter o valor da tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre o primeiro e o segundo ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga apoiada, os momento fletor máximo ocorre entre os apoios quando a maior carga é aplicada no centro do vão.

A reação R2 portanto, é posicionada no centro do vão e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.8, como uma ação superposta.



**7.3.6.2.1 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2, e 3**

Para os três apoios considerados temos:

$$M1 \cdot l2 + 2 M2 (l2 + l3) + M3 \cdot l3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para  $l2 = l3$  e admitindo ainda que o momento no primeiro apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$0 + 4 M2 \cdot l2 + M3 \cdot l3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a1 = 300 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b2 = 580 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$\begin{aligned} &= - (19552 \cdot 300 / 600) (600^2 - 300^2) - (- 15071 \cdot 580 / 600) (600^2 - 580^2) \\ &= - (2639520000) + (343819746) \\ &= - 2295700253 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} 4 M2 \cdot l2 + M3 \cdot l3 &= - 2295700253 \\ 2400 M2 + 600 M3 &= - 2295700253 \\ 4 M2 + M3 &= - 3826167 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

**7.3.6.2.2 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l3 + 2 M3 (l3 + l4) + M4 \cdot l4 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2) - \sum(P2 \cdot b3 / l3) (l3^2 - b3^2)$$

Para  $l3 = l4$ , podemos escrever:

$$M2 \cdot l3 + 4 M3 \cdot l3 + M4 \cdot l3 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$a2 = 20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M2 \cdot 600 + 2400 \cdot M3 + M4 \cdot 600 &= - (- 15071 \cdot 20 / 600) (600^2 - 20^2) \\ M2 \cdot 600 + 2400 \cdot M3 + M4 \cdot 600 &= 180651053 \\ M2 + 4 \cdot M3 + M4 &= 301085 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$



**7.3.6.2.3 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot L5 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + M4 \cdot 600 &= 0 \\ M3 + 4 M4 + M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.6.2.4 Momentos fletores nas ancoragens 4, 5 e 6**

Para os três apoios considerados temos:

$$M4 \cdot l5 + 2 M5 (l5 + l6) + M6 \cdot L6 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l5 = l6$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, e admitindo ainda que o momento no sexto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M4 \cdot l5 + 4 M5 \cdot l5 + M6 \cdot l5 &= 0 \\ M4 \cdot 600 + 2400 M5 + 0 &= 0 \\ M4 + 4 M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.6.2.5 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 4 + 1 + 0 + 0 &= -3826167 \\ 1 + 4 + 1 + 0 &= 301085 \\ 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos: ( $M1 = 0$ )

$$\begin{aligned} M2 &= -1046802 \text{ Ncm} \\ M3 &= 361041 \text{ Ncm} \\ M4 &= -96277 \text{ Ncm} \\ M5 &= 24069 \text{ Ncm} \end{aligned}$$



**7.3.6.3 Tensões de flexão na torre devido à carga movel****FREAGEM DE EMERGENCIA - ANCORAGENS 0 a 4****7.3.6.3.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)****7.3.6.3.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0Qf12} = 452148 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0Qf12} = 482 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.3.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1Qf12} = - 904297 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1Qf12} = - 964 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.3.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf12} = 322870 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf12} = 344 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.3.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf12} = - 86098 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf12} = - 92 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.3.1.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf12} = 21524 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf12} = 23 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.3.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)****7.3.6.3.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0Qf34} = 452148 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0Qf34} = 482 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.3.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1Qf34} = - 904297 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1Qf34} = - 964 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.3.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf34} = 322870 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf34} = 344 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.3.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf34} = - 86098 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf34} = - 92 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.3.2.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf34} = 21524 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf34} = 23 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.4 Tensões de flexão na torre devido à carga movel**  
**FREAGEM DE EMERGENCIA – ANCORAGENS 1 A 5**

**7.3.6.4.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)**

**7.3.6.4.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf12} = - 1046802 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf12} = - 1116 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.4.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf12} = 361041 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf12} = 385 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.4.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf12} = - 96277 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf12} = - 103 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.4.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf12} = 24069 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf12} = 26 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.4.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)**

**7.3.6.4.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf34} = - 1046802 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf34} = - 1116 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.4.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf34} = 361041 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf34} = 385 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.6.4.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf34} = - 96277 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf34} = - 103 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.6.4.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf34} = 24069 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf34} = 26 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$



**7.3.7 Momentos fletores na torre devido à carga móvel (peso da cabina)**

**7.3.7.1 Elevador FORA DE OPERAÇÃO - ANCORAGENS 0 a 4**

De acordo com os dados do item 6.3.1.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento para o elevador fora de operação são dados por:

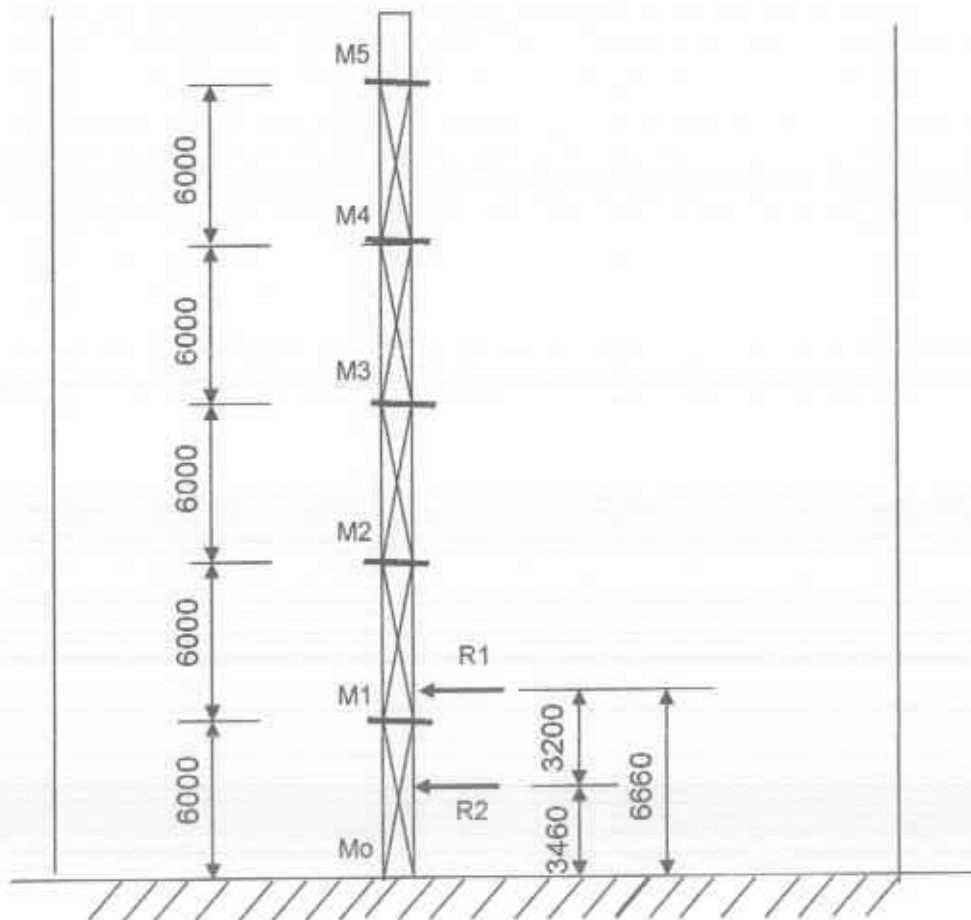
$$R1 = - 1225 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 7738 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que deve ser determinado o momento fletor nesta mesma seção a fim de se obter o maior valor de tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre a base e o primeiro ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga engastada em uma extremidade e apoiada na outra, o momento fletor máximo ocorre no ponto de engastamento quando a carga é aplicada numa distancia, a partir da extremidade apoiada, dada por:

$$c = l / (0,3)^{0,5}$$

$$c = 6 / (0,3)^{0,5} \quad \Rightarrow \quad c = 3,46 \text{ m}$$

A reação R2 portanto, é posicionada na distancia supra definida e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.9, como uma ação superposta.



### 7.3.7.1.1 Momentos fletores nos apoios 0, 1, e 2

Para os três apoios considerados temos:

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para  $l_1 = l_2$ , podemos escrever:

$$M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 = - \sum(P_1 \cdot a_1 / l_1) (l_1^2 - a_1^2) - \sum(P_2 \cdot b_2 / l_2) (l_2^2 - b_2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a_1 = 346 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b_2 = 534 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$= - (7738 \cdot 346 / 600) (600^2 - 346^2) - (1225 \cdot 534 / 600) (600^2 - 534^2)$$

$$= - (1072206478) - (81598671)$$

$$= - 1153805149 \text{ Ncm}$$

Temos então:

$$M_0 \cdot l_1 + 4 M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot l_1 = - 1153805149$$

$$600 M_0 + 2400 M_1 + 600 M_2 = - 1153805149$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 1923008$$

(equação 1)

### 7.3.7.1.2 Momentos fletores nos apoios 1, 2 e 3

Para os três apoios considerados temos:

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2) - \sum(P_2 \cdot b_3 / l_3) (l_3^2 - b_3^2)$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamento terceiro vão igual a zero, podemos escrever:

$$M_1 \cdot l_2 + 4 M_2 \cdot l_2 + M_3 \cdot l_2 = - \sum(P_1 \cdot a_2 / l_2) (l_2^2 - a_2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$a_2 = 20 \text{ cm}$$

$$M_1 \cdot 600 + 2400 \cdot M_2 + M_3 \cdot 600 = (1225 \cdot 20 / 600) (600^2 - 20^2)$$

$$M_1 \cdot 600 + 2400 \cdot M_2 + M_3 \cdot 600 = 14683666$$

$$M_1 + 4 \cdot M_2 + M_3 = 24473$$

(equação 2)



**7.3.7.1.3 Momentos fletores nos apoios 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l3 + 2 M3 (l3 + l4) + M4 \cdot l4 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l3 = l4$  e carregamento no terceiro e quarto vãos igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M2 \cdot l3 + 4 M3 \cdot l3 + M4 \cdot l3 &= 0 \\ M2 \cdot 600 + 2400 M3 + M4 \cdot 600 &= 0 \\ M2 + 4 M3 + M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.7.1.4 Momentos fletores nos apoios 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot l5 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, e admitindo ainda que o momento no quinto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + 0 &= 0 \\ M3 + 4 M4 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.7.1.5 Condições de engastamento no apoio zero**

A condição de engastamento no apoio zero é dada por:

$$\begin{aligned} (M0 \cdot l1 / 3 \cdot E \cdot J) + (M1 \cdot l1 / 6 \cdot E \cdot J) &= 0 \\ M0 + M1 / 2 &= 0 \\ M0 + 0,5 M1 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 5)}$$

**7.3.7.1.6 Valores dos momentos nos apoios**

Para o sistema de cinco equações e cinco incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 1 + 4 + 1 + 0 + 0 &= - 1923008 \\ 0 + 1 + 4 + 1 + 0 &= 24473 \\ 0 + 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \\ 1 + 0,5 + 0 + 0 + 0 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$\begin{aligned} M0 &= 298495 \text{ Ncm} \\ M1 &= - 596991 \text{ Ncm} \\ M2 &= 166463 \text{ Ncm} \\ M3 &= - 44390 \text{ Ncm} \\ M4 &= 11097 \text{ Ncm} \end{aligned}$$



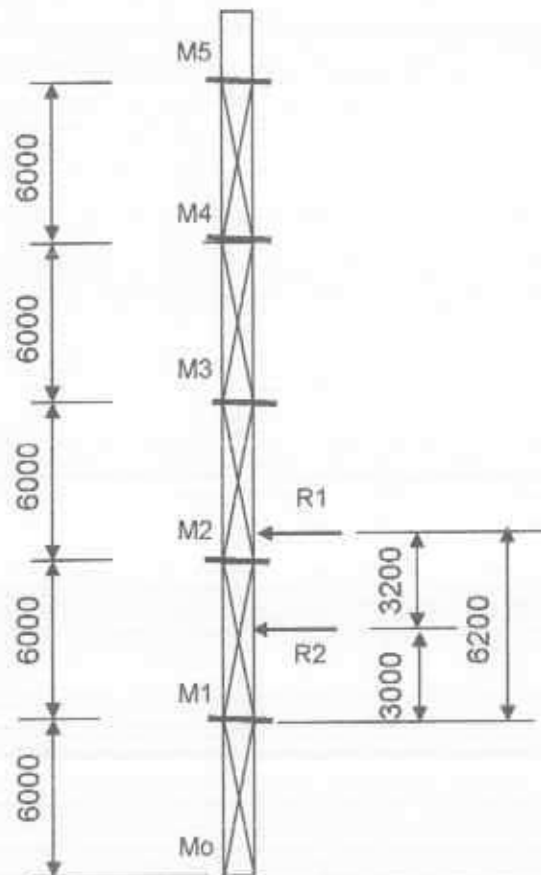
### 7.3.7.2 Momentos fletores na torre devido à carga móvel (peso da cabina) Elevador FORA DE OPERAÇÃO - ANCORAGENS 1 a 5

De acordo com os dados do item 6.3.1.2.3, os valores das reações, incluindo a ação do vento para o elevador fora de operação são dados por:

$$R1 = - 1225 \text{ N} \quad \text{e} \quad R2 = 7738 \text{ N}$$

As maiores tensões de compressão ocorrem junto à base da torre, de modo que o momento fletor é definido nesta mesma seção a fim de se obter o valor da tensão total. Nesta condição, se a torre for considerada como uma viga contínua, a cabina deve ser posicionada entre o primeiro e o segundo ponto de ancoragem da torre. Considerando-se o trecho de torre como uma viga apoiada, os momento fletor máximo ocorre entre os apoios quando a maior carga é aplicada no centro do vão.

A reação R2 portanto, é posicionada no centro do vão e a reação R1 posicionada numa distancia 3,20 m acima desta posição. Os demais vãos de torre não são submetidos a nenhum tipo de carregamento, uma vez que a ação do vento é considerada no item 7.3.9, como uma ação superposta.



### 7.3.7.2.1 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2, e 3

Para os três apoios considerados temos:

$$M1 \cdot l_2 + 2 M2 (l_2 + l_3) + M3 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para  $l_2 = l_3$  e admitindo ainda que o momento no primeiro apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$0 + 4 M2 \cdot l_2 + M3 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a1 / l1) (l1^2 - a1^2) - \sum(P2 \cdot b2 / l2) (l2^2 - b2^2)$$

Para a carga R2, temos:

$$a1 = 300 \text{ cm}$$

Para a carga R1, temos:

$$b2 = 580 \text{ cm}$$

O segundo termo da equação pode ser escrito como segue:

$$= - (7738 \cdot 300 / 600) (600^2 - 300^2) - (1225 \cdot 580 / 600) (600^2 - 580^2)$$

$$= - (1044630000) - (27946333)$$

$$= - 1072576333 \text{ Ncm}$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot l_2 + M3 \cdot l_3 = - 1072576333$$

$$2400 M2 + 600 M3 = - 1072576333$$

$$4 M2 + M3 = - 1787627$$

(equação 1)

### 7.3.7.2.2 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l_3 + 2 M3 (l_3 + l_4) + M4 \cdot l_4 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2) - \sum(P2 \cdot b3 / l3) (l3^2 - b3^2)$$

Para  $l_3 = l_4$ , podemos escrever:

$$M2 \cdot l_3 + 4 M3 \cdot l_3 + M4 \cdot l_3 = - \sum(P1 \cdot a2 / l2) (l2^2 - a2^2)$$

Para a carga R1, temos:

$$a2 = 20 \text{ cm}$$

$$M2 \cdot 600 + 2400 \cdot M3 + M4 \cdot 600 = - (1225 \cdot 20 / 600) (600^2 - 20^2)$$

$$M2 \cdot 600 + 2400 \cdot M3 + M4 \cdot 600 = - 27946333$$

$$M2 + 4 \cdot M3 + M4 = 446906$$

(equação 2)



**7.3.7.2.3 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot L5 = - \sum(P1 \cdot a3 / l3) (l3^2 - a3^2) - \sum(P2 \cdot b4 / l4) (l4^2 - b4^2)$$

Para  $l4 = l5$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l4 + 4 M4 \cdot l4 + M5 \cdot l4 &= 0 \\ M3 \cdot 600 + 2400 M4 + M5 \cdot 600 &= 0 \\ M3 + 4 M4 + M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.7.2.4 Momentos fletores nas ancoragens 4, 5 e 6**

Para os três apoios considerados temos:

$$M4 \cdot l5 + 2 M5 (l5 + l6) + M6 \cdot L6 = - \sum(P1 \cdot a4 / l4) (l4^2 - a4^2) - \sum(P2 \cdot b5 / l5) (l5^2 - b5^2)$$

Para  $l5 = l6$  e carregamento no quarto e quinto vãos igual a zero, e admitindo ainda que o momento no sexto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M4 \cdot l5 + 4 M5 \cdot l5 + M6 \cdot l5 &= 0 \\ M4 \cdot 600 + 2400 M5 + 0 &= 0 \\ M4 + 4 M5 &= 0 \end{aligned} \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.7.2.5 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$\begin{aligned} 4 + 1 + 0 + 0 &= -1787627 \\ 1 + 4 + 1 + 0 &= 446906 \\ 0 + 1 + 4 + 1 &= 0 \\ 0 + 0 + 1 + 4 &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações temos: ( $M1 = 0$ )

$$\begin{aligned} M2 &= -511055 \text{ Ncm} \\ M3 &= 256596 \text{ Ncm} \\ M4 &= -68425 \text{ Ncm} \\ M5 &= 17106 \text{ Ncm} \end{aligned}$$



**7.3.7.3 Tensões de flexão na torre devido ao peso da cabina**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO - ANCORAGENS 0 a 4****7.3.7.3.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)****7.3.7.3.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{of12} = 298495 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{of12} = 318 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.3.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1f12} = - 596991 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1f12} = - 636 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.3.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2f12} = 166463 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2f12} = 177 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.3.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3f12} = - 44390 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3f12} = - 47 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.3.1.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4f12} = 11097 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4f12} = 12 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.3.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)****7.3.7.3.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{of34} = 298495 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{of34} = 318 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.3.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1f34} = - 596991 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1f34} = - 636 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.3.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2f34} = 166463 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2f34} = 177 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.3.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3f34} = - 44390 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3f34} = - 47 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.3.2.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4f34} = 11097 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4f34} = 12 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.4 Tensões de flexão na torre devido ao peso da cabina**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO - ANCORAGENS 1 a 5****7.3.7.4.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)****7.3.7.4.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf12} = - 511055 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf12} = - 545 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.4.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf12} = 256596 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf12} = 273 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.4.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf12} = - 68425 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf12} = - 73 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.4.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf12} = 17106 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf12} = 18 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.4.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)****7.3.7.4.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf34} = - 511055 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf34} = - 545 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.4.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf34} = 256596 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf34} = 273 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.7.4.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf34} = - 68425 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf34} = - 73 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.7.4.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf34} = 17106 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf34} = 18 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

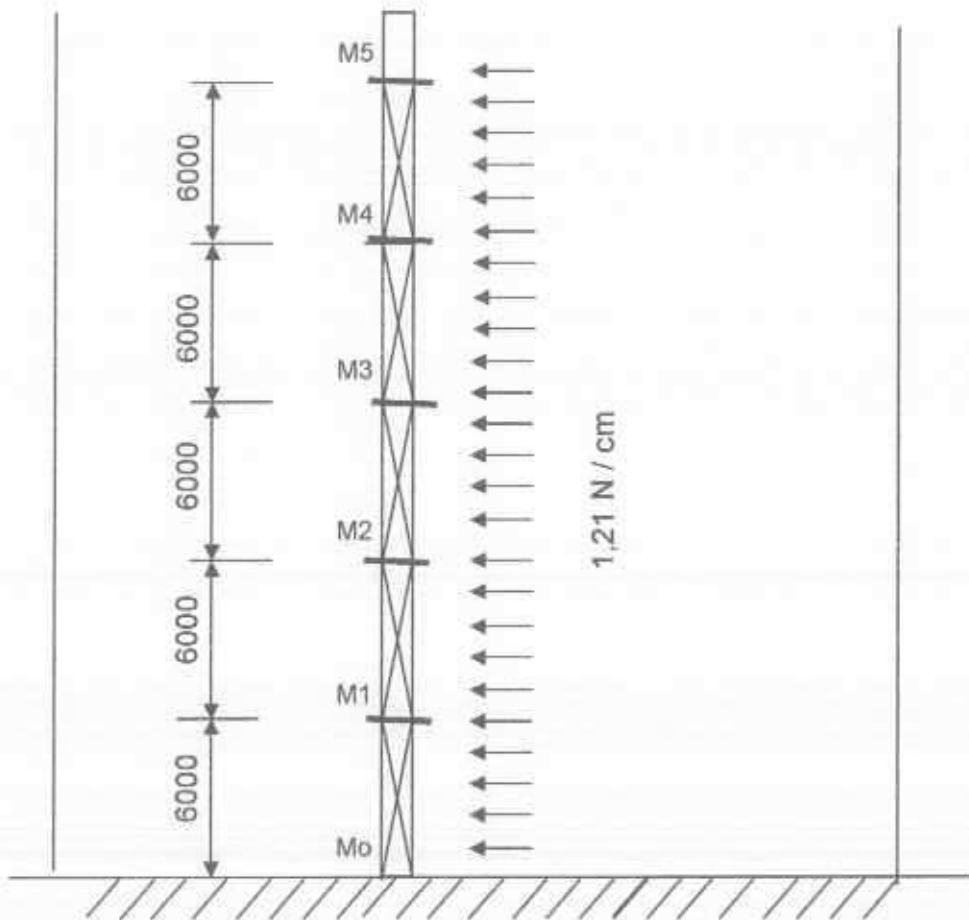


### 7.3.8 Momentos fletores na torre devido ao vento

#### OPERAÇÃO NORMAL do elevador

A pior condição para a torre em termos de tensões devido ao vento se verifica para o vento incidindo do lado da cabina. A área da torre exposta ao vento é igual a  $1,10 \text{ m}^2$  para cada vão com altura igual a  $6,00 \text{ m}$ . A pressão do vento em operação normal é igual a  $550 \text{ N / m}^2$  e o coeficiente dinâmico igual a  $1,2$ , de modo que a carga distribuída é dada conforme segue:

$$q_v = 1,10 \cdot 550 \cdot 1,2 / 600 \Rightarrow q_v = 1,21 \text{ N / cm}$$



### 7.3.8.1.1 Momentos fletores nas ancoragens 0,1, e 2

Para os três apoios considerados temos:

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = - 1 / 4 ( ( qv_1 \cdot l_1^3) + (qv_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_1 = l_2$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$M_0 \cdot l + 4 M_1 \cdot l + M_2 \cdot l = (- 1 / 4) ( ( qv \cdot l^3) + (qv \cdot l^3) )$$

$$M_0 \cdot l + 4 M_1 \cdot l + M_2 \cdot l = (- 1 / 2) ( qv \cdot l^3)$$

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) ( 1,21 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 130680000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 217800 \quad \text{(equação 1)}$$

### 7.3.8.1.2 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2 e 3

Para os três apoios considerados temos:

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = - 1 / 4 ( ( qv_1 \cdot l_1^3) + (qv_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) ( 1,21 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 102168000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 217800 \quad \text{(equação 2)}$$

### 7.3.8.1.3 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4

Para os três apoios considerados temos:

$$M_2 \cdot l_3 + 2 M_3 (l_3 + l_4) + M_4 \cdot l_4 = - 1 / 4 ( ( qv_1 \cdot l_1^3) + (qv_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_3 = l_4$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) ( 1,21 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 102168000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 217800 \quad \text{(equação 3)}$$



**7.3.8.1.4 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l_4 + 2 M4 (l_4 + l_5) + M5 \cdot l_5 = -1/4 ( (qv1 \cdot l_1^3) + (qv2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_4 = l_5$  e admitindo ainda que o momento no quinto apoio tende ao valor de  $M4$ , podemos escrever:

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (-1/2) (1,21 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = -102168000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = -217800$$

(equação 4)

**7.3.8.1.5 Condições de engastamento na ancoragem zero**

A condição de engastamento no apoio zero é dada por:

$$(M_0 \cdot l_1 / 3 \cdot E \cdot J) + (M_1 \cdot l_1 / 6 \cdot E \cdot J) = 0$$

$$M_0 + M_1 / 2 = 0$$

$$M_0 + 0,5 M_1 = 0$$

(equação 5)

**7.3.8.1.6 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de cinco equações e cinco incógnitas temos:

$$1 + 4 + 1 + 0 + 0 = -217800$$

$$0 + 1 + 4 + 1 + 0 = -217800$$

$$0 + 0 + 1 + 4 + 1 = -217800$$

$$0 + 0 + 0 + 1 + 5 = -217800$$

$$1 + 0,5 + 0 + 0 + 0 = 0$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$M_0 = 26472 \text{ Ncm}$$

$$M_1 = -52945 \text{ Ncm}$$

$$M_2 = -32489 \text{ Ncm}$$

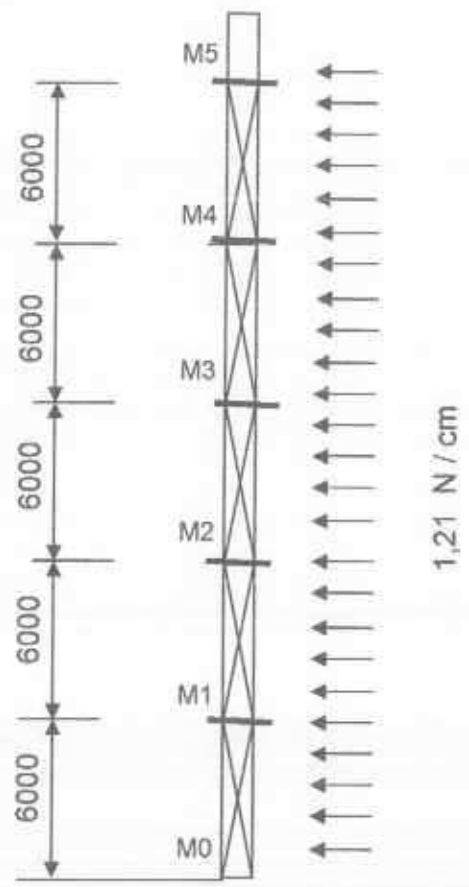
$$M_3 = -34896 \text{ Ncm}$$

$$M_4 = -45725 \text{ Ncm}$$

**7.3.8.2 ANCORAGENS 1 a 5**

A pior condição para a torre em termos de tensões devido ao vento se verifica para o vento incidindo do lado da cabina. A área da torre exposta ao vento é igual a 1,10 m<sup>2</sup> para cada vão com altura igual a 6,00 m. A pressão do vento em operação normal é igual a 550 N / m<sup>2</sup> e o coeficiente dinâmico igual a 1,2, de modo que a carga distribuída é dada conforme segue:

$$qv = 1,10 \cdot 550 \cdot 1,2 / 600 \Rightarrow qv = 1,21 \text{ N / cm}$$



**7.3.8.2.1 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2, e 3**

Para os três apoios considerados temos:

$$M1 \cdot l_2 + 2 M2 (l_2 + l_3) + M3 \cdot l_3 = -1/4 ((qv1 \cdot l_1^3) + (qv2 \cdot l_2^3))$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamentos iguais em todos os vãos, e admitindo ainda que o momento no primeiro apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever: podemos escrever:

$$\begin{aligned} 0 + 4 M2 \cdot l + M3 \cdot l &= (-1/4) ((qv \cdot l^3) + (qv \cdot l^3)) \\ 0 + 4 M2 \cdot l + M3 \cdot l &= (-1/2) (qv \cdot l^3) \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= (-1/2) (1,21 \cdot 600^3) \\ 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= -130680000 \\ 4 M2 + M3 &= -217800 \end{aligned} \quad \text{(equação 1)}$$

**7.3.8.2.2 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l_3 + 2 M3 (l_3 + l_4) + M4 \cdot l_4 = -1/4 ((qv1 \cdot l_2^3) + (qv2 \cdot l_3^3))$$

Para  $l_3 = l_4$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M2 \cdot l + 2 M3 (l + l) + M4 \cdot l &= -1/4 ((qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3)) \\ M2 \cdot l + 2 M3 (l + l) + M4 \cdot l &= (-1/2) (qv \cdot l^3) \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= (-1/2) (1,21 \cdot 600^3) \\ 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= -130680000 \\ 4 M2 + M3 &= -217800 \end{aligned} \quad \text{(equação 2)}$$

**7.3.8.2.3 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l_4 + 2 M4 (l_4 + l_5) + M5 \cdot l_5 = -1/4 ((qv1 \cdot l_3^3) + (qv2 \cdot l_4^3))$$

Para  $l_4 = l_5$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$\begin{aligned} M3 \cdot l + 2 M4 (l + l) + M5 \cdot l &= -1/4 ((qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3)) \\ M3 \cdot l + 2 M4 (l + l) + M5 \cdot l &= (-1/2) (qv \cdot l^3) \end{aligned}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= (-1/2) (1,21 \cdot 600^3) \\ 4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 &= -130680000 \\ 4 M2 + M3 &= -217800 \end{aligned} \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.8.2.4 Momentos fletores nas ancoragens 4, 5 e 6**

Para os três apoios considerados temos:

$$M4 \cdot l5 + 2 M5 (l5 + l6) + M6 \cdot l6 = -1/4 ((qv1 \cdot l5^3) + (qv2 \cdot l6^3))$$

Para  $l5 = l6$  e admitindo ainda que o momento no sexto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$M4 \cdot l + 2 M5 (l + l) + 0 = -1/4 ((qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3))$$

$$M4 \cdot l + 2 M5 (l + l) = (-1/2) (qv \cdot l)$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = (-1/2) (1,21 \cdot 600^3)$$

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = -130680000$$

$$4 M2 + M3 = -217800$$

(equação 4)

**7.3.8.2.5 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$4 + 1 + 0 + 0 = -217800$$

$$1 + 4 + 1 + 0 = -217800$$

$$0 + 1 + 4 + 1 = -217800$$

$$0 + 0 + 1 + 4 = -217800$$

Resolvendo o sistema de equações temos: ( $M1 = 0$ )

$$M2 = -45852 \text{ Ncm}$$

$$M3 = -34389 \text{ Ncm}$$

$$M4 = -34389 \text{ Ncm}$$

$$M5 = -45852 \text{ Ncm}$$



**7.3.8.3 Tensões de flexão na torre devido à ação do vento**  
**OPERAÇÃO NORMAL - ANCORAGENS 0 a 4**

**7.3.8.3.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)**

**7.3.8.3.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0v12} = 26472 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0v12} = 20 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.3.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1v12} = - 52945 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1v12} = - 41 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.3.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2v12} = - 32489 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2v12} = - 25 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.3.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3v12} = - 34896 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3v12} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.3.1.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4v12} = - 45725 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4v12} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.3.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)**

**7.3.8.3.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0v34} = 26472 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0v34} = 20 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.3.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1v34} = - 52945 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1v34} = - 41 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.3.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2v34} = - 32489 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2v34} = - 25 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.3.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3v34} = - 34896 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3v34} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.3.2.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4v34} = - 45725 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4v34} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$



**7.3.8.4 ANCORAGENS1 a 5****7.3.8.4.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)****7.3.8.4.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf12} = - 45852 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf12} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.4.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf12} = - 34389 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf12} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.4.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf12} = - 34389 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf12} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.4.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf12} = - 45852 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf12} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.8.4.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)****7.3.8.4.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf34} = - 45852 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf34} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.4.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf34} = - 34389 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf34} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.4.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf34} = - 34389 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf34} = - 27 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.8.4.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf34} = - 45852 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf34} = - 35 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

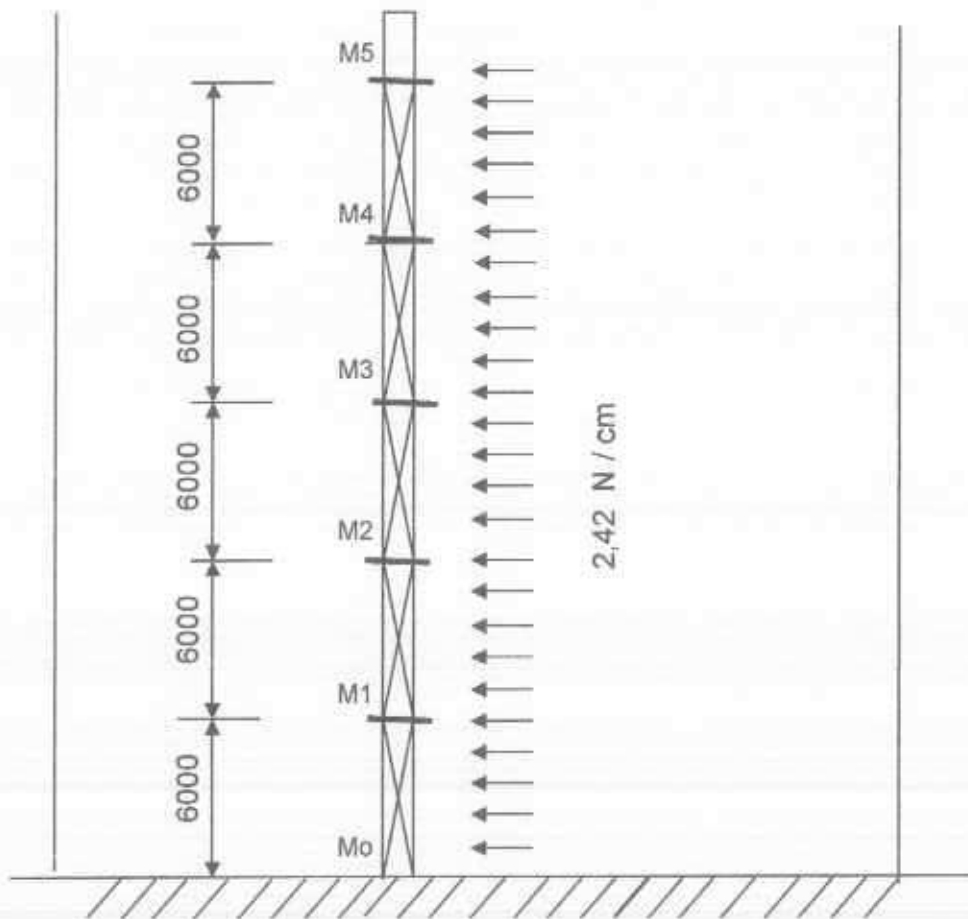


**7.3.9 Momentos fletores na torre devido ao vento**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO**

**7.3.9.1 ANCORAGENS 0 a 4**

A pior condição para a torre em termos de tensões devido ao vento se verifica para o vento incidindo do lado da cabina. A área da torre exposta ao vento é igual a 1,10 m<sup>2</sup> para cada vão com altura igual a 6,00 m. A pressão do vento em operação normal é igual a 1100 N / m<sup>2</sup> e o coeficiente dinâmico igual a 1,2, de modo que a carga distribuída é dada conforme segue:

$$q_{vf} = 1,10 \cdot 1100 \cdot 1,2 / 600 \Rightarrow q_{vf} = 2,42 \text{ N / cm}$$



**7.3.9.1.1 Momentos fletores nas ancoragens 0,1, e 2**

Para os três apoios considerados temos:

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = - 1 / 4 ( ( qvf_1 \cdot l_1^3) + (qvf_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_1 = l_2$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$M_0 \cdot l + 4 M_1 \cdot l + M_2 \cdot l = (- 1 / 4) ( ( qvf \cdot l^3) + (qvf \cdot l^3) )$$

$$M_0 \cdot l + 4 M_1 \cdot l + M_2 \cdot l = (- 1 / 2) ( qvf \cdot l^3)$$

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 261360000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 435600$$

(equação 1)

**7.3.9.1.2 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2 e 3**

Para os três apoios considerados temos:

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = - 1 / 4 ( ( qvf_1 \cdot l_1^3) + (qvf_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 261360000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 435600$$

(equação 2)

**7.3.9.1.3 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M_2 \cdot l_3 + 2 M_3 (l_3 + l_4) + M_4 \cdot l_4 = - 1 / 4 ( ( qvf_1 \cdot l_1^3) + (qvf_2 \cdot l_2^3) )$$

Para  $l_3 = l_4$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

Temos então:

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = (- 1 / 2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$M_0 \cdot 600 + 4 M_1 \cdot 600 + M_2 \cdot 600 = - 261360000$$

$$M_0 + 4 M_1 + M_2 = - 435600$$

(equação 3)



**7.3.9.1.4 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l4 + 2 M4 (l4 + l5) + M5 \cdot l5 = -1/4 ( ( qvf1 \cdot l1^3) + (qvf2 \cdot l2^3) )$$

Para  $l4 = l5$  e admitindo ainda que o momento no quinto apoio tende ao valor de  $M4$ , podemos escrever:

Temos então:

$$M0 \cdot 600 + 4 M1 \cdot 600 + M2 \cdot 600 = (-1/2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$M0 \cdot 600 + 4 M1 \cdot 600 + M2 \cdot 600 = -261360000$$

$$M0 + 4 M1 + M2 = -435600$$

(equação 4)

**7.3.9.1.5 Condições de engastamento na ancoragem zero**

A condição de engastamento no apoio zero é dada por:

$$(M0 \cdot l1 / 3 \cdot E \cdot J) + (M1 \cdot l1 / 6 \cdot E \cdot J) = 0$$

$$M0 + M1 / 2 = 0$$

$$M0 + 0,5 M1 = 0$$

(equação 5)

**7.3.9.1.6 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de cinco equações e cinco incógnitas temos:

$$1 + 4 + 1 + 0 + 0 = -435600$$

$$0 + 1 + 4 + 1 + 0 = -435600$$

$$0 + 0 + 1 + 4 + 1 = -435600$$

$$0 + 0 + 0 + 1 + 5 = -435600$$

$$1 + 0,5 + 0 + 0 + 0 = 0$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$M0 = 52945 \text{ Ncm}$$

$$M1 = -105891 \text{ Ncm}$$

$$M2 = -64979 \text{ Ncm}$$

$$M3 = -69792 \text{ Ncm}$$

$$M4 = -91451 \text{ Ncm}$$

**7.3.9.2 ANCORAGENS 1 a 5****7.3.9.2.1 Momentos fletores nas ancoragens 1, 2, e 3**

Para os três apoios considerados temos:

$$M1 \cdot l_2 + 2 M2 (l_2 + l_3) + M3 \cdot l_3 = -1/4 ((qv1 \cdot l_1^3) + (qv2 \cdot l_2^3))$$

Para  $l_2 = l_3$  e carregamentos iguais em todos os vãos, e admitindo ainda que o momento no primeiro apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:  
podemos escrever:

$$0 + 4 M2 \cdot l + M3 \cdot l = (-1/4) ((qv \cdot l^3) + (qv \cdot l^3))$$

$$0 + 4 M2 \cdot l + M3 \cdot l = (-1/2) (qv \cdot l^3)$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = (-1/2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = -261360000$$

$$4 M2 + M3 = -435600 \quad \text{(equação 1)}$$

**7.3.9.2.2 Momentos fletores nas ancoragens 2, 3 e 4**

Para os três apoios considerados temos:

$$M2 \cdot l_3 + 2 M3 (l_3 + l_4) + M4 \cdot l_4 = -1/4 ((qv1 \cdot l_2^3) + (qv2 \cdot l_3^3))$$

Para  $l_3 = l_4$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$M2 \cdot l + 2 M3 (l + l) + M4 \cdot l = -1/4 ((qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3))$$

$$M2 \cdot l + 2 M3 (l + l) + M4 \cdot l = (-1/2) (qv \cdot l^3)$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = (-1/2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = -261360000$$

$$4 M2 + M3 = -435600 \quad \text{(equação 2)}$$

**7.3.9.2.3 Momentos fletores nas ancoragens 3, 4 e 5**

Para os três apoios considerados temos:

$$M3 \cdot l_4 + 2 M4 (l_4 + l_5) + M5 \cdot l_5 = -1/4 ((qv1 \cdot l_3^3) + (qv2 \cdot l_4^3))$$

Para  $l_4 = l_5$  e carregamentos iguais em todos os vãos, podemos escrever:

$$M3 \cdot l + 2 M4 (l + l) + M5 \cdot l = -1/4 ((qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3))$$

$$M3 \cdot l + 2 M4 (l + l) + M5 \cdot l = (-1/2) (qv \cdot l^3)$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = (-1/2) (2,42 \cdot 600^3)$$

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = -261360000$$

$$4 M2 + M3 = -435600 \quad \text{(equação 3)}$$

**7.3.9.2.4 Momentos fletores nas ancoragens 4, 5 e 6**

Para os três apoios considerados temos:

$$M4 \cdot l5 + 2 M5 (l5 + l6) + M6 \cdot l6 = - 1 / 4 ( ( qv1 \cdot l5^3) + (qv2 \cdot l6^3) )$$

Para  $l5 = l6$  e admitindo ainda que o momento no sexto apoio é muito pequeno, tendendo a zero, podemos escrever:

$$M4 \cdot l + 2 M5 (l + l) + 0 = - 1 / 4 ( ( qv1 \cdot l^3) + (qv2 \cdot l^3) )$$

$$M4 \cdot l + 2 M5 (l + l) = (- 1 / 2) ( qv \cdot l )$$

Temos então:

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = (- 1 / 2) ( 2,42 \cdot 600^3)$$

$$4 M2 \cdot 600 + M3 \cdot 600 = - 261360000$$

$$4 M2 + M3 = - 435600 \quad \text{(equação 4)}$$

**7.3.9.2.5 Valores dos momentos nas ancoragens**

Para o sistema de quatro equações e quatro incógnitas temos:

$$4 + 1 + 0 + 0 = - 435600$$

$$1 + 4 + 1 + 0 = - 435600$$

$$0 + 1 + 4 + 1 = - 435600$$

$$0 + 0 + 1 + 4 = - 435600$$

Resolvendo o sistema de equações temos:

$$M2 = - 91705 \text{ Ncm}$$

$$M3 = - 68778 \text{ Ncm}$$

$$M4 = - 68778 \text{ Ncm}$$

$$M5 = - 91705 \text{ Ncm}$$



**7.3.9.3 Tensões de flexão na torre devido ao vento**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO - Ancoragens ZERO A 4**

**7.3.9.3.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)**

**7.3.9.3.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0vf12} = 52945 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0vf12} = 41 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.3.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1vf12} = - 105891 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1vf12} = - 82 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.3.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2vf12} = - 64979 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2vf12} = - 50 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.3.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3vf12} = - 69792 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3vf12} = - 54 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.3.1.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4vf12} = - 91451 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4vf12} = - 70 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.3.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)**

**7.3.9.3.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 0**

$$\sigma_{0vf34} = 52945 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{0vf34} = 41 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.3.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 1**

$$\sigma_{1vf34} = - 105891 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{1vf34} = - 82 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.3.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2vf34} = - 64979 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2vf34} = - 50 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.3.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3vf34} = - 69792 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3vf34} = - 54 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.3.2.5 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4vf34} = - 91451 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4vf34} = - 70 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.4 Tensões de flexão na torre devido à ação do vento**  
**Elevador FORA DE OPERAÇÃO - ANCORAGENS 1 a 5**

**7.3.9.4.1 Tensão nos tubos do lado da cabina (T1 e T2)**

**7.3.9.4.1.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf12} = - 91705 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf12} = - 71 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.4.1.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf12} = - 68778 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf12} = - 53 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.4.1.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf12} = - 68778 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf12} = - 53 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.4.1.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf12} = - 91705 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf12} = - 71 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{tração})$$

**7.3.9.4.2 Tensão nos tubos do lado oposto à cabina (T3 e T4)**

**7.3.9.4.2.1 Tensão de flexão na ancoragem 2**

$$\sigma_{2Qf34} = - 91705 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{2Qf34} = - 71 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.4.2.2 Tensão de flexão na ancoragem 3**

$$\sigma_{3Qf34} = - 68778 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{3Qf34} = - 53 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.4.2.3 Tensão de flexão na ancoragem 4**

$$\sigma_{4Qf34} = - 68778 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{4Qf34} = - 53 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$

**7.3.9.4.2.4 Tensão de flexão na ancoragem 5**

$$\sigma_{5Qf34} = - 91705 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_{5Qf34} = - 71 \text{ N / cm}^2 \quad (\text{compressão})$$



## 7.3.10 TENSÕES TOTAIS NA TORRE PARA O ELEVADOR EM OPERAÇÃO NORMAL

### 7.3.10.1 ANCORAGENS 0 A 4

As tensões totais na torre para o elevador em OPERAÇÃO NORMAL são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.1 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.2.3 – Tensões de compressão (tração) devido à carga móvel
- Item 7.3.5.3 – Tensões de flexão devido à carga móvel
- Item 7.3.8.3 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

#### 7.3.10.1.1 Tensões totais na ancoragem zero

##### 7.3.10.1.1.1 Tubo T1

$$\sigma_{01} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc1} + \sigma_{0Qc12} + \sigma_{0v12}$$

$$\sigma_{01} = - 2414 - 3932 - 327 - 20$$

$$\sigma_{01} = - 6693 \text{ N / cm}^2$$

##### 7.3.10.1.1.2 Tubo T2

$$\sigma_{02} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc2} + \sigma_{0Qc12} + \sigma_{0v12}$$

$$\sigma_{02} = - 2414 - 3932 - 327 - 20$$

$$\sigma_{02} = - 6693 \text{ N / cm}^2$$

##### 7.3.10.1.1.3 Tubo T3

$$\sigma_{03} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc3} + \sigma_{0Qc34} + \sigma_{0v34}$$

$$\sigma_{03} = - 2414 + 192 + 327 + 20$$

$$\sigma_{03} = - 1875 \text{ N / cm}^2$$

##### 7.3.10.1.1.4 Tubo T4

$$\sigma_{04} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc4} + \sigma_{0Qc34} + \sigma_{0v34}$$

$$\sigma_{04} = - 2414 + 192 + 327 + 20$$

$$\sigma_{04} = - 1875 \text{ N / cm}^2$$

#### 7.3.10.1.2 Tensões totais na ancoragem 1

##### 7.3.10.1.2.1 Tubo T1

$$\sigma_{11} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc1} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{11} = - 2293 - 1144 + 654 + 41$$

$$\sigma_{11} = - 2742 \text{ N / cm}^2$$

##### 7.3.10.1.2.2 Tubo T2

$$\sigma_{12} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc2} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{12} = - 2293 - 1144 + 654 + 41$$

$$\sigma_{12} = - 2742 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.2.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{13} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc3} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{13} &= -2293 + 56 - 654 - 41 \\ \sigma_{13} &= -2932 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.2.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc4} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{14} &= -2293 + 56 - 654 - 41 \\ \sigma_{14} &= -2932 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.3 Tensões totais na ancoragem 2****7.3.10.1.3.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc1} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{21} &= -2171 - 1081 - 376 + 25 \\ \sigma_{21} &= -3603 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.3.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{22} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc2} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{22} &= -2171 - 1081 - 376 + 25 \\ \sigma_{22} &= -3603 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.3.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{23} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc3} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{23} &= -2171 + 53 + 376 - 25 \\ \sigma_{23} &= -1767 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.3.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{24} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc4} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{24} &= -2171 + 53 + 376 - 25 \\ \sigma_{24} &= -1767 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.4 Tensões totais na ancoragem 3****7.3.10.1.4.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{31} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc1} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{31} &= -2050 - 1019 + 100 + 27 \\ \sigma_{31} &= -2942 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.1.4.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc2} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{32} &= -2050 - 1019 + 100 + 27 \\ \sigma_{32} &= -2942 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$



**7.3.10.1.4.3 Tubo T3**

$$\sigma_{33} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc3} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{33} = - 2050 + 50 - 100 - 27$$

$$\sigma_{33} = - 2127 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.4.4 Tubo T4**

$$\sigma_{34} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc4} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{34} = - 2050 + 50 - 100 - 27$$

$$\sigma_{34} = - 2127 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.5 Tensões totais na ancoragem 4****7.3.10.1.5.1 Tubo T1**

$$\sigma_{41} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc1} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{41} = - 1928 - 956 - 25 + 35$$

$$\sigma_{41} = - 2874 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.5.2 Tubo T2**

$$\sigma_{42} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc2} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{42} = - 1928 - 956 - 25 + 35$$

$$\sigma_{42} = - 2874 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.5.3 Tubo T3**

$$\sigma_{43} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc3} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{43} = - 1928 + 47 + 25 - 35$$

$$\sigma_{43} = - 1891 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.5.4 Tubo T4**

$$\sigma_{44} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc4} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{44} = - 1928 + 47 + 25 - 35$$

$$\sigma_{44} = - 1891 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.1.6 Coeficiente de segurança na torre para operação normal (ancor. 0 - 4)**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais **para OPERAÇÃO NORMAL do elevador é igual a 6693 N / cm<sup>2</sup>**, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 6693 \Rightarrow S_y = 3,13$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.



### 7.3.10.2 ANCORAGENS 1 A 5

As tensões totais na torre para o elevador em **OPERAÇÃO NORMAL** são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.2 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.2.4 – Tensões de compressão (tração) devido à carga móvel
- Item 7.3.5.4 – Tensões de flexão devido à carga móvel
- Item 7.3.8.4 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

#### 7.3.10.2.1 Tensões totais na ancoragem 1

##### 7.3.10.2.1.1 Tubo T1

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc1} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{11} &= - 2293 - 1144 + 0 + 0 \\ \sigma_{11} &= - 3437 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.10.2.1.2 Tubo T2

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc2} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{12} &= - 2293 - 1144 + 0 + 0 \\ \sigma_{12} &= - 3437 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.10.2.1.3 Tubo T3

$$\begin{aligned}\sigma_{13} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc3} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{13} &= - 2293 + 56 + 0 - 0 \\ \sigma_{13} &= - 2237 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.10.2.1.4 Tubo T4

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc4} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{14} &= - 2293 + 56 + 0 - 0 \\ \sigma_{14} &= - 2237 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.10.2.2 Tensões totais na ancoragem 2

##### 7.3.10.2.2.1 Tubo T1

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc1} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{21} &= - 2171 - 1081 + 632 + 35 \\ \sigma_{21} &= - 2585 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.10.2.2.2 Tubo T2

$$\begin{aligned}\sigma_{22} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc2} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{22} &= - 2171 - 1081 + 632 + 35 \\ \sigma_{22} &= - 2585 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.2.3 Tubo T3**

$$\sigma_{23} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc3} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34}$$

$$\sigma_{23} = - 2171 + 53 - 632 - 35$$

$$\sigma_{23} = - 2785 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.2.4 Tubo T4**

$$\sigma_{24} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc4} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34}$$

$$\sigma_{24} = - 2171 + 53 - 632 - 35$$

$$\sigma_{24} = - 2785 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.3 Tensões totais na ancoragem 3****7.3.10.2.3.1 Tubo T1**

$$\sigma_{31} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc1} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12}$$

$$\sigma_{31} = - 2050 - 1019 - 191 + 27$$

$$\sigma_{31} = - 3233 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.3.2 Tubo T2**

$$\sigma_{32} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc2} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12}$$

$$\sigma_{32} = - 2050 - 1019 - 191 + 27$$

$$\sigma_{32} = - 3233 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.3.3 Tubo T3**

$$\sigma_{33} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc3} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{33} = - 2050 + 50 + 191 - 27$$

$$\sigma_{33} = - 1836 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.3.4 Tubo T4**

$$\sigma_{34} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc4} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{34} = - 2050 + 50 + 191 - 27$$

$$\sigma_{34} = - 1836 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.4 Tensões totais na ancoragem 4****7.3.10.2.4.1 Tubo T1**

$$\sigma_{41} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc1} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{41} = - 1928 - 956 + 51 + 27$$

$$\sigma_{41} = - 2806 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.10.2.4.2 Tubo T2**

$$\sigma_{42} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc2} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{42} = - 1928 - 956 + 51 + 27$$

$$\sigma_{42} = - 2806 \text{ N / cm}^2$$



**7.3.10.2.4.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{43} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc3} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{43} &= -1928 + 47 - 51 - 27 \\ \sigma_{43} &= -1959 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.4.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{44} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc4} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{44} &= -1928 + 47 - 51 - 27 \\ \sigma_{44} &= -1959 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.5 Tensões totais na ancoragem 5****7.3.10.2.5.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{51} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{51} &= -1807 - 893 - 12 + 35 \\ \sigma_{51} &= -2677 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.5.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{52} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{52} &= -1807 - 893 - 12 + 35 \\ \sigma_{52} &= -2677 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.5.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{53} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{53} &= -1807 + 44 + 12 - 35 \\ \sigma_{53} &= -1786 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.5.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{54} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{54} &= -1807 + 44 + 12 - 35 \\ \sigma_{54} &= -1786 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.10.2.6 Coeficiente de segurança na torre para operação normal (ancor 1 – 5)**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais para **OPERAÇÃO NORMAL do elevador é igual a 3437 N / cm<sup>2</sup>**, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$Sy = 21000 / 3437 \Rightarrow Sy = 6,10$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.



**7.3.11 TENSÕES TOTAIS NA TORRE**  
**- ELEVADOR EM PROCESSO DE FREAGEM DE EMERGENCIA**

**7.3.11.1 ANCORAGENS 0 A 4**

As tensões totais na torre para o elevador em processo de **FREAGEM DE EMERGENCIA** são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.1 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.3.3 – Tensões de compressão devido à carga móvel
- Item 7.3.6.3 – Tensões de flexão devido à carga móvel
- Item 7.3.8.3 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

**7.3.11.1.1 Tensões totais na ancoragem zero**

**7.3.11.1.1.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{01f} &= \sigma_{0Qt} + \sigma_{0cf1} + \sigma_{0Qf12} + \sigma_{0v12} \\ \sigma_{01f} &= - 2414 - 6777 - 482 - 20 \\ \sigma_{01f} &= - 9693 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.1.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{02f} &= \sigma_{0Qt} + \sigma_{0cf2} + \sigma_{0Qf12} + \sigma_{0v12} \\ \sigma_{02f} &= - 2414 - 6777 - 482 - 20 \\ \sigma_{02f} &= - 9693 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.1.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{03} &= \sigma_{0Qt} + \sigma_{0cf3} + \sigma_{0Qf34} + \sigma_{0v34} \\ \sigma_{03} &= - 2414 + 331 + 482 + 20 \\ \sigma_{03} &= - 1581 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.1.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{04} &= \sigma_{0Qt} + \sigma_{0cf4} + \sigma_{0Qf34} + \sigma_{0v34} \\ \sigma_{04} &= - 2414 + 331 + 482 + 20 \\ \sigma_{04} &= - 1581 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.2 Tensões totais na ancoragem 1**

**7.3.11.1.2.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{11} &= - 2293 - 1144 + 964 + 41 \\ \sigma_{11} &= - 2432 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.2.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1cf2} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{12} &= - 2293 - 1144 + 964 + 41 \\ \sigma_{12} &= - 2432 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.2.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{13} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1cf3} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{13} &= - 2293 + 56 - 964 - 41 \\ \sigma_{13} &= - 3242 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.2.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1cf4} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{14} &= - 2293 + 56 - 964 - 41 \\ \sigma_{14} &= - 3242 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.3 Tensões totais na ancoragem 2**

**7.3.11.1.3.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{21} &= - 2171 - 1081 - 344 + 25 \\ \sigma_{21} &= - 3571 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.3.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{22} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{22} &= - 2171 - 1081 - 344 + 25 \\ \sigma_{22} &= - 3571 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.3.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{23} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{23} &= - 2171 + 53 + 344 - 25 \\ \sigma_{23} &= - 1799 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.3.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{24} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{24} &= - 2171 + 53 + 344 - 25 \\ \sigma_{24} &= - 1799 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.4 Tensões totais na ancoragem 3**

**7.3.11.1.4.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{31} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{31} &= - 2050 - 1019 + 92 + 27 \\ \sigma_{31} &= - 2950 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.1.4.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{32} &= - 2050 - 1019 + 92 + 27 \\ \sigma_{32} &= - 2950 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$



**7.3.11.1.4.3 Tubo T3**

$$\sigma_{33} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{33} = - 2050 + 50 - 92 - 27$$

$$\sigma_{33} = - 2119 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.1.4.4 Tubo T4**

$$\sigma_{34} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{3v34}$$

$$\sigma_{34} = - 2050 + 50 - 92 - 27$$

$$\sigma_{34} = - 2119 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.1.5 Tensões totais na ancoragem 4****7.3.11.5.1.1 Tubo T1**

$$\sigma_{41} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{41} = - 1928 - 956 - 23 + 35$$

$$\sigma_{41} = - 2872 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.5.1.2 Tubo T2**

$$\sigma_{42} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{42} = - 1928 - 956 - 23 + 35$$

$$\sigma_{42} = - 2872 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.5.1.3 Tubo T3**

$$\sigma_{43} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{43} = - 1928 + 47 + 23 - 35$$

$$\sigma_{43} = - 1893 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.5.1.4 Tubo T4**

$$\sigma_{44} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{44} = - 1928 + 47 + 23 - 35$$

$$\sigma_{44} = - 1893 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.1.6 Coeficiente de segurança na torre- FREAGEM DE EMERGENCIA (anc 0- 4)**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais para operação durante um processo de FREAGEM DE EMERGENCIA é igual a 9693 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 9693 \Rightarrow S_y = 2,16$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.



### **7.3.11.2 ANCORAGENS 1 A 5**

As tensões totais na torre para o elevador em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.2 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.3.4 – Tensões de compressão (tração) devido à carga móvel
- Item 7.3.6.4 – Tensões de flexão devido à carga móvel
- Item 7.3.8.4 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

#### **7.3.11.2.1 Tensões totais na ancoragem 1**

##### **7.3.11.2.1.1 Tubo T1**

$$\sigma_{11} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc1} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{11} = - 2293 - 6714 + 0 + 0$$

$$\sigma_{11} = - 9007 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.11.2.1.2 Tubo T2**

$$\sigma_{12} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc2} + \sigma_{1Qc12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{12} = - 2293 - 6714 + 0 + 0$$

$$\sigma_{12} = - 9007 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.11.2.1.3 Tubo T3**

$$\sigma_{13} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc3} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34}$$

$$\sigma_{13} = - 2293 + 329 + 0 - 0$$

$$\sigma_{13} = - 1964 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.11.2.1.4 Tubo T4**

$$\sigma_{14} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc4} + \sigma_{1Qc34} + \sigma_{1v34}$$

$$\sigma_{14} = - 2293 + 329 + 0 - 0$$

$$\sigma_{14} = - 1964 \text{ N / cm}^2$$

#### **7.3.11.2.2 Tensões totais na ancoragem 2**

##### **7.3.11.2.2.1 Tubo T1**

$$\sigma_{21} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc1} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12}$$

$$\sigma_{21} = - 2171 - 1081 + 1116 + 35$$

$$\sigma_{21} = - 2101 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.11.2.2.2 Tubo T2**

$$\sigma_{22} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc2} + \sigma_{2Qc12} + \sigma_{2v12}$$

$$\sigma_{22} = - 2171 - 1081 + 1116 + 35$$

$$\sigma_{22} = - 2101 \text{ N / cm}^2$$



**7.3.11.2.2.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{23} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc3} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{23} &= - 2171 + 53 - 1116 - 35 \\ \sigma_{23} &= - 3269 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.2.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{24} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc4} + \sigma_{2Qc34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{24} &= - 2171 + 53 - 1116 - 35 \\ \sigma_{24} &= - 3269 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.3 Tensões totais na ancoragem 3**

**7.3.11.2.3.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{31} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc1} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{31} &= - 2050 - 1019 - 385 + 27 \\ \sigma_{31} &= - 3427 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.3.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc2} + \sigma_{3Qc12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{32} &= - 2050 - 1019 - 385 + 27 \\ \sigma_{32} &= - 3427 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.3.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{33} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc3} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{33} &= - 2050 + 50 + 385 - 27 \\ \sigma_{33} &= - 1642 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.3.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{34} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc4} + \sigma_{3Qc34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{34} &= - 2050 + 50 + 385 - 27 \\ \sigma_{34} &= - 1642 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.4 Tensões totais na ancoragem 4**

**7.3.11.2.4.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{41} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc1} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{41} &= - 1928 - 956 + 103 + 27 \\ \sigma_{41} &= - 2754 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.4.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{42} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc2} + \sigma_{4Qc12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{42} &= - 1928 - 956 + 103 + 27 \\ \sigma_{42} &= - 2754 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.11.2.4.3 Tubo T3**

$$\sigma_{43} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc3} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{43} = - 1928 + 47 - 103 - 27$$

$$\sigma_{43} = - 2011 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.4.4 Tubo T4**

$$\sigma_{44} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc4} + \sigma_{4Qc34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{44} = - 1928 + 47 - 103 - 27$$

$$\sigma_{44} = - 2011 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.5 Tensões totais na ancoragem 5****7.3.11.2.5.1 Tubo T1**

$$\sigma_{51} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{51} = - 1807 - 893 - 26 + 35$$

$$\sigma_{51} = - 2691 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.5.2 Tubo T2**

$$\sigma_{52} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{52} = - 1807 - 893 - 26 + 35$$

$$\sigma_{52} = - 2691 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.5.3 Tubo T3**

$$\sigma_{53} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{53} = - 1807 + 44 + 26 - 35$$

$$\sigma_{53} = - 1772 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.5.4 Tubo T4**

$$\sigma_{54} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{54} = - 1807 + 44 + 26 - 35$$

$$\sigma_{54} = - 1772 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.11.2.6 Coeficiente de segurança na torre - FREAGEM DE EMERGENCIA (anc1-5)**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais **para operação durante um processo de FREAGEM DE EMERGENCIA é igual a 9007 N / cm<sup>2</sup>**, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 9007 \Rightarrow S_y = 2,33$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.

### **7.3.12 TENSÕES TOTAIS NA TORRE** **- ELEVADOR FORA DE OPERAÇÃO DEVIDO AO VENTO MÁXIMO**

#### **7.3.12.1 ANCORAGENS 0 A 4**

As tensões totais na torre para o elevador fora de operação são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.1 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.4.3 – Tensões de compressão devido à carga móvel
- Item 7.3.7.3 – Tensões de flexão devido à carga móvel (peso da cabina)
- Item 7.3.9.3 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

#### **7.3.12.1.1 Tensões totais na ancoragem zero**

##### **7.3.12.1.1.1 Tubo T1**

$$\sigma_{01f} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc1} + \sigma_{0Qf12} + \sigma_{0v12}$$

$$\sigma_{01f} = - 2414 - 2380 - 318 - 41$$

$$\sigma_{01f} = - 5153 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.12.1.1.2 Tubo T2**

$$\sigma_{02f} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc2} + \sigma_{0Qf12} + \sigma_{0v12}$$

$$\sigma_{02f} = - 2414 - 2380 - 318 - 41$$

$$\sigma_{02f} = - 5153 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.12.1.1.3 Tubo T3**

$$\sigma_{03} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc3} + \sigma_{0Qf34} + \sigma_{0v34}$$

$$\sigma_{03} = - 2414 + 116 + 318 + 41$$

$$\sigma_{03} = - 1939 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.12.1.1.4 Tubo T4**

$$\sigma_{04} = \sigma_{0Qt} + \sigma_{0Qc4} + \sigma_{0Qf34} + \sigma_{0v34}$$

$$\sigma_{04} = - 2414 + 116 + 318 + 41$$

$$\sigma_{04} = - 1939 \text{ N / cm}^2$$

#### **7.3.12.1.2 Tensões totais na ancoragem 1**

##### **7.3.12.1.2.1 Tubo T1**

$$\sigma_{11} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{11} = - 2293 - 1144 + 636 + 82$$

$$\sigma_{11} = - 2719 \text{ N / cm}^2$$

##### **7.3.12.1.2.2 Tubo T2**

$$\sigma_{12} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc2} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12}$$

$$\sigma_{12} = - 2293 - 1144 + 636 + 82$$

$$\sigma_{12} = - 2719 \text{ N / cm}^2$$



**7.3.12.1.2.3 Tubo T3**

$$\sigma_{13} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc3} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34}$$

$$\sigma_{13} = - 2293 + 56 - 636 - 82$$

$$\sigma_{13} = - 2955 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.2.4 Tubo T4**

$$\sigma_{14} = \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc4} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34}$$

$$\sigma_{14} = - 2293 + 56 - 636 - 82$$

$$\sigma_{14} = - 2955 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.3 Tensões totais na ancoragem 2****7.3.12.1.3.1 Tubo T1**

$$\sigma_{21} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{2v12}$$

$$\sigma_{21} = - 2171 - 1081 - 177 + 50$$

$$\sigma_{21} = - 3379 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.3.2 Tubo T2**

$$\sigma_{22} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{2v12}$$

$$\sigma_{22} = - 2171 - 1081 - 177 + 50$$

$$\sigma_{22} = - 3379 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.3.3 Tubo T3**

$$\sigma_{23} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{2v34}$$

$$\sigma_{23} = - 2171 + 53 + 177 - 50$$

$$\sigma_{23} = - 1991 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.3.4 Tubo T4**

$$\sigma_{24} = \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{2v34}$$

$$\sigma_{24} = - 2171 + 53 + 177 - 50$$

$$\sigma_{24} = - 1991 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.4 Tensões totais na ancoragem 3****7.3.12.1.4.1 Tubo T1**

$$\sigma_{31} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{3v12}$$

$$\sigma_{31} = - 2050 - 1019 + 47 + 54$$

$$\sigma_{31} = - 2968 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.1.4.2 Tubo T2**

$$\sigma_{32} = \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{3v12}$$

$$\sigma_{32} = - 2050 - 1019 + 47 + 54$$

$$\sigma_{32} = - 2968 \text{ N / cm}^2$$



#### 7.3.12.1.4.3 tubo T3

$$\begin{aligned}\sigma_{33} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{Qc3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{33} &= - 2050 + 50 - 47 - 54 \\ \sigma_{33} &= - 2101 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.12.1.4.4 tubo T4

$$\begin{aligned}\sigma_{34} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{Qc4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{34} &= - 2050 + 50 - 47 - 54 \\ \sigma_{34} &= - 2101 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

### 7.3.12.5 Tensões totais na ancoragem 4

#### 7.3.12.5.1 tubo T1

$$\begin{aligned}\sigma_{41} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{41} &= - 1928 - 956 - 12 + 70 \\ \sigma_{41} &= - 2826 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.12.5.2 tubo T2

$$\begin{aligned}\sigma_{42} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{42} &= - 1928 - 956 - 12 + 70 \\ \sigma_{42} &= - 2826 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.12.5.3 tubo T3

$$\begin{aligned}\sigma_{43} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{43} &= - 1928 + 47 + 12 - 70 \\ \sigma_{43} &= - 1939 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.12.5.4 tubo T4

$$\begin{aligned}\sigma_{44} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34} \\ \sigma_{44} &= - 1928 + 47 + 12 - 70 \\ \sigma_{44} &= - 1939 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

### 7.3.12.1.6 Coeficiente segurança na torre-elevador FORA DE OPERAÇÃO (anc 0-4)

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais **para o elevador FORA DE OPERAÇÃO é igual a 5153 N / cm<sup>2</sup>**, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 5153 \quad \Rightarrow \quad S_y = 4,07$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.

### 7.3.12.2 ANCORAGENS 1 A 5

As tensões totais na torre para o elevador fora de operação são dadas pelas somas das tensões em cada tubo vertical definidas nos itens conforme segue:

- Item 7.3.1.2 – Tensões de compressão devido ao peso próprio da torre
- Item 7.3.4.4 – Tensões de compressão (tração) devido à carga móvel
- Item 7.3.7.4 – Tensões de flexão devido à carga móvel (peso da cabina)
- Item 7.3.9.4 - Tensões de flexão na torre devido à ação do vento

#### 7.3.12.2.1 Tensões totais na ancoragem 1

##### 7.3.12.2.1.1 Tubo T1

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{11} &= - 2293 - 2318 + 0 + 0 \\ \sigma_{11} &= - 5241 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.12.2.1.2 Tubo T2

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc2} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{1v12} \\ \sigma_{12} &= - 2293 - 2318 + 0 + 0 \\ \sigma_{12} &= - 5241 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.12.2.1.3 Tubo T3

$$\begin{aligned}\sigma_{13} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc3} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{13} &= - 2293 + 113 + 0 - 0 \\ \sigma_{13} &= - 2180 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.12.2.1.4 Tubo T4

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \sigma_{1Qt} + \sigma_{1Qc4} + \sigma_{1Qf34} + \sigma_{1v34} \\ \sigma_{14} &= - 2293 + 113 + 0 - 0 \\ \sigma_{14} &= - 2180 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

#### 7.3.12.2.2 Tensões totais na ancoragem 2

##### 7.3.12.2.2.1 Tubo T1

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc1} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{21} &= - 2171 - 1081 + 545 + 71 \\ \sigma_{21} &= - 2636 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

##### 7.3.12.2.2.2 Tubo T2

$$\begin{aligned}\sigma_{22} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{2v12} \\ \sigma_{22} &= - 2171 - 1081 + 545 + 71 \\ \sigma_{22} &= - 2636 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$



**7.3.12.2.2.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{23} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc3} + \sigma_{2Qf34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{23} &= - 2171 + 53 - 545 - 71 \\ \sigma_{23} &= - 1644 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.2.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{24} &= \sigma_{2Qt} + \sigma_{2Qc4} + \sigma_{2Qf34} + \sigma_{2v34} \\ \sigma_{24} &= - 2171 + 53 - 545 - 71 \\ \sigma_{24} &= - 1644 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.3 Tensões totais na ancoragem 3**

**7.3.12.2.3.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{31} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc1} + \sigma_{3Qf12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{31} &= - 2050 - 1019 - 273 + 53 \\ \sigma_{31} &= - 3289 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.3.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc2} + \sigma_{3Qf12} + \sigma_{3v12} \\ \sigma_{32} &= - 2050 - 1019 - 273 + 53 \\ \sigma_{32} &= - 3289 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.3.3 Tubo T3**

$$\begin{aligned}\sigma_{33} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{33} &= - 2050 + 50 + 273 - 53 \\ \sigma_{33} &= - 1780 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.3.4 Tubo T4**

$$\begin{aligned}\sigma_{34} &= \sigma_{3Qt} + \sigma_{3Qc4} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{3v34} \\ \sigma_{34} &= - 2050 + 50 + 273 - 53 \\ \sigma_{34} &= - 1780 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.4 Tensões totais na ancoragem 4**

**7.3.12.2.4.1 Tubo T1**

$$\begin{aligned}\sigma_{41} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc1} + \sigma_{4Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{41} &= - 1928 - 956 + 73 + 53 \\ \sigma_{41} &= - 2758 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$

**7.3.12.2.4.2 Tubo T2**

$$\begin{aligned}\sigma_{42} &= \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc2} + \sigma_{4Qf12} + \sigma_{4v12} \\ \sigma_{42} &= - 1928 - 956 + 73 + 53 \\ \sigma_{42} &= - 2758 \text{ N / cm}^2\end{aligned}$$



**7.3.12.2.4.3 Tubo T3**

$$\sigma_{43} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc3} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{43} = - 1928 + 47 - 73 - 53$$

$$\sigma_{43} = - 2007 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.4.4 Tubo T4**

$$\sigma_{44} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4Qc4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{44} = - 1928 + 47 - 73 - 53$$

$$\sigma_{44} = - 2007 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.5 Tensões totais na ancoragem 5****7.3.12.2.5.1 Tubo T1**

$$\sigma_{51} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf1} + \sigma_{1Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{51} = - 1807 - 893 - 18 + 71$$

$$\sigma_{51} = - 2647 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.5.2 Tubo T2**

$$\sigma_{52} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf2} + \sigma_{2Qf12} + \sigma_{4v12}$$

$$\sigma_{52} = - 1807 - 893 - 18 + 71$$

$$\sigma_{52} = - 2647 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.5.3 Tubo T3**

$$\sigma_{53} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf3} + \sigma_{3Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{53} = - 1807 + 44 + 18 - 71$$

$$\sigma_{53} = - 1816 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.5.4 Tubo T4**

$$\sigma_{54} = \sigma_{4Qt} + \sigma_{4cf4} + \sigma_{4Qf34} + \sigma_{4v34}$$

$$\sigma_{54} = - 1807 + 44 + 18 - 71$$

$$\sigma_{54} = - 1816 \text{ N / cm}^2$$

**7.3.12.2.6 Coeficiente segurança na torre- elevador FORA DE OPERAÇÃO (anc1-5)**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão nos perfis verticais **para o elevador FORA DE OPERAÇÃO é igual a 5241 N / cm<sup>2</sup>**, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$Sy = 21000 / 5241 \Rightarrow Sy = 4,00$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.

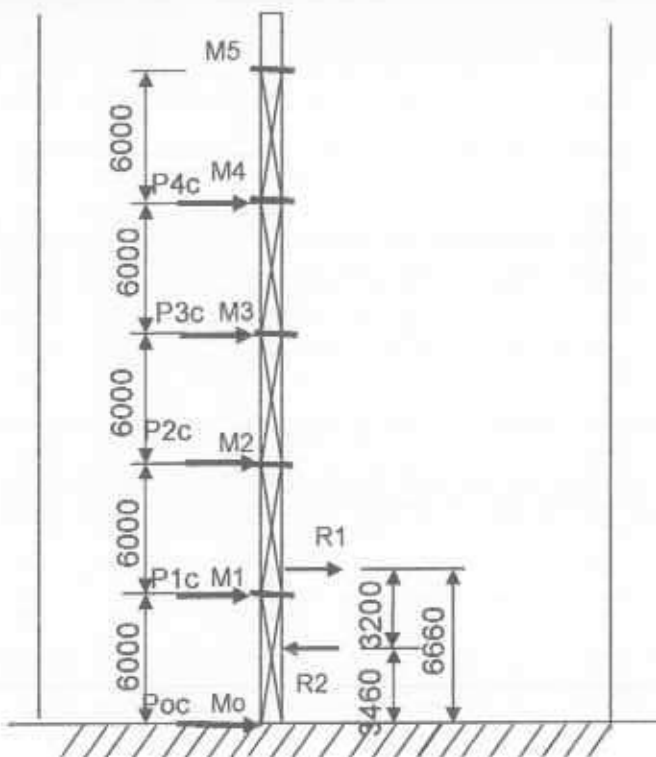
## 8. REAÇÕES NOS PONTOS DE ANCORAGEM

Os maiores valores dos momentos nos diversos pontos de ancoragem ocorrem para o elevador submetido a um processo **FREAGEM DE EMERGENCIA** (itens 7.3.10 a 7.3.12) de forma que basta a verificação das reações para esta condição para que se obtenha os valores máximos. Assim como os momentos, é suficiente a verificação das reações nas ancoragens, somando-se as reações devido à carga móvel com as reações devido ao vento

### 8.1 Reações devido à carga móvel

#### Elevador em processo de FREAGEM DE EMERGENCIA

##### 8.1.1 ANCORAGENS ZERO a 4



Conforme dados do item 7.3.6.1 os valores das cargas e dos momentos fletores nas ancoragens zero a 4 são dados por:

$$R1 = 15071 \text{ N}$$

$$R2 = 19552 \text{ N}$$

$$M0 = 452148 \text{ Ncm}$$

$$M1 = -904297 \text{ Ncm}$$

$$M2 = 322870 \text{ Ncm}$$

$$M3 = -86098 \text{ Ncm}$$

$$M4 = 21524 \text{ Ncm}$$



### 8.1.1.1 Reação na ancoragem zero

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 1:

$$M_o - P_{oc} \cdot 600 + R_2 \cdot 254 = M_1$$

$$452148 - P_{oc} \cdot 600 + 19552 \cdot 254 = -904297$$

$$452148 - P_{oc} \cdot 600 + 4966208 = -904297$$

$$- P_{oc} \cdot 600 = -904297 - 452148 - 4966208$$

$$- P_{oc} \cdot 600 = -6322653 \Rightarrow P_{oc} = 10537 \text{ N}$$

### 8.1.1.2 Reação na ancoragem 1

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 2:

$$M_o - P_{oc} \cdot 1200 + R_2 \cdot 854 - R_1 \cdot 534 - P_{1c} \cdot 600 = M_2$$

$$452148 - 10537 \cdot 1200 + 19552 \cdot 854 - 15071 \cdot 534 - P_{1c} \cdot 600 = 322870$$

$$452148 - 12644400 + 16697408 - 8047914 - P_{1c} \cdot 600 = 322870$$

$$- P_{1c} \cdot 600 = 322870 - 452148 + 12644400 - 16697408 + 8047914$$

$$- P_{1c} \cdot 600 = 3865628 \Rightarrow P_{1c} = -6442 \text{ N}$$

### 8.1.1.3 Reação na ancoragem 2

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 3:

$$M_o - P_{oc} \cdot 1800 + R_2 \cdot 1454 - R_1 \cdot 1134 - P_{1c} \cdot 1200 - P_{2c} \cdot 600 = M_3$$

$$452148 - 10537 \cdot 1800 + 19552 \cdot 1454 - 15071 \cdot 1134 + 6442 \cdot 1200 -$$

$$- P_{2c} \cdot 600 = -86098$$

$$452148 - 18966600 + 28428608 - 17090514 + 7730400 - P_{2c} \cdot 600 = -86098$$

$$- P_{2c} \cdot 600 + 554042 = -86098$$

$$- P_{2c} \cdot 600 = -640140 \Rightarrow P_{2c} = 1067 \text{ N}$$

### 8.1.1.4 Reação na ancoragem 3

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 4:

$$M_o - P_{oc} \cdot 2400 + R_2 \cdot 2054 - R_1 \cdot 1734 - P_{1c} \cdot 1800 - P_{2c} \cdot 1200 -$$

$$- P_{3c} \cdot 600 = M_4$$

$$452148 - 10537 \cdot 2400 + 19552 \cdot 2054 - 15071 \cdot 1734 + 6442 \cdot 1800 -$$

$$- 1067 \cdot 1200 - P_{3c} \cdot 600 = 21524$$

$$452148 - 25288800 + 40159808 - 26133114 + 11595600 - 1280400 -$$

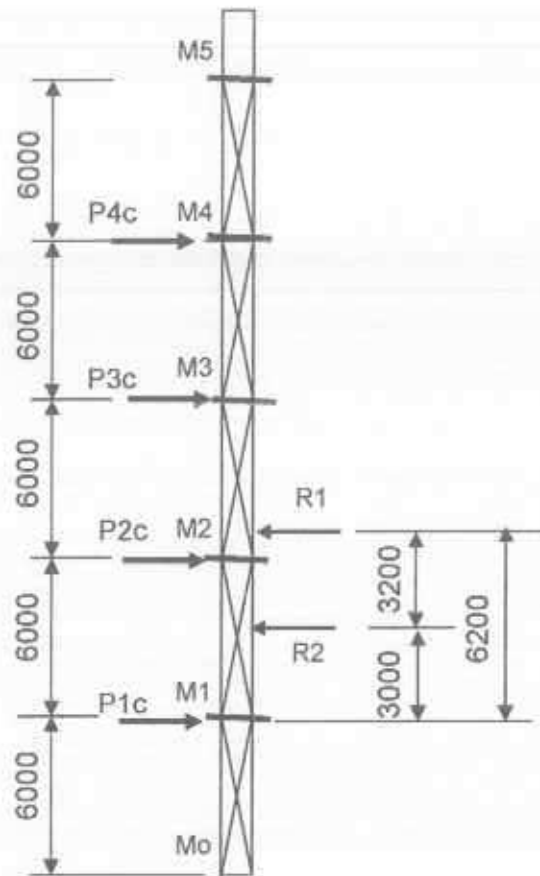
$$- P_{3c} \cdot 600 = 21524$$

$$- P_{3c} \cdot 600 - 494758 = 21524$$

$$- P_{3c} \cdot 600 = 516282 \Rightarrow P_{3c} = -860 \text{ N}$$



8.1.2 ANCORAGENS 1 a 5



Conforme dados do item 7.3.6.2 os valores das cargas e dos momentos fletores nas ancoragens 1 a 5 são dados por:

$$R1 = 15071 \text{ N}$$

$$R2 = 19552 \text{ N}$$

$$M2 = - 1046802 \text{ Ncm}$$

$$M3 = 361041 \text{ Ncm}$$

$$M4 = - 96277 \text{ Ncm}$$

$$M5 = 24069 \text{ Ncm}$$



#### 8.1.2.1 Reação na ancoragem 1

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 2:

$$\begin{aligned}
 & - P1c \cdot 600 + R2 \cdot 300 = M2 \\
 & - P1c \cdot 600 + 19552 \cdot 300 = - 1046802 \\
 & - P1c \cdot 600 + 5865600 = - 1046802 \\
 & - P1c \cdot 600 = - 6912402 \Rightarrow P1c = 11520 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### 8.1.2.2 Reação na ancoragem 2

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 3:

$$\begin{aligned}
 & - P1c \cdot 1200 + R2 \cdot 900 + R1 \cdot 580 - P2c \cdot 600 = M3 \\
 & - 11520 \cdot 1200 + 19552 \cdot 900 + 15071 \cdot 580 - P2c \cdot 600 = 361041 \\
 & - 13824000 + 17596800 + 8741180 - P2c \cdot 600 = 361041 \\
 & - P2c \cdot 600 + 12513980 = 361041 \\
 & - P2c \cdot 600 = - 12152939 \Rightarrow P2c = 20254 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### 8.1.2.3 Reação na ancoragem 3

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 4:

$$\begin{aligned}
 & - P1c \cdot 1800 + R2 \cdot 1500 + R1 \cdot 1180 - P2c \cdot 1200 - P3c \cdot 600 = M4 \\
 & - 11520 \cdot 1800 + 19552 \cdot 1500 + 15071 \cdot 1180 - 20254 \cdot 1200 - P3c \cdot 600 = - 96277 \\
 & - 20736000 + 29328000 + 17783780 - 24304800 - P3c \cdot 600 = - 96277 \\
 & - P3c \cdot 600 + 2070980 = - 96277 \\
 & - P3c \cdot 600 = - 2167257 \Rightarrow P3c = 3612 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### 8.1.2.4 Reação na ancoragem 4

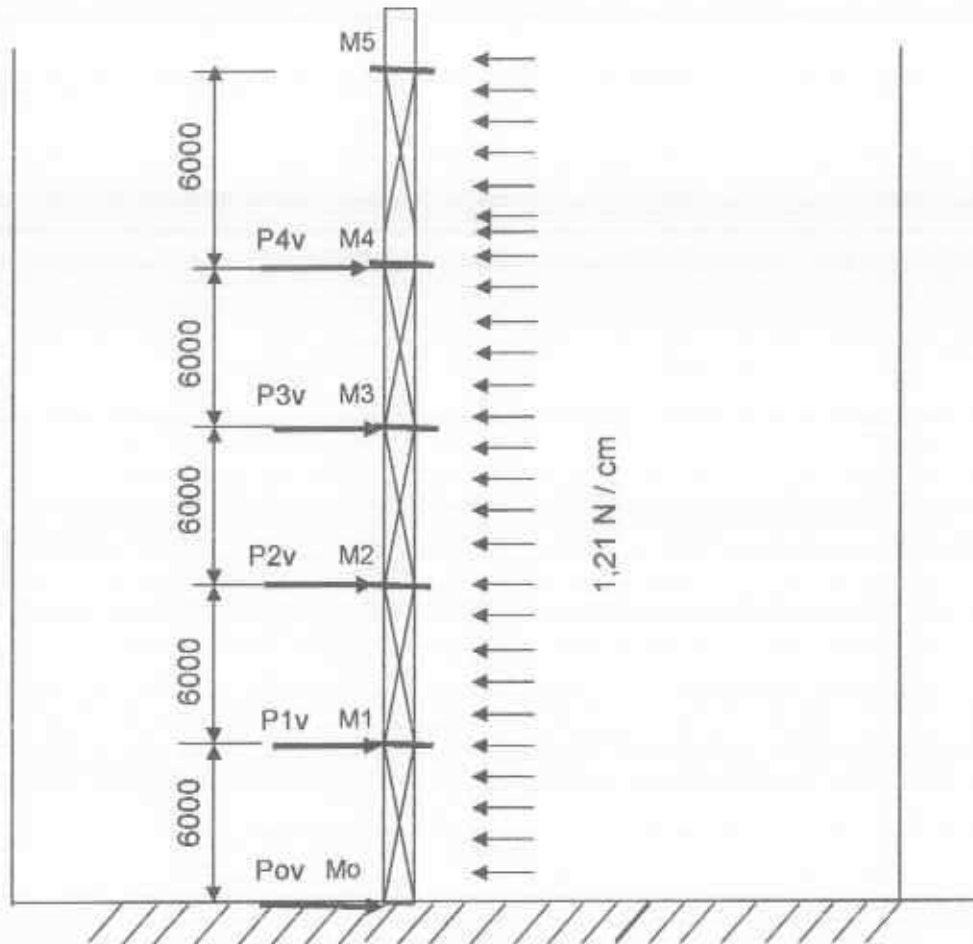
Somatório dos momentos em relação à ancoragem 5:

$$\begin{aligned}
 & - P1c \cdot 2400 + R2 \cdot 2100 + R1 \cdot 1780 - P2c \cdot 1800 - P3c \cdot 1200 - P4c \cdot 600 = M5 \\
 & - 11520 \cdot 2400 + 19552 \cdot 2100 + 15071 \cdot 1780 - 20254 \cdot 1800 - \\
 & - 3612 \cdot 1200 - P4c \cdot 600 = 24069 \\
 & - 27648000 + 41059200 + 26826380 - 36457200 - 4334400 - P4c \cdot 600 = 24069 \\
 & - P4c \cdot 600 + 554020 = 24069 \\
 & - P4c \cdot 600 = 578089 \Rightarrow P4c = - 963 \text{ N}
 \end{aligned}$$



8.2 Reações devido ao vento – elevador em OPERAÇÃO NORMAL

8.2.1 ANCORAGENS ZERO A 4



Conforme dados do item 7.3.8.1 os valores dos momentos fletores nas ancoragens são dados por:

- $M_0 = 26472 \text{ Ncm}$
- $M_1 = - 52945 \text{ Ncm}$
- $M_2 = - 32489 \text{ Ncm}$
- $M_3 = - 34896 \text{ Ncm}$
- $M_4 = - 45725 \text{ Ncm}$

### 8.2.1.1 Reação na ancoragem zero

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 1:

$$M_o - P_{ov} \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M1$$

$$26472 - P_{ov} \cdot 600 + 217800 = - 52945$$

$$- P_{ov} \cdot 600 = - 52945 - 244272$$

$$- P_{ov} \cdot 600 = - 297217 \quad \Rightarrow \quad P_{ov} = 495 \text{ N}$$

### 8.2.1.2 Reação na ancoragem 1

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 2:

$$M_o - P_{ov} \cdot 1200 - P1v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (0,946 \cdot 600 \cdot 300) = M2$$

$$26472 - 495 \cdot 1200 - P1v \cdot 600 + 653400 + 217800 = - 32489$$

$$26472 - 594000 - P1v \cdot 600 + 653400 + 217800 = - 32489$$

$$- P1v \cdot 600 + 303672 = - 32489$$

$$- P1v \cdot 600 = - 336161 \quad \Rightarrow \quad P1v = 560 \text{ N}$$

### 8.2.1.3 Reação na ancoragem 2

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 3:

$$M_o - P_{ov} \cdot 1800 - P1v \cdot 1200 - P2v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 1500) + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M3$$

$$26472 - 495 \cdot 1800 - 560 \cdot 1200 - P2v \cdot 600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 34896$$

$$26472 - 891000 - 672000 - P2v \cdot 600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 34896$$

$$- P2v \cdot 600 + 423672 = - 34896$$

$$- P2v \cdot 600 = - 458568 \quad \Rightarrow \quad P2v = 764 \text{ N}$$

### 8.2.1.4 Reação na ancoragem 3

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 4:

$$M_o - P_{ov} \cdot 2400 - P1v \cdot 1800 - P2v \cdot 1200 - P3v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 2100) + (1,21 \cdot 600 \cdot 1500) + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M4$$

$$26472 - 495 \cdot 2400 - 560 \cdot 1800 - 764 \cdot 1200 - P3v \cdot 600 + 1524600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 45725$$

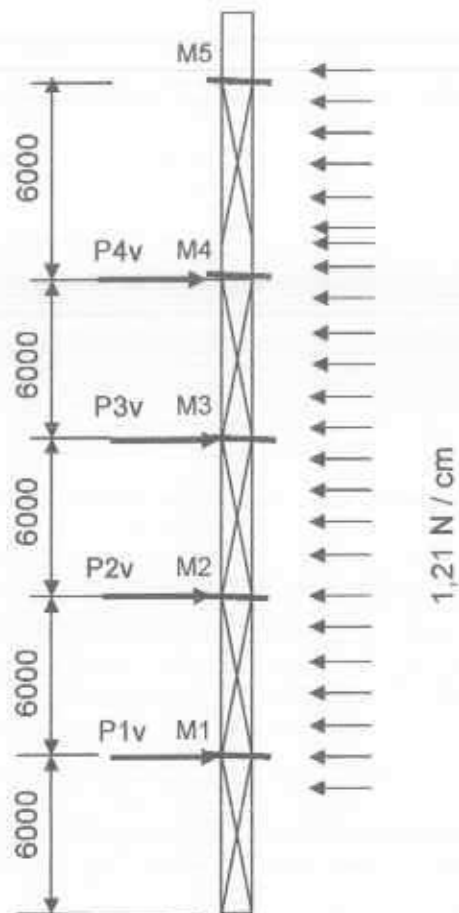
$$26472 - 1188000 - 1008000 - 916800 - P3v \cdot 600 + 1191960 + 851400 + 510840 + 170280 = - 45725$$

$$- P3v \cdot 600 - 361848 = - 45725$$

$$- P3v \cdot 600 = - 407573 \quad \Rightarrow \quad P3v = 679 \text{ N}$$



8.2.2 ANCORAGENS 1 a 5



Conforme dados do item 7.3.8.2 os valores dos momentos fletores nas ancoragens são dados por:

- M1 = 0
- M2 = - 45852 Ncm
- M3 = - 34389 Ncm
- M4 = - 34389 Ncm
- M5 = - 45852 Ncm

5

### 8.2.2.1 Reação na ancoragem 1

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 2:

$$\begin{aligned}
 & - P1v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M2 \\
 & - P1v \cdot 600 + 217800 = - 45852 \\
 & - P1v \cdot 600 = - 263652 \quad \Rightarrow \quad P1v = 439 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### 8.2.2.2 Reação na ancoragem 2

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 3:

$$\begin{aligned}
 & - P1v \cdot 1200 - P2v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M3 \\
 & - 439 \cdot 1200 - P2v \cdot 600 + 653400 + 217800 = - 34389 \\
 & - 526800 - P2v \cdot 600 + 653400 + 217800 = - 34389 \\
 & \quad - P2v \cdot 600 + 344400 = - 34389 \\
 & - P2v \cdot 600 = - 378789 \quad \Rightarrow \quad P2v = 631 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### 8.2.2.3 Reação na ancoragem 3

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 4:

$$\begin{aligned}
 & - P1v \cdot 1800 - P2v \cdot 1200 - P3v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 1500) + \\
 & + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M4 \\
 & - 439 \cdot 1800 - 631 \cdot 1200 - P3v \cdot 600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 34389 \\
 & - 790200 - 757200 - P3v \cdot 600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 34389 \\
 & \quad - P3v \cdot 600 + 412800 = - 34389 \\
 & - P3v \cdot 600 = - 447189 \quad \Rightarrow \quad P3v = 745 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### 8.2.2.4 Reação na ancoragem 4

Somatório dos momentos em relação à ancoragem 5:

$$\begin{aligned}
 & - P1v \cdot 2400 - P2v \cdot 1800 - P3v \cdot 1200 - P4v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 2100) + \\
 & + (1,21 \cdot 600 \cdot 1500) + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = M5 \\
 & - 439 \cdot 2400 - 631 \cdot 1800 - 745 \cdot 1200 - P4v \cdot 600 + (1,21 \cdot 600 \cdot 2100) + \\
 & + (1,21 \cdot 600 \cdot 1500) + (1,21 \cdot 600 \cdot 900) + (1,21 \cdot 600 \cdot 300) = - 45852 \\
 & - 1053600 - 1135800 - 894000 - P4v \cdot 600 + 1524600 + 1089000 + 653400 + 217800 = - 45852 \\
 & \quad - P4v \cdot 600 + 401400 = - 45852 \\
 & - P4v \cdot 600 = - 447252 \quad \Rightarrow \quad P4v = 745 \text{ N}
 \end{aligned}$$



### **8.3 Reações totais na ancoragem**

#### **8.3.1 Ancoragens zero a 4**

As reações totais nas ancoragens zero a 4 são dadas pela soma das reações devido à carga móvel e devido ao vento, conforme definidas nos itens 8.1.1 e 8.2.1, dadas conforme segue:

##### **8.3.1.1 Reação total na ancoragem zero**

$$P_{0t} = P_{0c} + P_{0v}$$

$$P_{0t} = 10537 + 495 \quad \Rightarrow \quad P_{0t} = 11032 \text{ N}$$

##### **8.3.1.2 Reação total na ancoragem 1**

$$P_{1t} = P_{1c} + P_{1v}$$

$$P_{1t} = -6442 + 560 \quad \Rightarrow \quad P_{1t} = -5882 \text{ N}$$

##### **8.3.1.3 Reação total na ancoragem 2**

$$P_{2t} = P_{2c} + P_{2v}$$

$$P_{2t} = 1067 + 764 \quad \Rightarrow \quad P_{2t} = 1831 \text{ N}$$

##### **8.3.1.4 Reação total na ancoragem 3**

$$P_{3t} = P_{3c} + P_{3v}$$

$$P_{3t} = -860 + 679 \quad \Rightarrow \quad P_{3t} = -181 \text{ N}$$

#### **8.3.2 Ancoragens 1 a 5**

As reações totais nas ancoragens 1 a 5 são dadas pela soma das reações devido à carga móvel e devido ao vento, conforme definidas nos itens 8.1.2 e 8.2.2, dadas conforme segue:

##### **8.3.2.1 Reação total na ancoragem 1**

$$P_{1t} = P_{1c} + P_{1v}$$

$$P_{1t} = 11520 + 439 \quad \Rightarrow \quad P_{1t} = 11959 \text{ N}$$

##### **8.3.2.2 Reação total na ancoragem 2**

$$P_{2t} = P_{2c} + P_{2v}$$

$$P_{2t} = 20254 + 631 \quad \Rightarrow \quad P_{2t} = 20885 \text{ N}$$

##### **8.3.2.3 Reação total na ancoragem 3**

$$P_{3t} = P_{3c} + P_{3v}$$

$$P_{3t} = 3612 + 745 \quad \Rightarrow \quad P_{3t} = 4357 \text{ N}$$

##### **8.3.2.4 Reação total na ancoragem 4**

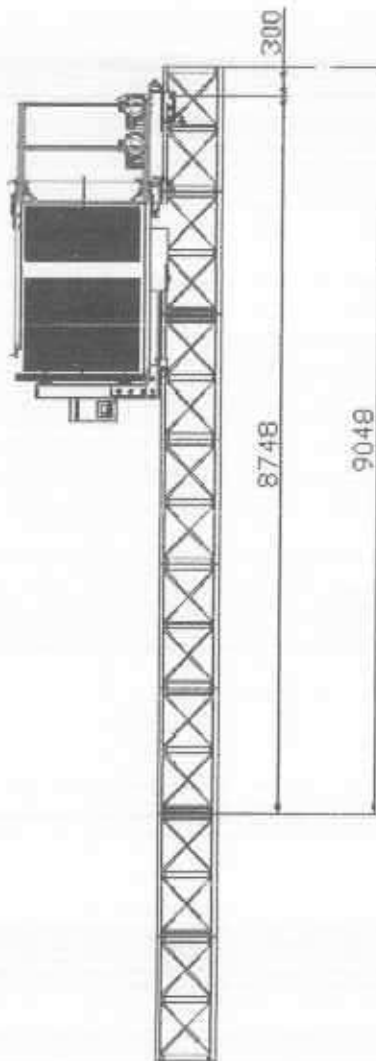
$$P_{4t} = P_{4c} + P_{4v}$$

$$P_{4t} = -963 + 745 \quad \Rightarrow \quad P_{4t} = -218 \text{ N}$$



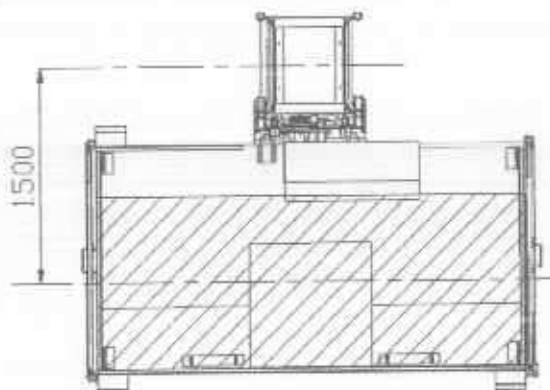
**9. VERIFICAÇÃO DO TRECHO EM BALANÇO DA TORRE**

Durante o processo de montagem da torre, a cabina ocupa uma posição acima da ultima ancoragem, determinando que a torre seja submetida a um momento fletor no trecho em balanço.. A máxima altura de torre em balanço é definida como igual a 8,748 m e os roletes superiores devem se situar no mínimo 300 mm abaixo do topo da torre, definido conforme segue.



### 9.1 Momento fletor devido ao peso próprio da cabina

O peso próprio da cabina é igual a 8500 N. Aplicando-se o coeficiente 1,223 resulta um valor a ser considerado igual a 10395 N, o qual se distribui numa largura igual a 1200 mm a partir da face externa da cabina. Esta disposição determina uma distancia do centro da área da carga até o centro da torre igual a 1,50 m conforme esquema abaixo:

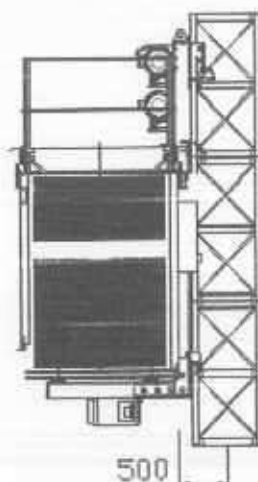


O momento fletor na torre devido ao peso próprio da cabina é dado por:

$$M_{ppc} = 10395 \cdot 150 \quad \Rightarrow \quad M_{ppc} = 1559250 \text{ Ncm}$$

### 9.2 Momento fletor devido ao peso próprio da arcada

O peso próprio da arcada é igual a 8200 N. Aplicando-se o coeficiente 1,223, o peso a ser considerado é igual a 10028 N, o qual atua numa distancia igual a 500 mm a partir do centro da torre.



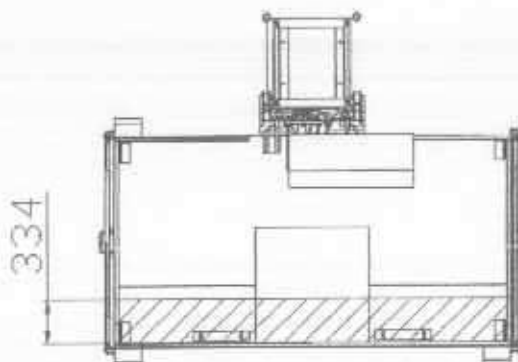
O momento fletor na torre devido ao peso próprio da arcada é dado por:

$$M_{ppa} = 10028 \cdot 50 \quad \Rightarrow \quad M_{ppa} = 501400 \text{ Ncm}$$

### 9.3 Momento fletor devido à carga na cabina

#### 9.3.1 Carga na cabina durante a montagem da torre

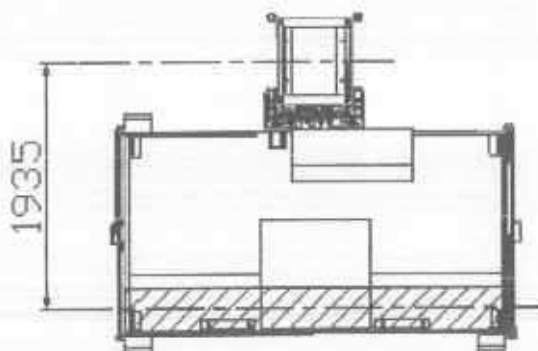
De acordo com o item 5.2.2.9 da norma, se o teto da cabina for utilizado para operações de montagem, deve ser projetado para uma carga mínima igual a 3,0 kN posicionada na área menos favorável de 1,0 m<sup>2</sup>. Aplicando-se o coeficiente 1,223, a carga a ser considerada é igual a 3670 N. Do ponto de vista do momento fletor na torre, a área menos favorável, que se soma aos momentos definidos pelos demais elementos, é dada conforme esquema abaixo:



A cabina também é utilizada para transporte dos módulos de torre a serem montados, num total de quatro elementos. Cada módulo de torre pesa 1067 N, sendo considerado dois módulos na condição analisada. Os dois elementos são considerados como posicionados na mesma condição estabelecida para a carga no teto da cabina, com peso total igual a 2610 N, já aplicado o coeficiente 1,223.

#### 9.2.2 Momento na torre devido à carga na cabina

O posicionamento da carga de acordo com o item 9.3.1 determina uma distancia igual a 1,935 m a partir do centro da torre, conforme esquema abaixo.

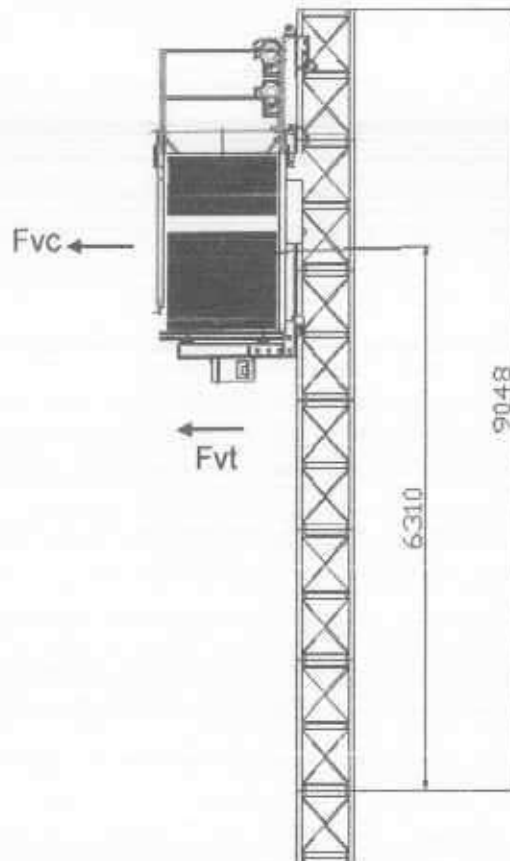


O momento fletor na torre devido à carga na cabina é dado por:

$$M_{cca} = (3656 + 2610) \cdot 193,5 \quad \Rightarrow \quad M_{cca} = 1212471 \text{ Ncm}$$

#### 9.4 Momento na torre devido ao vento

De acordo com o item 5.2.2.12.2.3 da norma, a pressão do vento a ser considerada durante a montagem ou desmontagem deve ser igual a  $550 \text{ N / m}^2$ . A pior condição para o momento na torre é dada para o vento soprando na direção da torre para a cabina conforme esquema abaixo:



##### 9.4.1 Momento na torre devido à ação do vento na cabina

A cabina possui uma área sujeita à ação do vento igual a  $6,79 \text{ m}^2$ , a pressão do vento a ser considerada é igual a  $550 \text{ N / m}^2$  e o coeficiente dinâmico igual a 1,2, de modo que a força é dada conforme segue:

$$F_{vc} = 6,79 \cdot 550 \cdot 1,2 \Rightarrow F_{vc} = 4481 \text{ N}$$

A distancia de atuação da força  $F_{vc}$  em relação à ultima ancoragem é igual a 6,31 m, de modo que o momento na torre devido à cabina é dado por:

$$M_{vc} = 4481 \cdot 6,31 \Rightarrow M_{vc} = 2827511 \text{ Ncm}$$

#### 9.4.2 Momento na torre devido à ação do vento na torre

A área da torre exposta ao vento é igual a  $1,10 \text{ m}^2$  para cada vão com altura igual a  $6,00 \text{ m}$ . A pressão do vento em operação normal é igual a  $550 \text{ N / m}^2$  e o coeficiente dinâmico igual a  $1,2$ , de modo que a força do vento na altura  $9,048 \text{ m}$  é dada conforme segue:

$$F_{vt} = (1,10 \cdot 550 \cdot 1,2) \cdot (9,048 / 6) \Rightarrow F_{vt} = 1094 \text{ N}$$

A distancia de atuação da força  $F_{vt}$  em relação à ultima ancoragem é igual a  $4,524 \text{ m}$ , de modo que o momento na torre devido à cabina é dado por:

$$M_{vt} = 1094 \cdot 452,4 \Rightarrow M_{vt} = 494925 \text{ Ncm}$$

#### 9.5 Momento total no trecho em balanço da torre

O momento total no trecho em balanço da torre é dado pela soma dos momentos definidos nos itens 9.1 a 9.4, ou seja:

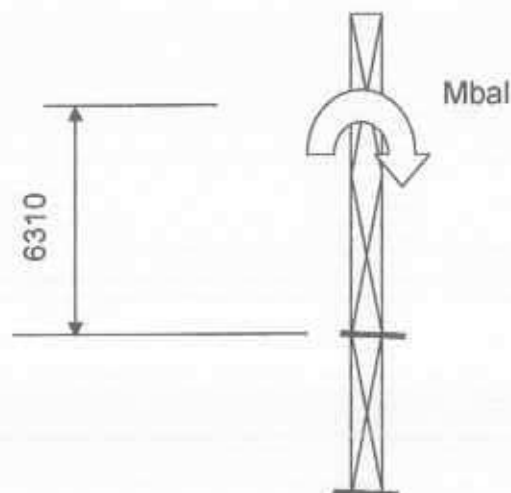
$$M_{bal} = M_{ppc} + M_{ppa} + M_{cca} + M_{vc} + M_{vt}$$

$$M_{bal} = 1559250 + 501400 + 1212471 + 2827511 + 494925$$

$$M_{bal} = 6595557 \text{ Ncm}$$

#### 9.6 Deformação elástica do trecho em balanço da torre

O momento fletor é aplicado numa altura equivalente a  $6,31 \text{ m}$  acima da ultima ancoragem, conforme esquema abaixo:



#### 9.6.1 Deformação linear da torre na altura $5,87 \text{ m}$

A deformação linear na altura considerada é dada por:

$$f = M \cdot H^2 / 2 \cdot E \cdot J$$

$$f = 6595557 \cdot 631^2 / 2 \cdot 21000000 \cdot 34706 \Rightarrow f = 18,01 \text{ cm}$$



### 9.6.2 Deformação angular da torre na altura 6,31 m

A deformação angular na altura considerada é dada por:

$$\alpha = M \cdot H / 2 \cdot E \cdot J$$

$$\alpha = 6595557 \cdot 631 / 2 \cdot 21000000 \cdot 34706 \Rightarrow \alpha = 0,02855 \text{ rad } (1,63^\circ)$$

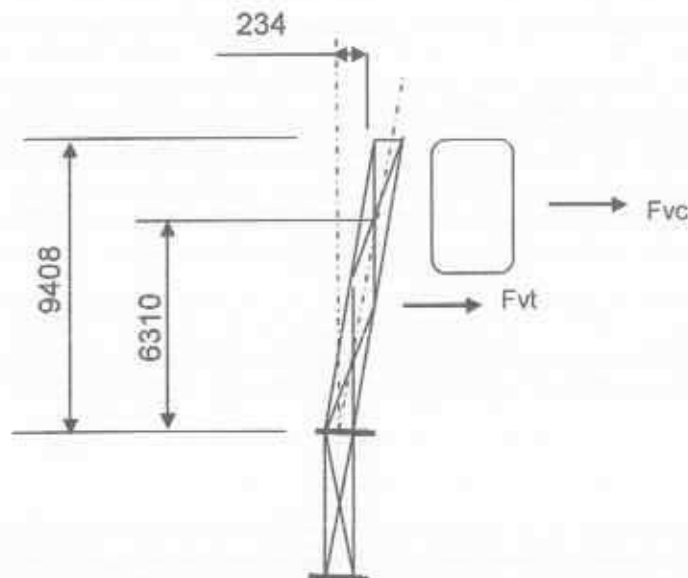
### 9.7 Deformação elástica total do trecho em balanço da torre

De acordo com o item 5.2.2.13 da norma, o cálculo deve levar em conta erros de montagem de pelo menos  $0,5^\circ$ . Somando-se este valor ao valor definido no item 9.5.2, o ângulo total a ser considerado é igual a  $2,13^\circ$ , o que leva a uma deformação total dada por:

$$f_{tot} = L \cdot \text{tg } \alpha$$

$$f_{tot} = 631 \cdot \text{tg } 2,13^\circ \Rightarrow f_{tot} = 23,46 \text{ cm}$$

### 9.8 Recálculo dos momentos no trecho em balanço em função da flecha



As distancias verticais praticamente não são afetadas pela inclinação da torre, porém modificam as distancias horizontais de modo a modificar os valores dos momentos fletores, definidos conforme segue:

#### 9.8.1 Momento fletor revisado devido ao peso próprio da cabina

De acordo com o item 9.1 o peso próprio da cabina atua numa distancia igual a 1,50 m a partir do centro da torre. Considerando que a altura media da cabina se situa 6310 mm acima da ancoragem, a distancia se altera conforme segue:

$$d = 1,50 + 6,31 \cdot \text{tg } 2,13^\circ$$

$$d = 1,50 + 6,31 \cdot 0,0371 \Rightarrow d = 1,73 \text{ m}$$

*(assinatura)*

O momento fletor revisado na torre devido ao peso próprio da cabina é dado por:

$$M_{ppcr} = 10395 \cdot 173 \Rightarrow M_{ppcr} = 1798335 \text{ Ncm}$$

**9.8.2 Momento fletor revisado devido ao peso próprio da arcada**

De acordo com o item 9.2 o peso próprio da cabina atua numa distancia igual a 0,50 m a partir do centro da torre. Considerando que a altura media da arcada se situa 6310 mm acima da ancoragem, a distancia se altera conforme segue:

$$d = 0,50 + 6,31 \cdot \text{tg } 2,13^\circ$$

$$d = 0,50 + 6,31 \cdot 0,0371 \Rightarrow d = 0,73 \text{ m}$$

O momento fletor revisado na torre devido ao peso próprio da cabina é dado por:

$$M_{ppcr} = 10028 \cdot 73 \Rightarrow M_{ppar} = 732044 \text{ Ncm}$$

**9.8.3 Momento fletor revisado no torre devido à carga na cabina**

De acordo com o item 9.3 o peso da carga na cabina atua numa distancia igual a 1,935 m a partir do centro da torre. Considerando que a altura do teto da cabina se situa 7400 mm acima da ancoragem, a distancia se altera conforme segue:

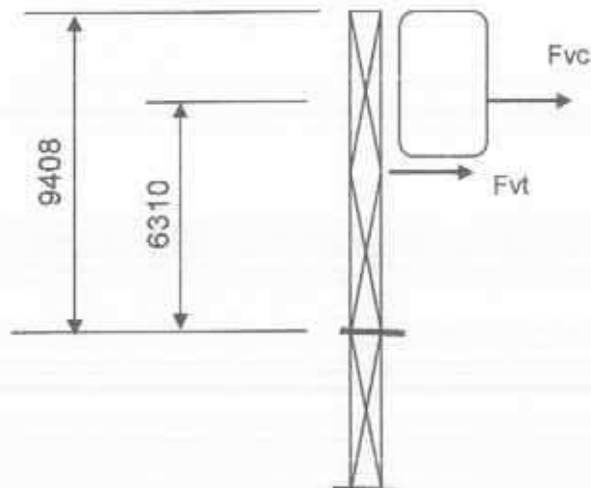
$$d = 1,935 + 7,4 \cdot \text{tg } 2,13^\circ$$

$$d = 1,935 + 7,4 \cdot 0,0371 \Rightarrow d = 2,21 \text{ m}$$

O momento fletor revisado na torre devido à carga na cabina é dado por:

$$M_{ccar} = (3656 + 2610) \cdot 221 \Rightarrow M_{ccar} = 1384786 \text{ Ncm}$$

**9.8.4 Momento revisado na torre devido ao vento**



*(Assinatura manuscrita)*

**9.8.4.1 Momento revisado na torre devido à ação do vento na cabina**

A altura da cabina não se altera de modo significativo, de modo que o momento se mantém constante, ou seja:

$$M_{vcr} = 4481 \cdot 631 \Rightarrow M_{vcr} = 2827511 \text{ Ncm}$$

**9.8.4.2 Momento revisado na torre devido à ação do vento na torre**

A altura da torre não se altera de modo significativo, de modo que o momento se mantém constante, ou seja:

$$M_{vtr} = 1094 \cdot 452,4 \Rightarrow M_{vtr} = 494925 \text{ Ncm}$$

**9.8.5 Momento na torre devido à inclinação do trecho em balanço da torre**

A consideração inicial dos momentos não prevê momento devido ao trecho em balanço da torre, uma vez que atua na vertical. Em função da flecha, e para uma altura média igual a 4704 mm, o centro do trecho em balanço se desloca de um valor dado por:

$$d = 0 + 4,704 \cdot \text{tg } 2,13^\circ$$

$$d = 0 + 4,704 \cdot 0,0371 \Rightarrow d = 0,174 \text{ m}$$

O peso do trecho em balanço da torre é igual a 15660 N, de modo que o valor do momento é dado por:

$$M_{ttr} = 15660 \cdot 0,174 \Rightarrow M_{ttr} = 2724 \text{ Ncm}$$

**9.8.6 Momento total revisado no trecho em balanço da torre**

O momento total revisado no trecho em balanço da torre é dado pela soma dos momentos definidos nos itens 9.8.1 a 9.8.5, ou seja:

$$M_{balr} = M_{ppcr} + M_{ppar} + M_{ccar} + M_{vcr} + M_{vtr} + M_{ttr}$$

$$M_{balr} = 1798335 + 732044 + 1384786 + 2827511 + 494925 + 2724$$

$$M_{balr} = 7240325 \text{ Ncm}$$

**9.9 Tensão de flexão no trecho em balanço da torre**

A tensão de flexão é dada por  $\sigma_f = (M_{balr} \cdot y_{max}) / J$ , onde:

$$M_{balr} = 7240325 \text{ Ncm (conforme 9.8.6)}$$

$$y_{max} = 74 / 2 = 37 \text{ cm (conforme 7..2)}$$

$$J = 34706 \text{ cm}^4 \text{ (conforme 7..2)}$$

Temos então:

$$\sigma_f = 7240325 \cdot 37 / 34706$$

$$\sigma_f = 7719 \text{ N / cm}^2$$



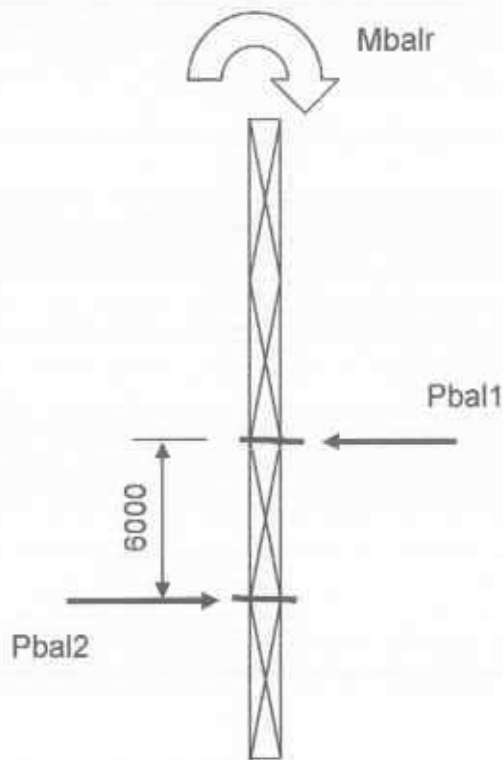
**9.9.1 Coeficiente de segurança no trecho em balanço da torre**

A torre é executada em tubos de aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão no trecho em balanço da torre é igual a 7719 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 7719 \Rightarrow S_y = 2,72$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,33.

**9.10 Reação na ancoragem do trecho em balanço da torre**



Somatório dos momentos em relação a Pbal1:

$$P_{bal2} \cdot 600 = M_{balr}$$

$$P_{bal2} \cdot 600 = 7240325 \Rightarrow P_{bal2} = 12067 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo X:

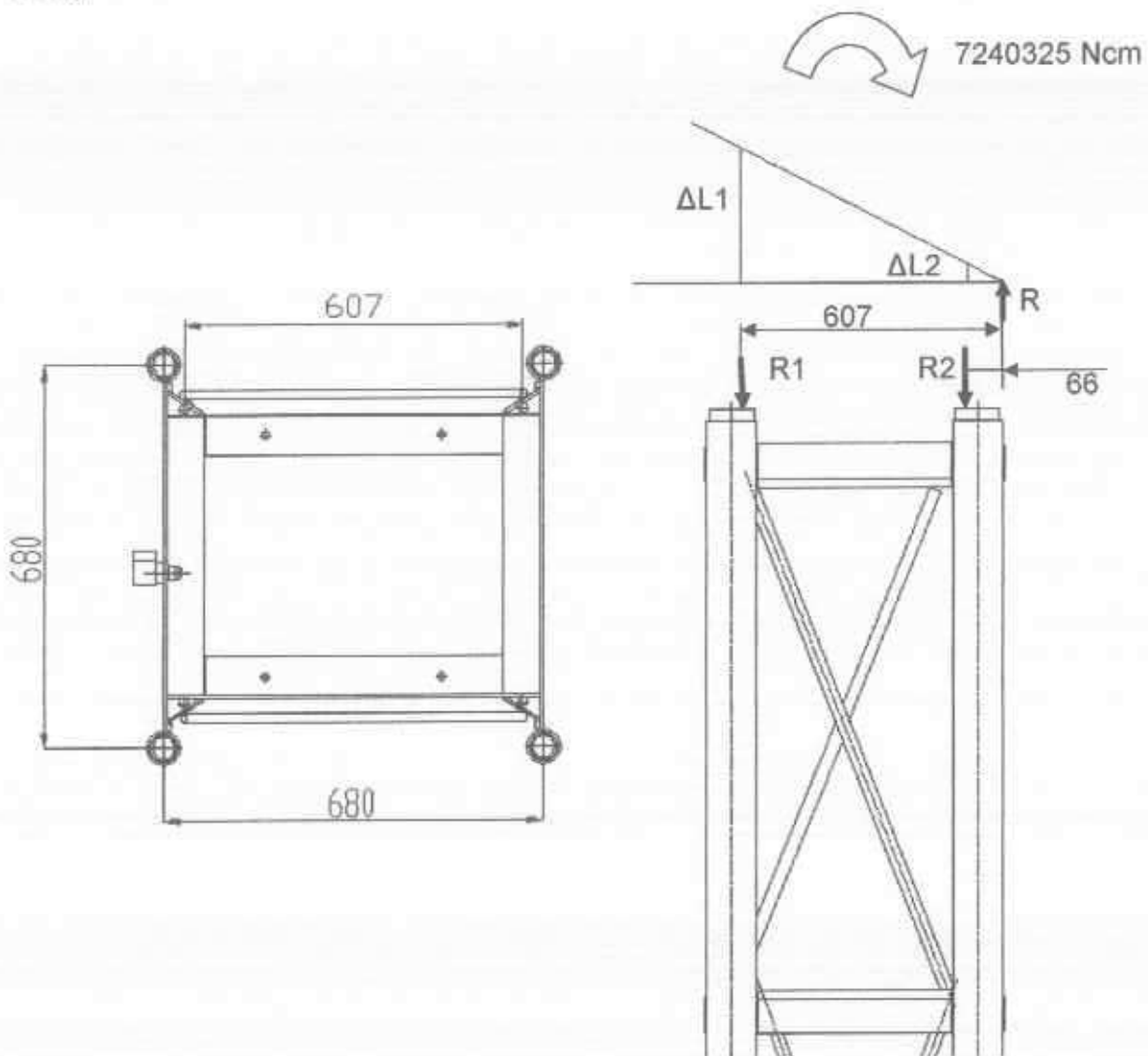
$$P_{bal1} - P_{bal2} = 0$$

$$P_{bal1} - 12067 = 0 \Rightarrow P_{bal1} = 12067 \text{ N}$$

### 9.10 Verificação dos parafusos de união dos módulos de torre

#### 9.10.1 Reações nos parafusos

Os momentos fletores na torre tracionam os parafusos de união dos módulos. São utilizados quatro parafusos M 16 distanciados 607 mm no plano de atuação do momento fletor na torre. O maior valor do momento fletor na torre é dado quando a mesma se encontra em processo de montagem, com valor igual a 7240325 Ncm (item 9.8.6).



O problema é estaticamente indeterminado em função da reação R, devendo-se considerar as deformação nos parafusos conforme segue.

A relação entre as deformações é dada por:

$$\Delta L1 / 60,7 = \Delta L2 / 6,6$$

Da igualdade acima temos as relação:

$$\Delta L1 / 60,7 = \Delta L2 / 6,6 \quad \Rightarrow \quad \Delta L2 = 0,108 \cdot \Delta L1$$

Como os parafusos são iguais, a relação entre as deformações totais e as deformações específicas é a mesma, resultando:

$$\varepsilon2 = 0,108 \cdot \varepsilon1$$

$$R1 = E \cdot A \cdot \varepsilon1$$

$$R2 = E \cdot A \cdot \varepsilon2$$

$$\Rightarrow \quad R2 = E \cdot A \cdot 0,108 \cdot \varepsilon1$$

Igualando as equações temos:

$$R1 / \varepsilon1 = R2 / 0,108 \cdot \varepsilon1$$

$$R2 = 0,108 \cdot R1 \quad \text{(equação 1)}$$

Fazendo o somatório dos momentos em relação ao ponto de giro temos:

$$M - R1 \cdot 60,7 - R2 \cdot 6,6 = 0$$

$$7240325 - R1 \cdot 60,7 - 0,108 \cdot R1 \cdot 6,6 = 0$$

$$7240325 - R1 \cdot 60,7 - R1 \cdot 0,712 = 0$$

$$7240325 - 61,41 \cdot R1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R1 = 117902 \text{ N}$$

Substituindo na equação 1 resulta:

$$R2 = 0,108 \cdot 117902 \quad \Rightarrow \quad R2 = 12734 \text{ N}$$

### 9.10.2 Coeficiente de segurança majorado nos parafusos

São utilizados parafusos diâmetro 16 mm, correspondentes à classe 8.8, com resistência igual a 100000 N para segurança igual a 1. Cada reação é sustentada por dois parafusos em paralelo, de modo que o coeficiente de segurança é dado por:

$$n = N_{t,Rd} \cdot 2 / R1$$

$$n = 100000 \cdot 2 / 117902 \quad \Rightarrow \quad n = 1,69$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,33.

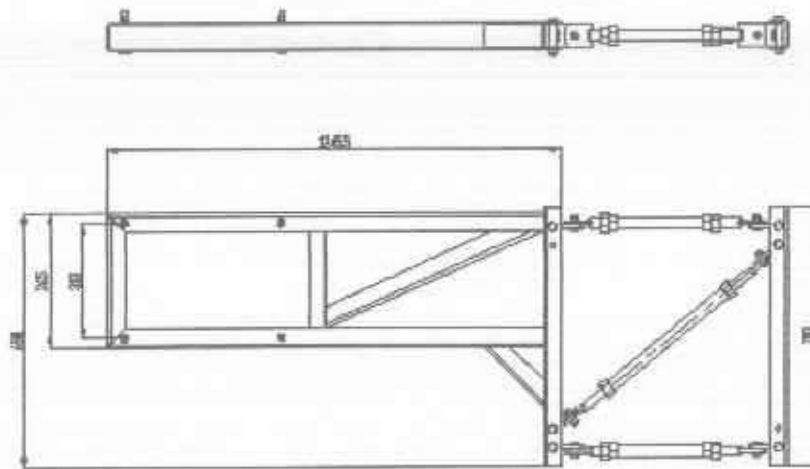


## 10 VERIFICAÇÃO DA ANCORAGEM

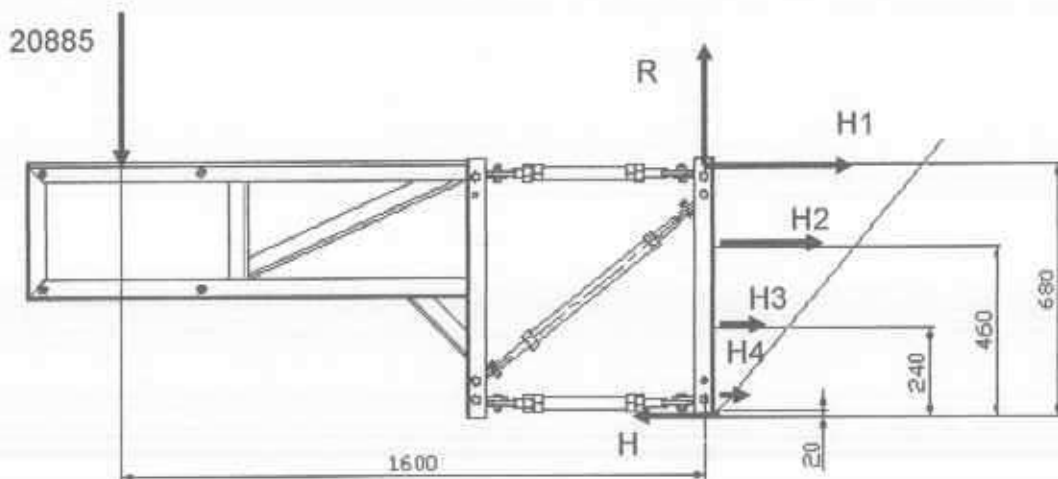
De acordo com os dados do item 8.3 e do item 9.12, verifica-se que o maior valor de reação nas ancoragens é igual a 20885 N (ancoragem 2 – item 8.3.2.2).

### 10.1 Esquema dimensional

O esquema abaixo representa a ancoragem na maior dimensão possível de ser obtida quando regulada longitudinalmente.



### 10.2 Forças e reações na ancoragem



**10.2.1 Determinação da reação R**

Somatório das forças segundo o eixo Y:

$$R - 20885 = 0 \quad \Rightarrow \quad R = 20885 \text{ N}$$

**10.2.2 Determinação das reações H**

O problema é estaticamente indeterminado em função da reação H, devendo-se considerar as deformação nos parafusos conforme segue.

A relação entre as deformações é dada por:

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_2 / 46$$

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_3 / 24$$

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_4 / 2$$

Da igualdade acima temos as relações:

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_2 / 46 \quad \Rightarrow \quad \Delta L_2 = 0,676 \Delta L_1$$

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_3 / 24 \quad \Rightarrow \quad \Delta L_3 = 0,352 \Delta L_1$$

$$\Delta L_1 / 68 = \Delta L_4 / 2 \quad \Rightarrow \quad \Delta L_4 = 0,029 \Delta L_1$$

Como os chumbadores são iguais, a relação entre as deformações totais e as deformações específicas é a mesma, resultando:

$$\varepsilon_2 = 0,790 \cdot \varepsilon_1$$

$$H_1 = E \cdot A \cdot \varepsilon_1$$

$$H_2 = E \cdot A \cdot \varepsilon_2 \quad \Rightarrow \quad H_2 = E \cdot A \cdot 0,676 \cdot \varepsilon_1$$

Igualando as equações temos:

$$H_1 / \varepsilon_1 = H_2 / 0,676 \cdot \varepsilon_1$$

$$H_2 = 0,696 \cdot H_1 \quad \text{(equação 1)}$$

Por analogia temos:

$$H_3 = 0,352 \cdot H_1 \quad \text{(equação 2)}$$

$$H_4 = 0,029 \cdot H_1 \quad \text{(equação 3)}$$

Fazendo o somatório dos momentos em relação ao ponto de giro temos:

$$M - H_1 \cdot 68 - H_2 \cdot 46 - H_3 \cdot 24 - H_4 \cdot 2 = 0$$

$$(20885 \cdot 160) - H_1 \cdot 68 - 0,696 H_1 \cdot 46 - 0,352 \cdot H_1 \cdot 24 - 0,029 \cdot H_1 \cdot 2 = 0$$

$$3341600 - H_1 \cdot 68 - H_1 \cdot 32,016 - H_1 \cdot 8,448 - H_1 \cdot 0,058 = 0$$

$$3341600 - 108,522 \cdot H_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad H_1 = 30791 \text{ N}$$

Substituindo nas equações 1 a 3 resulta:

$$\begin{aligned} H2 &= 0,676 \cdot H1 & \Rightarrow & H2 = 20814 \text{ N} \\ H3 &= 0,352 \cdot H1 & \Rightarrow & H3 = 10838 \text{ N} \\ H4 &= 0,029 \cdot H1 & \Rightarrow & H4 = 892 \text{ N} \end{aligned}$$

### **10.3 Verificação dos chumbadores**

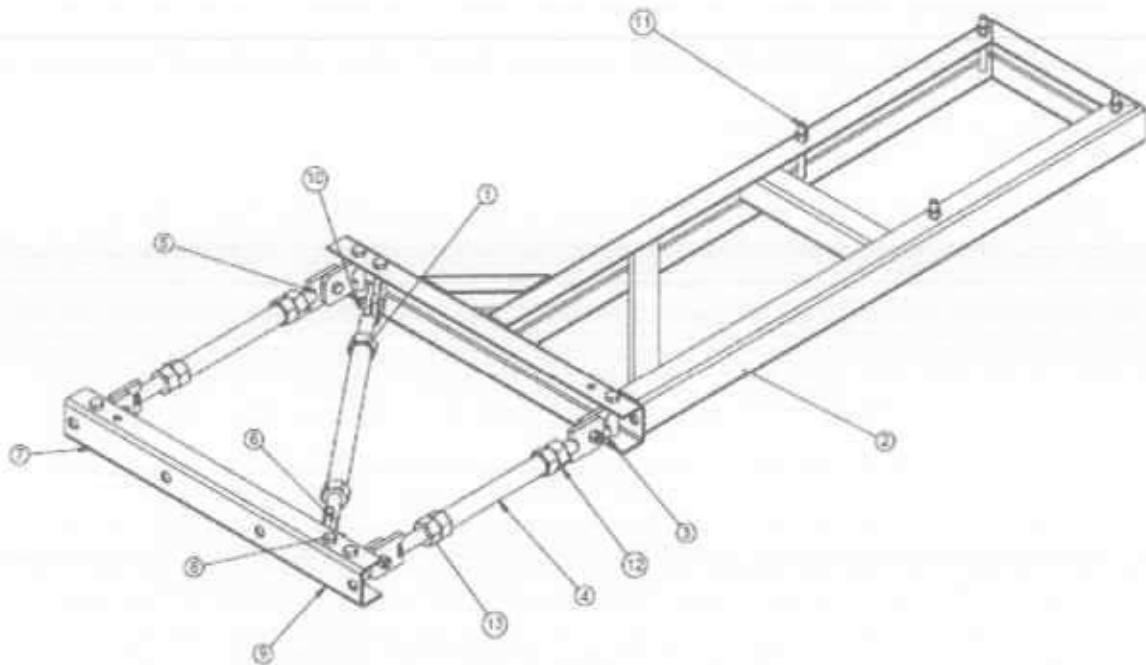
A tração máxima em um chumbador é dada por H1 com valor igual a 30791 N. São utilizados chumbadores com diâmetro 5 / 8", comprimento 4 1 / 2" o qual apresenta carga mínima de arrancamento no concreto Vc 32,4 igual a 59026 N, de modo que o coeficiente de segurança é dado por:

$$n = 59026 / 30791 \quad \Rightarrow \quad n = 1,91$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25.

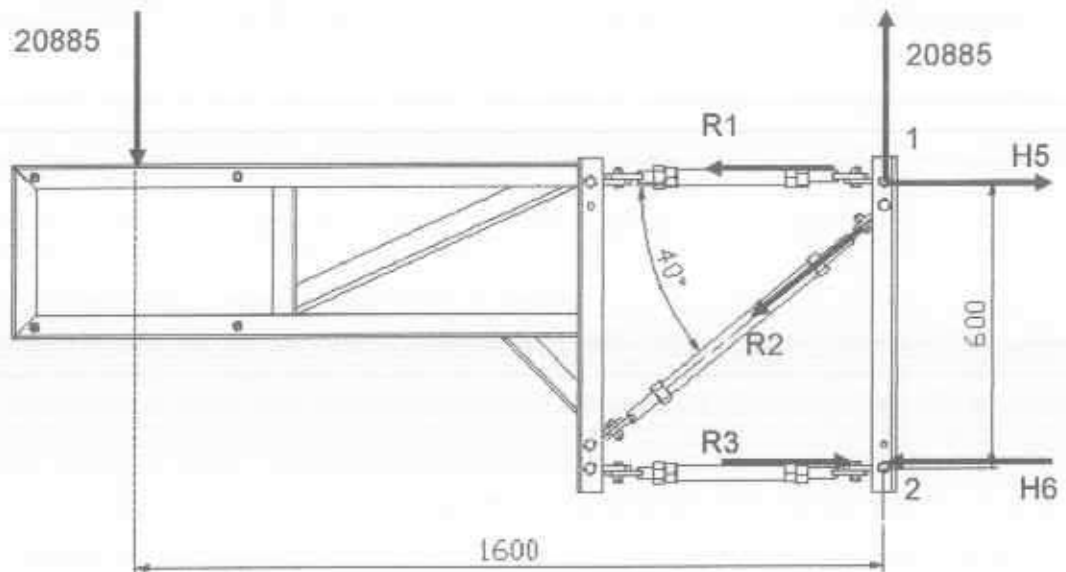


10.4 Verificação da estrutura da ancoragem



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	Description	QTD.
1	7016000000008	REGULAGEM DIAGONAL EST ANCORAGEM ECT 15.30 - 15	1
2	7016000000031	MODULO FIXO ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
3	7016000000032	ORELHA ESTICADOR ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	6
4	7016000000033	REGULAGEM ESTICADOR ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	2
5	7016000000034	CONJ FUSO ESQ ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	3
6	7016000000035	CONJ FUSO DIR ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	3
7	6016000000084	PERFIL SUP ESTICADORES ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
8	1010001010076	PARAFUSO SEXTAVADO M12 X 90 Z.B	6
9	1010002040006	PORCA SEXTAVADA AUTOTRAVANTE M12	17
10	1010001010065	PARAFUSO SEXTAVADO M12 X 35 Z.B	6
11	1010001010131	PARAFUSO SEXTAVADO M12 X 100 Z.B	4
12	1010002010013	PORCA SEXT. M24	2
13	1010002010019	PORCA SEXT. M24 - ESQUERDA	2

## 10.4.1 Verificação da articulação

Solicitações na estrutura

As articulações estão sujeitas às reações conforme segue:

Somatório das forças segundo o eixo X:

$$H5 - H6 = 0 \quad \Rightarrow \quad H5 = H6 \quad (\text{equação 1})$$

Somatório dos momentos em relação a H6:

$$P \cdot 160 - H5 \cdot 60 = 0$$

$$20885 \cdot 160 - H5 \cdot 60 = 0 \quad \Rightarrow \quad H5 = 55693 \text{ N}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$H6 = 55693 \text{ N}$$

Solicitações na articulação

(Nó 1) Somatório das forças segundo o eixo Y:

$$R2 \cos 50 = 20885 \quad \Rightarrow \quad R2 = 32491 \text{ N}$$

Somatório das forças segundo o eixo X:

$$R1 + R2 \cos 40 = H5$$

$$R1 + 32491 \cos 40 = 55693$$

$$R1 + 24889 = 55693 \quad \Rightarrow \quad R1 = 30804 \text{ N}$$

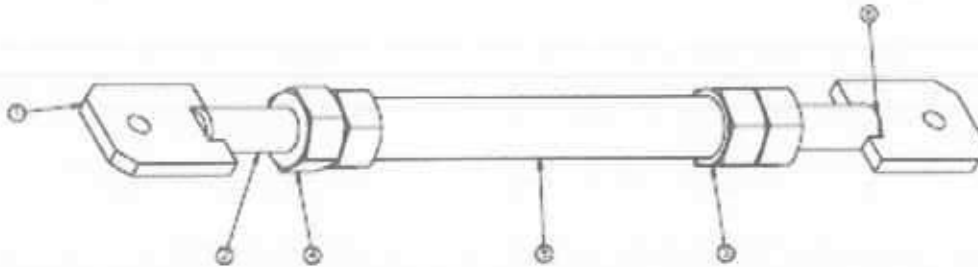
(Nó 2) Somatório das forças segundo o eixo X:

$$R3 - H6 = 0$$

$$R3 - 55693 = 0 \quad \Rightarrow \quad R3 = 55693 \text{ N}$$



### 10.4.2 Tensões na articulação



6	6016000000092	FUSO M24 DIR EST ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
5	1005005000052	TUBO 175 ESTICADOR ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
4	1010002010013	PORCA SEXT. M24	2
3	1010002010019	PORCA SEXT. M24 - ESQUERDA	2
2	6016000000091	FUSO M24 ESQ EST ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
1	6016000000089	ORELHA ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	2
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	Description	QTD.

A maior solicitação em uma articulação é dada por R3, com valor igual a 55693 N

#### 10.4.2.1 Verificação do tubo (pos. 5)

O tubo possui diâmetro externo igual a 33,40 mm, espessura da parede 4,55 mm e com área da seção transversal igual a 4,12 cm<sup>2</sup>. A tensão de tração (ou compressão) no tubo é dada por:

$$\sigma = R3 / A$$

$$\sigma = 55693 / 4,12 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 13517 \text{ N / cm}^2$$

##### 10.4.2.1.1 Coeficiente de segurança no tubo

O tubo é executado em aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 13517 \quad \Rightarrow \quad S_y = 1,55$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25

**10.4.2.2 Verificação da barra roscada (pos 2 e 6)**

É utilizada barra roscada M 24, com área da seção transversal igual a 3,53 cm<sup>2</sup>. A tensão de tração (ou compressão) na barra é dada por:

$$\sigma = R3 / A$$

$$\sigma = 55693 / 3,53 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 15777 \text{ N / cm}^2$$

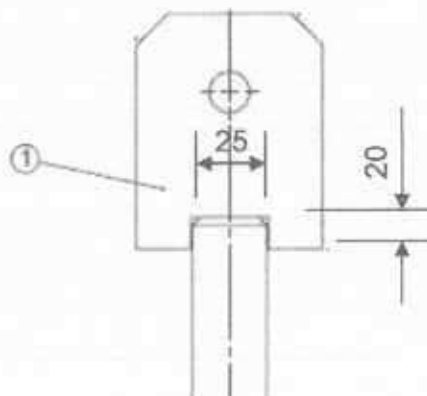
**10.4.2.2.1 Coeficiente de segurança na barra roscada**

A barra roscada é executada em aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 15777 \quad \Rightarrow \quad S_y = 1,33$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25

**10.4.2.3 Verificação da solda da barra roscada**



É utilizada solda de filete, para a qual, de acordo com AWS D 1.1 e AISC / 05, as tensões máximas admissíveis são dadas como segue:

- Para tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, a tensão admissível é igual à tensão admissível para o metal base. Esta condição se verifica para os cordões de solda verticais, de modo que a tensão admissível é dada pela tensão de escoamento do metal base dividido por 1,5, ou seja:

$$\sigma_{adm} = \sigma_e / 1,5$$

$$\sigma_{adm} = 21000 / 1,5 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{adm} = 14000 \text{ N/ cm}^2$$

- Para cisalhamento na seção efetiva a tensão admissível é igual a 0,3 . fw, onde fw é igual à resistência à tração do metal da solda, não podendo exceder 0,4 . fy, onde fy

é a tensão de escoamento do metal base. Esta situação se verifica para o cordão de solda horizontal, com valor dado por:

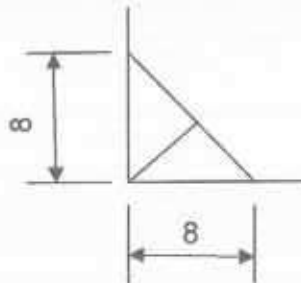
$$\begin{aligned} \sigma_{adm} &= 0,3 \cdot f_w \\ \sigma_{adm} &= 0,3 \cdot 41500 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{adm} = 12450 \text{ N / cm}^2 \end{aligned}$$

O valor limite é dado por  $0,4 \cdot f_y$ , ou seja:

$$0,4 \cdot 21000 = 8400 \text{ N / cm}^2 \text{ valor este a ser adotado para a condição acima.}$$

#### 10.4.2.3.1 Filete de solda utilizado

Para espessuras de chapa igual a 9,53 mm, o comprimento mínimo da perna do filete é igual a 6,00 mm, e o comprimento máximo igual a  $(9,53 - 1,5)$  8,03 mm. Adotando-se o comprimento máximo temos a condição conforme esquema abaixo:



O comprimento do cordão a ser efetivamente considerado é dado por:

$$h_s = (8^2 + 8^2)^{0,5} / 2 \quad \Rightarrow \quad h_s = 5,65 \text{ mm}$$

#### 10.4.2.3.2 Área resistente da solda

Os cordões verticais possuem comprimento total igual a 8 cm. A área da solda é dada por:

$$\begin{aligned} A_w &= h_s \cdot L_w \\ A_w &= 0,565 \cdot 8 \quad \Rightarrow \quad A_w = 4,52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

O cordão horizontal possui comprimento igual a 5 cm. A área da solda é dada por:

$$\begin{aligned} A_w &= h_s \cdot L_w \\ A_w &= 0,565 \cdot 5 \quad \Rightarrow \quad A_w = 2,82 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

#### 10.4.2.3.3 Força resistente da solda

A força resistente da solda é dada por:

$$F_w = A_w \cdot \sigma_{adm}$$

Para os cordões verticais temos:

$$F_{wv} = 4,52 \cdot 14000 \quad \Rightarrow \quad F_{wv} = 63280 \text{ N}$$

Para os cordões horizontais temos:

$$F_{wh} = 2,82 \cdot 8400 \quad \Rightarrow \quad F_{wh} = 23688 \text{ N}$$

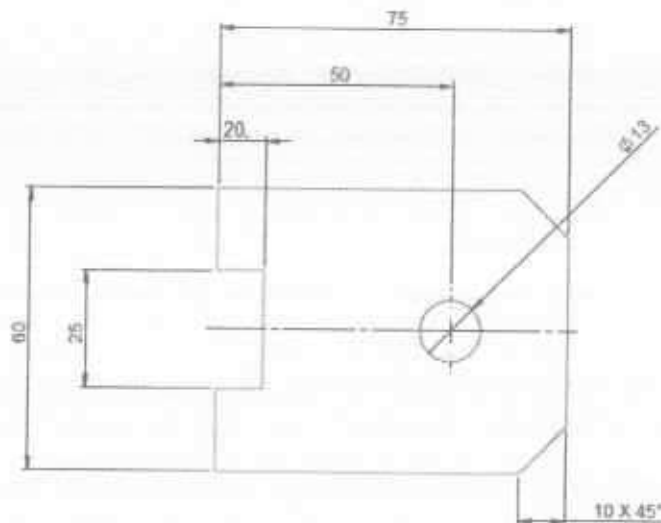


**10.4.2.3.4 Coeficiente de segurança na solda das chapas**

O coeficiente de segurança na solda em relação à máxima tensão admissível é dado por:

$$n = F_{wv} / R_3$$

$$n = (63280 + 23688) / 55693 \Rightarrow n = 1,56$$

**10.4.2.4 Verificação da chapa de fixação ("orelha" – pos 1)**

A chapa possui espessura 9,50 mm, e é solicitada à tração ou compressão com valor máximo igual a 55693 N. A menor área da seção transversal corresponde ao plano que passa pelo centro do furo diâmetro 13 mm, com valor dado por:

$$A = 0,95 (6 - 1,3) \Rightarrow A = 4,46 \text{ cm}^2$$

A tensão de cisalhamento máxima na chapa é dada por:

$$\tau = R_3 / A$$

$$\tau = 55693 / 4,45 \Rightarrow \tau = 12515 \text{ N / cm}^2$$

**10.4.2.4.1 Coeficiente de segurança na chapa pos. 1**

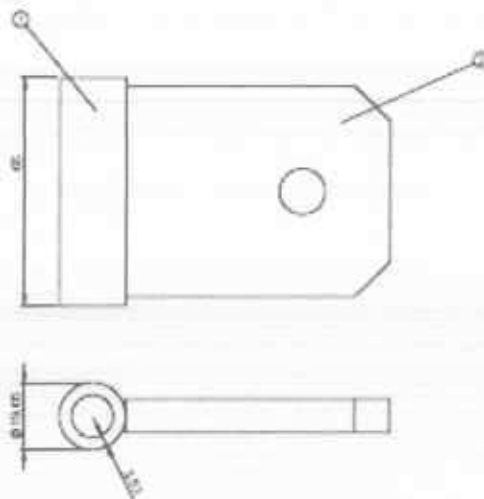
A chapa é executada em aço SAE 1020, com tensão de escoamento igual a 21000 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 21000 / 12515 \Rightarrow S_y = 1,67$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25



### 10.4.2.5 Verificação da chapa de fixação articulada



2	6016000000089	ORELHA ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
1	6016000000088	TUBO ORELHA ANCORAGEM ECT 15.30 - 1500	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QDT.

A chapa propriamente dita possui características idênticas à chapa analisada no item 10.4.2.4, para a qual já foi comprovada a segurança quanto ao cisalhamento.

#### 10.4.2.5.1 Verificação da solda da chapa ao tubo

É utilizada solda de filete, para a qual, de acordo com AWS D 1.1 e AISC / 05, as tensões máximas admissíveis são dadas como segue:

- Para tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, a tensão admissível é igual à tensão admissível para o metal base. Esta condição se verifica para os cordões de solda verticais, de modo que a tensão admissível é dada pela tensão de escoamento do metal base dividido por 1,5, ou seja:

$$\sigma_{adm} = \sigma_e / 1,5$$

$$\sigma_{adm} = 21000 / 1,5 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{adm} = 14000 \text{ N/cm}^2$$

- Para cisalhamento na seção efetiva a tensão admissível é igual a  $0,3 \cdot f_w$ , onde  $f_w$  é igual à resistência à tração do metal da solda, não podendo exceder  $0,4 \cdot f_y$ , onde  $f_y$  é a tensão de escoamento do metal base. Esta situação se verifica para o cordão de solda horizontal, com valor dado por:

$$\sigma_{adm} = 0,3 \cdot f_w$$

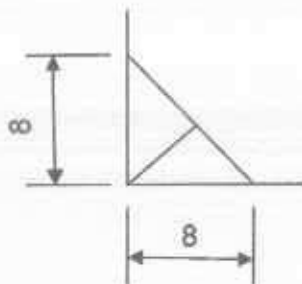
$$\sigma_{adm} = 0,3 \cdot 41500 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{adm} = 12450 \text{ N/cm}^2$$

O valor limite é dado por  $0,4 \cdot f_y$ , ou seja:

$$0,4 \cdot 21000 = 8400 \text{ N / cm}^2 \text{ valor este a ser adotado para a condição acima.}$$

#### 10.4.2.5.1 Filete de solda utilizado

Para espessuras de chapa igual a 9,53 mm, o comprimento mínimo da perna do filete é igual a 6,00 mm, e o comprimento máximo igual a  $(9,53 - 1,5) 8,03$  mm. Adotando-se o comprimento máximo temos a condição conforme esquema abaixo:



O comprimento do cordão a ser efetivamente considerado é dado por:

$$h_s = (8^2 + 8^2)^{0,5} / 2 \Rightarrow h_s = 5,65 \text{ mm}$$

#### 10.4.2.5.2 Área resistente da solda

Os cordões verticais possuem comprimento total igual a 12 cm. A área da solda é dada por:

$$A_w = h_s \cdot L_w$$

$$A_w = 0,565 \cdot 12 \Rightarrow A_w = 6,78 \text{ cm}^2$$

Os cordões horizontais possuem comprimento igual a 2 cm. A área da solda é dada por:

$$A_w = h_s \cdot L_w$$

$$A_w = 0,565 \cdot 2 \Rightarrow A_w = 1,13 \text{ cm}^2$$

#### 10.4.2.5.3 Força resistente da solda

A força resistente da solda é dada por:

$$F_w = A_w \cdot \sigma_{adm}$$

Para os cordões verticais temos:

$$F_{wv} = 6,78 \cdot 8400 \Rightarrow F_{wv} = 56952 \text{ N}$$

Para os cordões horizontais temos:

$$F_{wh} = 1,13 \cdot 8400 \Rightarrow F_{wh} = 9492 \text{ N}$$



**10.4.2.5.3.1 Coeficiente de segurança na solda**

O coeficiente de segurança na solda em relação à máxima tensão admissível é dado por:

$$n = F_{wv} / R_3$$

$$n = (56952 + 9492) / 55693 \Rightarrow n = 1,19$$

**10.4.2.6 Verificação dos parafusos de fixação das chapas articuladas**

Os parafusos de fixação das chapas articuladas atua como eixo, permitindo o giro das mesmas, sendo solicitados ao cisalhamento resistindo em duas seções transversais simultaneamente. Os parafusos correspondem à qualidade 8.8, com limite de escoamento igual a 64000 N / cm<sup>2</sup>, com área da seção transversal igual a 0,94 cm<sup>2</sup>, de modo que a tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = R_3 / 2 \cdot A$$

$$\tau = 55693 / 2 \cdot 0,94 \Rightarrow \tau = 29623 \text{ N / cm}^2$$

**10.4.2.6.1 Coeficiente de segurança majorado nos parafusos**

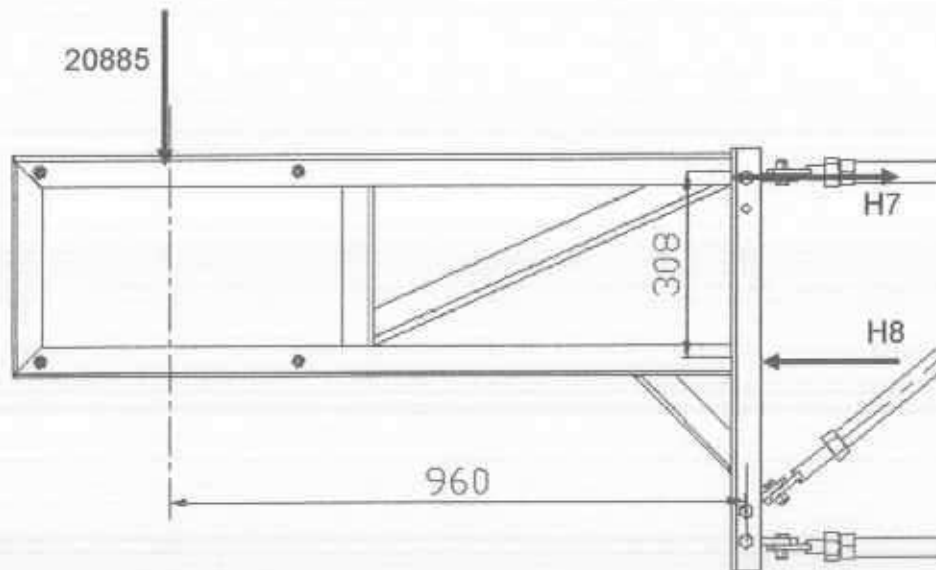
São utilizados parafusos diametro 12 mm, correspondentes à classe 8.8, com resistência à tração igual a 100000 N para segurança igual a 1. O coeficiente de segurança é dado por:

$$n = N_{t,Rd} / \tau$$

$$n = 100000 \cdot 0,75 / 29623 \Rightarrow n = 2,56$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,25

**10.4.2.7 Verificação do módulo fixo (pos. 2)**



#### 10.4.2.7.1 Determinação das reações H7 e H8

Somatório das reações segundo o eixo X:

$$H7 - H8 = 0 \quad \Rightarrow \quad H7 = H8 \quad \text{(equação 1)}$$

Somatório dos momentos em relação à H7:

$$\begin{aligned} 20885 \cdot 96 - H8 \cdot 30,8 &= 0 \\ 2004960 - H8 \cdot 30,8 &= 0 \quad \Rightarrow \quad H8 = 65096 \text{ N} \end{aligned}$$

Substituindo na equação 1 temos  $H7 = 65096 \text{ N}$

#### 10.4.2.7.2 Tensão de tração (compressão) nos perfis

Os perfis U sujeitos às reações H7 e H8 são executados em chapa dobrada espessura 3,75 mm com altura das abas igual a 50 mm e largura 75 mm, área da seção transversal igual a 6,00 cm<sup>2</sup>. A tensão de tração (ou compressão) é dada por:

$$\begin{aligned} \sigma &= H7 / A \\ \sigma &= 65096 / 6 \quad \Rightarrow \quad \sigma = 10849 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 10.4.2.7.3 Tensão de cisalhamento nos perfis

A tensão de cisalhamento nos perfis é dada por:

$$\begin{aligned} \tau &= 20885 / 2 \cdot A \\ \tau &= 20885 / 2 \cdot 6 \quad \Rightarrow \quad \tau = 1740 \text{ N / cm}^2 \end{aligned}$$

#### 10.4.2.7.4 Tensão de comparação nos perfis

A tensão de comparação nos perfis, para tensões de cisalhamento e tração ocorrendo simultaneamente é dada por:

$$\begin{aligned} \sigma_{CP} &= (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0,5} \\ \sigma_{CP} &= (10849^2 + 3 \cdot 1740^2)^{0,5} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{CP} = 11260 \text{ N / cm}^2 \end{aligned}$$

#### 5.7.1.3.3.1 Coefficiente de segurança nos perfis

O valor da tensão nos perfis é igual a 11260 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$Sy = 21000 / 11260 \quad \Rightarrow \quad Sy = 1,86$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido supera o valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4, e igual a 1,25.



## 11. VERIFICAÇÃO DE OUTROS COMPONENTES

### 11.1 Verificação do acionamento da cabina

De acordo com os dados dos itens 2 e 3 temos:

- Capacidade de carga na cabina.....	15000 N
- Velocidade da cabina.....	28 m / min
- Velocidade da cabina.....	0,466 m / s
- Peso da cabina(com equipamento elétrico).....	8500 N
- Peso da arcada.....	8200 N

Com os dados acima verifica-se que a carga máxima em movimento durante operação normal do elevador é igual a 31700 N.

### 11.2 Potencia de acionamento

A potencia de acionamento é dada por:

$$N = F \cdot v / 1000 \cdot \eta$$

$$N = 31700 \cdot 0,466 / 1000 \cdot 0,90 \Rightarrow N = 16,41 \text{ KW}$$

São utilizados dois motorreductores em paralelo, cada qual com potencia 10 CV. O valor da potencia necessária em cada motor é igual à metade do valor acima definido, ou seja, 8,20 KW ou 11,14 CV. O motor possui um fator de serviço igual a 1,15, de modo que pode operar permanentemente com potencia máxima igual a 11,5 CV, valor este superior à potencia necessária. Dessa forma, quando operando com capacidade de carga máxima na cabina, os motores operarão dentro da faixa de potencia definida pelo fator de serviço.

### 11.3 Dados relativos ao acionamento

#### 11.3.1 Motor utilizado

- Potencia máxima (2 x ).....	8,5 KW
- Rotação.....	1750 rpm
- Conjugado nominal.....	50 Nm
- Conjugado médio de partida.....	70 Nm
- Momento de inércia.....	0,04652 Kgm <sup>2</sup>

#### 11.3.2 Momento de carga

$$M_x = P_x \cdot 9550 / n_M$$

$$M_x = 16,41 \cdot 9550 / 1750 \Rightarrow M_x = 89,55 \text{ Nm}$$

#### 11.3.3 Momento de inercia da carga

$$J_x = 91,2 \cdot m \cdot (V / n_M)^2$$

$$J_x = 91,2 \cdot 3170 \cdot (0,466 / 1750)^2 \Rightarrow J_x = 0,02049 \text{ Kgm}^2$$



**11.3.4 Tempo de aceleração da carga**

$$t_A = ( (J_X / \eta) + J_M ) \cdot n_M / 9,55 (C_H - M_X)$$

$$t_A = ( (0,02049 / 0,85) + (2 \cdot 0,04652) ) \cdot 1750 / 9,55 (2 \cdot 70 - 89,55)$$

$$t_A = 205,00 / 481,79 \quad \Rightarrow \quad t_A = 0,425 \text{ s}$$

**11.3.5 Aceleração**

$$a = dV / dt$$

$$a = 0,466 / 0,425 \quad \Rightarrow \quad a = 1,09 \text{ m / s}^2$$

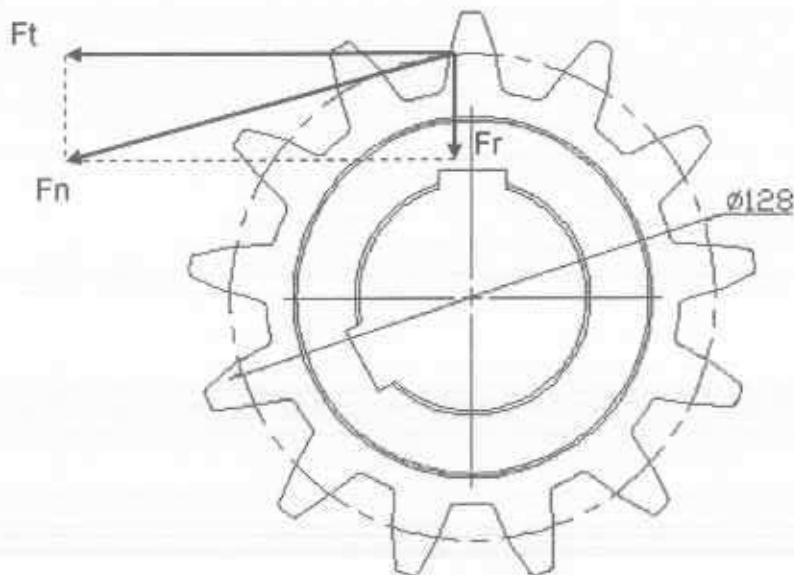
**11.3.6 Distancia de partida**

$$d = 0,5 \cdot t_A \cdot V$$

$$d = 0,5 \cdot 0,425 \cdot 0,466 \quad \Rightarrow \quad d = 0,099 \text{ m (99 mm)}$$

**11.4 Verificação do pinhão de acionamento e cremalheira**

O acionamento da cabina é efetuado por meio de dois motores potencia máxima 8,5 KW, através de um pinhão com 16 dentes, módulo 8, diâmetro primitivo 128 mm e largura igual a 45 mm. O pinhão se engrena com a cremalheira largura 40 mm fixada nos módulos da torre, movimentando a cabina verticalmente. Tanto o pinhão como a cremalheira são executados em aço SAE 1045, cementados e temperados, o que conduz a uma dureza no flanco do dente da ordem de 50 HRC, ou 4950 HB.



#### 11.4.1 Rotação do pinhão

A velocidade de deslocamento da cabina é igual a 28 m / min, de modo que a rotação do pinhão é dada por:

$$n_p = V / \pi \cdot D_p$$

$$n_p = 28 / \pi \cdot 0,128 \quad \Rightarrow \quad n_p = 69,66 \text{ rpm}$$

#### 11.4.2 Torque no pinhão

O acionamento da cabina é efetuado por dois motores potencia máxima 8,5 KW de modo que o torque no pinhão é dado por:

$$T_p = 30 \cdot N / \pi \cdot n_p$$

$$T_p = 30 \cdot 8500 / \pi \cdot 69,66 \quad \Rightarrow \quad T_p = 1166 \text{ Nm}$$

#### 11.4.3 Força tangencial no pinhão

A força tangencial é dada por:

$$F_t = 2 \cdot T_p / D_p$$

$$F_t = 2 \cdot 1166 / 0,128 \quad \Rightarrow \quad F_t = 18218 \text{ N}$$

#### 11.4.4 Força radial no pinhão

Para o ângulo de flanco igual a 20°, a força radial é dada por:

$$F_r = F_t \cdot \text{tg } \alpha$$

$$F_r = 18218 \cdot \text{tg } 20^\circ \quad \Rightarrow \quad F_r = 6631 \text{ N}$$

#### 11.4.5 Força resultante no pinhão

Para o ângulo de flanco igual a 20°, a força resultante é dada por:

$$F_n = F_t / \cos \alpha$$

$$F_n = 18218 / \cos 20^\circ \quad \Rightarrow \quad F_n = 19291 \text{ N}$$

#### 11.4.6 Fator de serviço para acionamento do elevador

De acordo com tabela AGMA, para carga uniforme, até dez horas de operação por dia o fator de serviço  $\phi$  é igual a 1.

#### 11.4.7 Verificação do pinhão quanto ao desgaste

##### 11.4.7.1 Pressão admissível no flanco do dente

Para o material especificado, com dureza 4950 HB a pressão máxima admissível é igual a 500 N / mm<sup>2</sup> e a tensão admissível em função do fator de durabilidade é dada por:

$$\sigma_{adm} = 0,487 \cdot HB / W^{1/6}$$

Onde  $W^\delta$  é o fator de durabilidade dado por :

$$W = 60 \cdot n_1 \cdot h / 10^6$$



#### 11.4.7.2 Vida útil do pinhão em função do desgaste

Fazendo  $\sigma_{adm} = 500$ , o fator de durabilidade é definido conforme segue:

$$\begin{aligned} 500 &= 0,487 \cdot 4950 / W^{1/6} \\ W^{1/6} &= 0,487 \cdot 4950 / 500 \\ W^{1/6} &= 4,8213 \quad \Rightarrow \quad W = 12559 \end{aligned}$$

O numero de horas de operação definido pela pressão no flanco do dente é dado então por:

$$12559 = 60 \cdot 69,66 \cdot h / 10^6 \quad \Rightarrow \quad h = 3.004.832 \text{ horas}$$

#### 11.4.8 Verificação do pinhão quanto à flexão no pé do dente

##### 11.4.8.1 Força tangencial no dente

Conforme definido no item 11.4.3 a força tangencial  $F_t$  é igual a 18218 N.

##### 11.4.8.2 Fator de forma

Conforme tabelas AGMA, o fator de forma é dado em função do numero de dentes. Para o pinhão com 16 dentes, o fator de forma  $q$  é igual a 3,7.

##### 11.4.8.3 Tensão máxima atuante no pé do dente

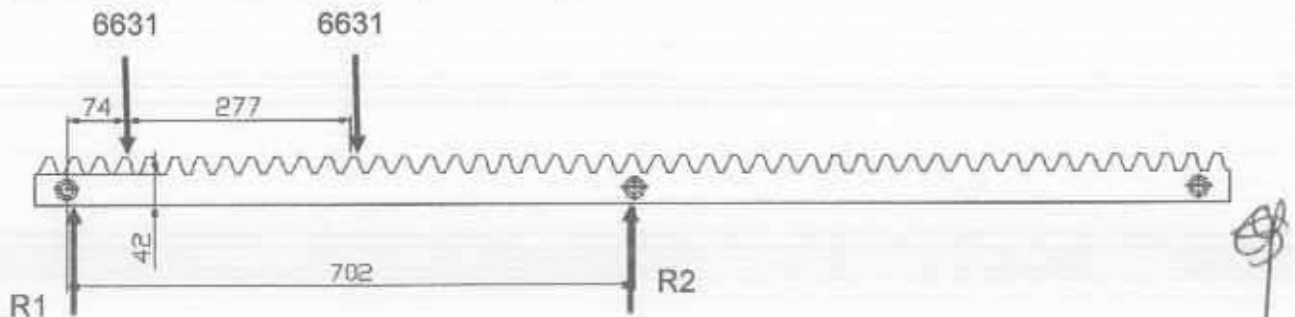
O valor da tensão máxima é dado por:

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= F_t \cdot q \cdot \phi / b \cdot mn \\ \sigma_{max} &= 18218 \cdot 3,7 \cdot 1 / 40 \cdot 8 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{max} = 210 \text{ N / mm}^2 \end{aligned}$$

Para o material do pinhão, a máxima tensão admissível para flexão no pé do dente, para vida infinita, é igual a 360 N / mm<sup>2</sup>, superior portanto ao valor supra definido.

#### 11.4.9 Verificação da cremalheira

A cremalheira é executada em aço SAE 1045, cementada e temperada. A resistência dos dentes é igual à do pinhão, cuja segurança é comprovada no item 11.4.7. A cremalheira pode ser considerada como uma viga sujeita a duas cargas iguais à força radial definida no item 11.4.4. A distancia entre redutores é igual a 555 mm e a pior condição é dada quando uma das cargas atua junto ao centro conforme esquema abaixo. A cremalheira é considerada com uma viga bi apoiada, a favor da segurança, de modo a prevenir uma eventual falha no aperto dos parafusos.



**11.4.9.1 Valor das reações R1 e R2**

Somatório das forças segundo o eixo Y:

$$R1 + R2 = 6631 + 6631$$

$$R1 + R2 = 13262 \quad (\text{equação 1})$$

Somatório dos momentos em relação R2

$$R1 \cdot 702 - 6631 \cdot 628 - 6631 \cdot 351 = 0$$

$$R1 \cdot 702 - 4164268 - 2327481 = 0 \quad \Rightarrow \quad R1 = 9247 \text{ N}$$

Substituindo na equação 1 temos:

$$R2 = 9247 \text{ N}$$

**11.4.9.2 Momentos fletores na cremalheira**Os momentos fletores na cremalheira, para  $X = 0$  na posição de atuação de R1, temos:Para  $0 \leq X \leq 74$ 

$$M = R1 \cdot X \quad \Rightarrow \quad M = 9247 \cdot X$$

Se  $X = 7,4$ 

$$M = 9247 \cdot 7,4 \quad \Rightarrow \quad M = 68428 \text{ Ncm}$$

Para  $74 \leq X \leq 351$ 

$$M = R1 \cdot X - 6631 (X - 7,4)$$

$$M = 9247 \cdot X - 6631 (X - 7,4)$$

Se  $X = 35,1$ 

$$M = 9247 \cdot 35,1 - 6631 (35,1 - 7,4)$$

$$M = 324570 - 183679 \quad \Rightarrow \quad M = 140891 \text{ Ncm}$$

Para  $351 \leq X \leq 702$ 

$$M = R1 \cdot X - 6631 (X - 7,4) - 6631 (X - 35,1)$$

$$M = 9247 \cdot X - 6631 (X - 7,4) - 6631 (X - 35,1)$$

Se  $X = 70,2$ 

$$M = 9247 \cdot 70,2 - 6631 (70,2 - 7,4) - 6631 (70,2 - 35,1)$$

$$M = 649139 - 416427 - 232748 \quad \Rightarrow \quad M = 0$$

**11.4.9.3 Momento de inércia da cremalheira**

A cremalheira possui largura 40 mm e altura até o pé do dente igual a 42 mm. O momento de inércia é dado por:

$$J = b \cdot h^3 / 12$$

$$J = 4 \cdot 4,2^3 / 12 \quad \Rightarrow \quad J = 24,69 \text{ cm}^4$$



#### 11.4.9.4 Tensão de flexão na cremalheira

O maior momento fletor é igual a 140891 Ncm, de modo que a tensão de flexão é dada por:

$$\sigma_f = M \cdot y_{\max} / J$$

$$\sigma_f = 140891 \cdot 2,1 / 24,69 \Rightarrow \sigma_f = 11983 \text{ N / cm}^2$$

#### 11.4.9.5 Coeficiente de segurança na cremalheira

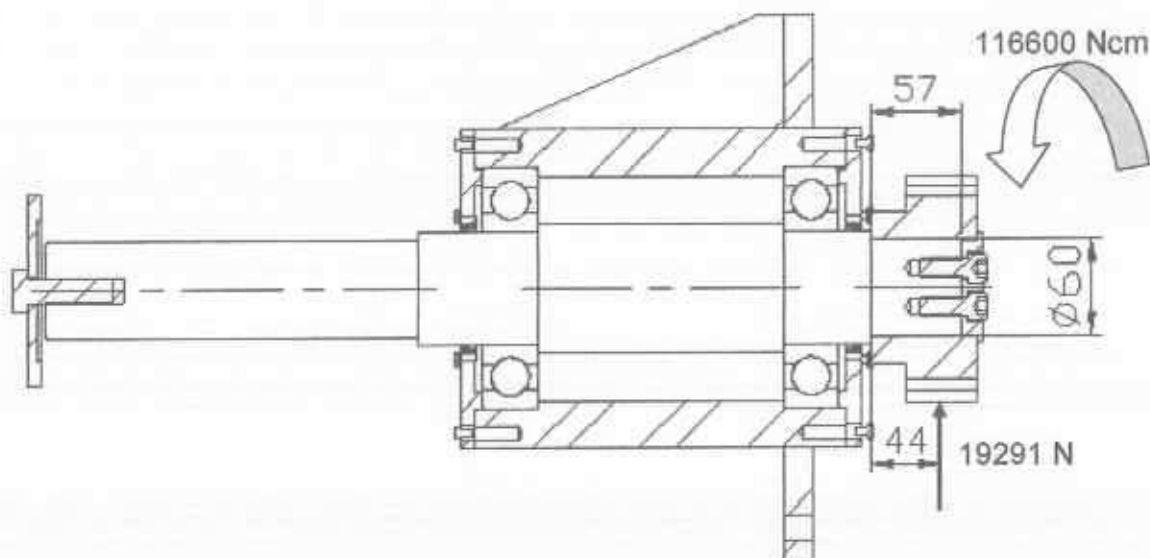
A cremalheira é executada em aço SAE 1045 temperado, com tensão de escoamento igual a 44000 N/ cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão é igual a 11983 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 44000 / 11983 \Rightarrow S_y = 3,67$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.

#### 11.4.10 Verificação do eixo do pinhão de acionamento da cabina

O eixo do pinhão está submetido ao torque Tp igual a 1166 Nm (item 11.4.2) e à reação Fn igual a 19291 N (item 11.4.5)



#### 11.4.10.1 Momento de inércia do eixo

Para diâmetro 60 mm o momento de inércia é dado por:

$$J = \pi \cdot d^4 / 64$$

$$J = \pi \cdot 6^4 / 64 \Rightarrow J = 63,58 \text{ cm}^4$$

**11.4.10.2 Momento de inércia polar do eixo**

Para diâmetro 60 mm o momento de inércia polar é dado por:

$$J = \pi \cdot d^4 / 32$$

$$J = \pi \cdot 6^4 / 32 \quad \Rightarrow \quad J = 127,17 \text{ cm}^4$$

**11.4.10.3 Tensão de cisalhamento no eixo devido ao momento torçor**

A tensão de cisalhamento devido ao momento torçor é dada por:

$$\tau = Mt \cdot r / J_p$$

$$\tau = 116600 \cdot 3 / 127,17 \quad \Rightarrow \quad \tau = 2750 \text{ N / cm}^2$$

**11.4.10.4 Momento fletor no eixo**

O momento fletor no eixo é dado por:

$$M = P \cdot L$$

$$M = 19291 \cdot 4,4 \quad \Rightarrow \quad M = 84880 \text{ Ncm}$$

**11.4.10.5 Tensão de flexão no eixo**

A tensão de flexão é dada por:

$$\sigma_f = M \cdot y_{\max} / J$$

$$\sigma_f = 184880 \cdot 3 / 63,58 \quad \Rightarrow \quad \sigma_f = 4005 \text{ N / cm}^2$$

**11.4.10.6 Tensão de comparação no eixo**

A tensão de comparação no eixo, para tensões de cisalhamento e flexão ocorrendo simultaneamente é dada por:

$$\sigma_{CP} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{CP} = (4005^2 + 3 \cdot 2750^2)^{0,5} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{CP} = 6223 \text{ N / cm}^2$$

**11.4.10.7 Coefficiente de segurança no eixo**

O eixo é executado em aço SAE 1045 temperado, com tensão de escoamento igual a 44000 N/ cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão é igual a 6223 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

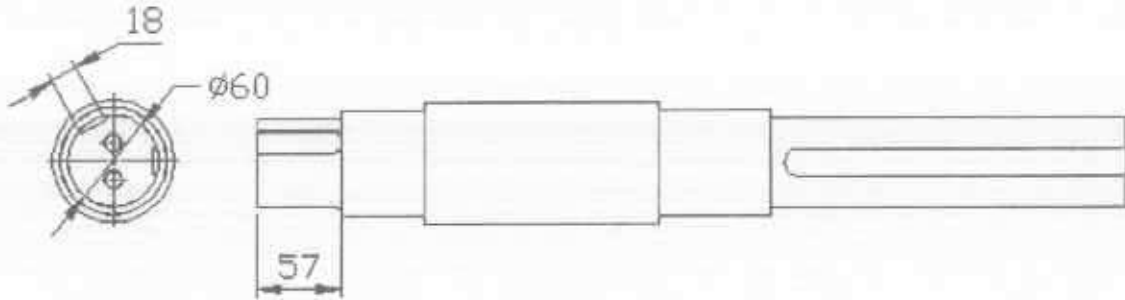
$$S_y = 44000 / 6223 \quad \Rightarrow \quad S_y = 7,07$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.



**11.4.10.8 Verificação da chaveta do pinhão**

São utilizadas duas chavetas largura 18 mm, altura 11 mm e comprimento 57 mm. A altura da chaveta no eixo é igual a 7,00 mm e no pinhão igual a 4,00 mm. O torque nas chavetas é igual a 116600 Ncm, de modo que em cada uma atua um torque igual a 58300 Ncm.

**11.4.10.8.1 Força tangencial na chaveta**

A força tangencial em cada chaveta é dada por:

$$F_t = T / R$$

$$F_t = 58300 / 3 \Rightarrow F_t = 19433 \text{ N}$$

**11.4.10.8.2 Tensão de cisalhamento na chaveta**

A tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = F_t / A$$

$$\tau = 19433 / (1,1 \cdot 5,7) \Rightarrow \tau = 3099 \text{ N / cm}^2$$

**11.4.10.8.3 Coeficiente de segurança na chaveta quanto ao cisalhamento**

A chaveta é executada em aço SAE 1045, com tensão de cisalhamento admissível igual a 6000 N/cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão é igual a 3099 N/cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 6000 / 3099 \Rightarrow S_y = 1,93$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.

**11.4.10.8.4 Tensão de compressão na chaveta**

A tensão de compressão é dada por:

$$\sigma_c = F_t / A$$

$$\sigma_c = 19433 / (0,7 \cdot 5,7) \Rightarrow \sigma_c = 4870 \text{ N / cm}^2$$

**11.4.10.8.5 Coeficiente de segurança na chaveta quanto à compressão**

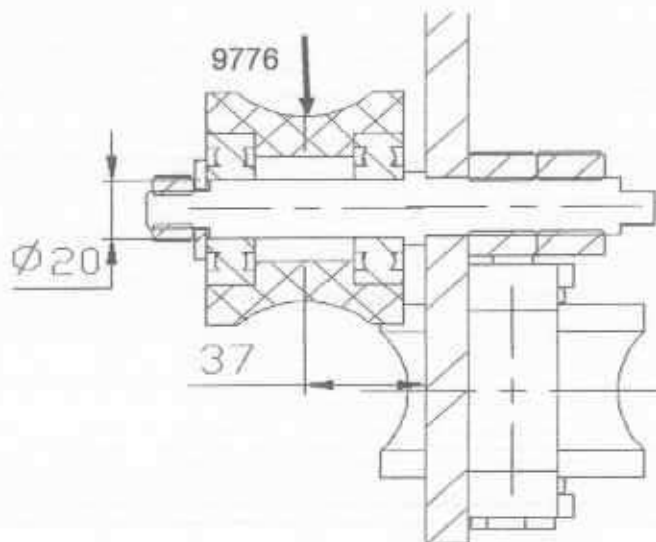
A chaveta é executada em aço SAE 1045, com tensão de compressão admissível igual a 10000 N/cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão é igual a 4870 N/cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 10000 / 4870 \Rightarrow S_y = 2,05$$

O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 4 e igual a 1,5.

**11.4.11 Verificação do eixo do rolete**

Conforme dados do item 6, a maior reação sobre os roletes ocorre durante um processo de freagem de emergência, com valor igual a 19552 N. São utilizados dois roletes de modo que em cada um atua uma força igual a 9776 N.

**11.4.11.1 Momento fletor no eixo**

Para a condição de carregamento conforme acima representada, o momento fletor é dado por:

$$M = P \cdot L$$

$$M = 9776 \cdot 3,7 \Rightarrow M = 36171 \text{ Ncm}$$

**11.4.11.2 Momento de inércia do eixo**

Para diâmetro 20 mm o momento de inércia é dado por:

$$J = \pi \cdot d^4 / 64$$

$$J = \pi \cdot 2^4 / 64 \Rightarrow J = 0,785 \text{ cm}^4$$

#### 11.4.11.3 Tensão de flexão no eixo

A tensão de flexão é dada por:

$$\sigma_f = M \cdot y_{\max} / J:$$

$$\sigma_f = 36171 \cdot 1 / 0,785 \quad \Rightarrow \quad \sigma_f = 46077 \text{ N / cm}^2$$

#### 11.4.11.4 Coefficiente de segurança no eixo

O eixo é executado em aço SAE 4140 beneficiado, com tensão de escoamento mínima igual a 60000 N / cm<sup>2</sup>. O maior valor da tensão é igual a 46077 N / cm<sup>2</sup>, o que define um coeficiente de segurança em relação à tensão de escoamento dada por:

$$S_y = 60000 / 46077 \quad \Rightarrow \quad S_y = 1,30$$


O valor do coeficiente de segurança supra definido é superior ao valor estabelecido na Norma, de acordo com a tabela 3 e igual a 1,25.



## **12 CONCLUSÃO**

Conforme demonstrado, o elevador modelo ECT 15.30 apresenta, do ponto de vista de seu dimensionamento estrutural, condições de segurança para operação com carga máxima na cabina igual a 15000 N, uma vez que nenhum componente apresenta coeficientes de segurança inferior aos coeficientes definidos na norma, tanto para operação normal como para a cabina submetida a um processo de freagem de emergência ou para a cabina fora de operação com o equipamento submetido a ventos com velocidade igual a 150 Km / h.

Porto Alegre, 03 de Março de 2014

  
Jose Sergio Menegaz  
Engº Mecânico  
CREA 23991