




# 5º CONCURSO CBCA PARA ESTUDANTES DE ENGENHARIA

Habitação de interesse  
social com estrutura em  
aço



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
1.1. Definição do problema .....	4
1.2. Objetivos e motivação .....	4
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
2.1. Industrialização na construção civil .....	4
2.2. Localização da obra.....	5
2.3. Acessibilidade.....	6
2.4. Normas e Especificações Técnicas .....	8
2.5. Softwares Utilizados .....	8
<b>3. PROJETO E MEMÓRIA DE CÁLCULO .....</b>	<b>9</b>
3.1. Projeto (Anexo).....	9
3.2. Memória de Cálculo – Edifício comercial em aço .....	10
3.2.1 <i>Descrição da Estrutura</i> .....	10
3.2.1.1. Elementos principais .....	11
3.2.1.2. Elementos secundários .....	11
3.2.1.3. Contraventamentos .....	11
3.2.1.4. Fachada em Light Steel Frame .....	11
3.2.2. <i>Especificação dos materiais estruturais</i> .....	11
Perfil W ASTM A36 .....	11
Perfil C ASTM A36 .....	12
Fachada Light Steel Frame.....	12
Laje steel deck (Concreto) .....	12
Laje steel deck (Aço).....	12

Escada metálica de chapa dobrada com preenchimento de concreto .....	12
Cantoneira de abas iguais .....	12
Chapas A ASTM A36 .....	13
Parafusos ASTM A325 .....	13
<b>3.2.3 Ações e carregamentos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3.1. Carga variável: .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3.2. Cargas permanentes: .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.3.3. Combinações: .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.4. Análise estrutural .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4.1. Concepção estrutural .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4.2. Propriedade dos elementos estruturais .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.4.3. Casos de carga: .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.4.4. Combinações de Carga .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.4.5. Esforços .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.4.6. Deslocamentos .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.5. Dimensionamento dos elementos estruturais .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.5.1. Pilas mais solicitado do pavimento térreo: .....</b>	<b>35</b>
Flexão: .....	37
Compressão: .....	39
<b>3.2.5.2. Viga Principal do pavimento tipo: .....</b>	<b>41</b>
Flexão: .....	43
Cortante: .....	45
Valores limites para flechas nas vigas: .....	46
<b>3.2.5.3. Viga Secundário do pavimento tipo: .....</b>	<b>46</b>
Flexão: .....	47
Cortante: .....	50
<b>3.2.5.4. Viga da Escada: .....</b>	<b>51</b>
Flexão: .....	52

Cortante: .....	55
3.2.5.5. Tesoura da Cobertura:.....	56
Flexão: .....	57
Cortante: .....	60
3.2.6. <i>Dimensionamento dos elementos estruturais de</i> <i>contraventamento</i> .....	61
Tração:.....	63
Resistência à ruptura da seção líquida: .....	64
Compressão:.....	66
3.2.7. <i>Dimensionamento da base das colunas</i> .....	67
3.2.8. <i>Concepção de todas as ligações</i> .....	68
3.2.8.1 . <i>Dimensionamento de ligação entre vigas</i> .....	69
3.2.8.1 . <i>Dimensionamento de ligação flexível viga-pilar</i> .....	72
3.2.9. <i>Esforços nas fundações</i> .....	74
3.2.10. <i>Manutenção</i> .....	77
3.2.11. <i>Comportamento em caso de incêndio</i> .....	77
3.2.12. <i>Consumo de aço estrutural estimado para a estrutura</i> .....	78
3.2.13. <i>Conclusão</i> .....	83
4. <i>REFERÊNCIAS</i> .....	84
APÊNDICE A – <i>IMAGENS HUMANIZADAS</i> .....	85

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Definição do problema**

A proposta do 5º Concurso CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) para Estudantes de Engenharia 2023 consiste na concepção, projeto estrutural dos elementos e das ligações e aspectos de montagem de uma habitação de interesse social com estrutura de aço ou mista de aço e concreto. Os projetos devem ser elaborados por uma equipe de estudantes de engenharia civil, com o suporte de um professor orientador, de modo a abordar diversos princípios de engenharia por meio de projetos que podem ser executados, a exclusivo critério do CBCA.

### **1.2. Objetivos e motivação**

Por meio dessa proposta, o concurso visa a aplicação dos fundamentos da engenharia, explorando a teoria e a prática. Deste modo, os alunos são incentivados a explorar as aplicações dos conceitos de industrialização e modulação no sistema estrutural em aço, promovendo a busca por uma solução eficiente e responsável para o problema de déficit habitacional do país e o trabalho em equipe. É importante contemplar o uso correto e apropriado do aço considerando os requisitos que uma estrutura deve atender de estática, segurança e funcionalidade, viabilidade construtiva envolvendo a fabricação, o transporte e a montagem da estrutura, incluindo a concepção das ligações entre as peças e nível de industrialização dos componentes construtivos.

## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO**

### **2.1. Industrialização na construção civil**

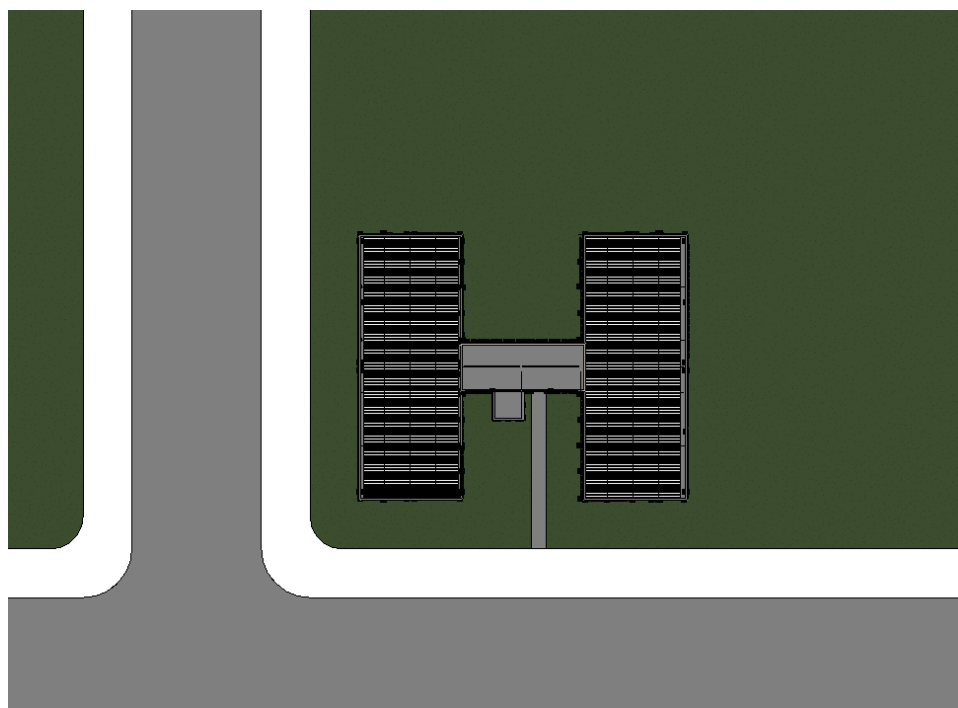
A população brasileira já passou dos 200 milhões de habitantes e a maioria dessa população mora e trabalha nas cidades, sendo assim cada vez mais edifícios

residenciais, comerciais, galpões e indústrias são necessários para acompanhar esse desenvolvimento. Ainda assim, o país enfrenta um grave problema de déficit habitacional e uma solução para esse problema é uma melhora na produtividade, agilidade da obra, previsibilidade no ciclo do empreendimento, rigorosa qualidade. Para atender essa demanda é necessário um estímulo para a implementação de estruturas metálicas para edifícios com alternativas de soluções construtivas industrializadas, que, mesmo o Brasil sendo um dos maiores produtores de aço, em comparação com o parque industrial brasileiro, o uso desse tipo de estruturas ainda é escasso por uma preferência pela construção civil convencional (on-site) que é realizada com muitos processos artesanais, sem um controle adequado e padronizado.

O Objetivo geral da industrialização da construção civil é o desenvolvimento de um sistema estrutural modulado e padronizado para edificações em aço que possibilite flexibilidade de customização a fim de poder ser adotado em diferentes tipologias, demandas e terrenos.

## **2.2. Localização da obra**

O projeto foi pensado para ser adaptado de acordo com a disponibilidade de espaço de cada localidade, assim pode ser implantado individualmente ou em conjuntos não tendo a necessidade de ter um terreno específico. O projeto é de uma estrutura metálica mista para um edifício de habitação de interesse social composto por um total de 4 pavimentos (térreo + 3 pavimentos), com 4 apartamentos por pavimento (16 apartamentos no total). Há um bloco de circulação composto por hall de escada central e espaço para implantação de elevador para acessibilidade do imóvel. Acima deste bloco de circulação há um conjunto de 3 caixas d'água em polietileno com capacidade para 2000 litros cada.



*Figura 1 1- Implantação. Projeção do edifício*

### **2.3. Acessibilidade**

Acessibilidade é a inclusão de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida no ambiente e nas atividades, com o intuito de integrá-las aos espaços sociais. Tem como objetivo proporcionar a melhoria da qualidade de vida das pessoas e a inclusão social, através da redução das desigualdades de oportunidades e remoção de obstáculos para locomoção. Garantindo a possibilidade de uma vida independente e exercício dos direitos de cidadania e de participação social.

As principais normas regulamentadoras são:

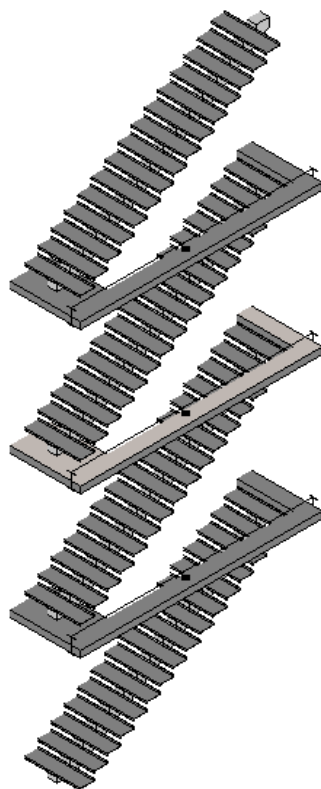
- ABNT - NBR9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- Constituição Federal, nos artigos 5º; 7º, XXXI; 23, II; 24, XIV; 37, VIII; 203, IV, V; 208, III, IV; 227, §1º, II, §2º e 244;
- Lei de Acessibilidade – Decreto de lei 5.296, de 2 de dezembro de 2004,
- Estatuto da Pessoa com Deficiência (lei federal nº 13.146/2015).

O projeto atende aos requisitos mínimos e restrições quanto à acessibilidade de pessoas com deficiência e atenderá as dimensões necessárias para rotação e translação do usuário com deficiência.

- **Escada:**

- a) Escada da Entrada

Lance e patamar com 1,20 de largura, contendo 16 degraus, cada degrau com 0,1765 m de espelho e 0,28m de pisada, vencendo um vão vertical por lance de 3,00m.

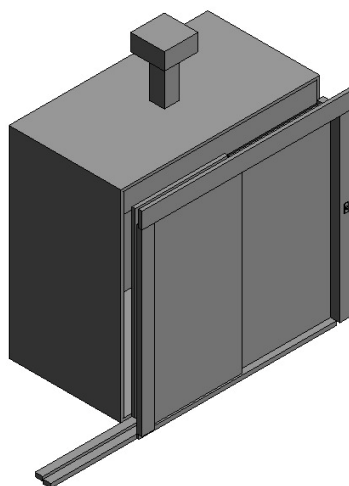


*Figura 22 - Escada da habitação*

- **Elevador:**

Largura da abertura da porta 2,0 m e altura da abertura da porta 2,325m, altura da cabine 2,40m, profundidade da cabine é 1,40m vencendo um vão vertical 12,0m.





*Figura 33 - Elevador.*

## **2.4. Normas e Especificações Técnicas**

- ABNT NBR 8800: 2008-Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios;
- ABNT NBR 6123: 1990 -Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT - NBR 14762: 2010 – Dimensionamento de estruturas de aço perfil formados a frio
- ABNT - NBR9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos
- ABNT - NBR 6120:2019 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações

## **2.5. Softwares Utilizados**

- AutoCad 2022
- Revit 2022
- SCIA
- TEKLA 2022

### **3. PROJETO E MEMÓRIA DE CÁLCULO**

#### **3.1. Projeto (Anexo)**

Desenhos de conjunto com a identificação de todas as peças da estrutura e com tabelas de quantidades. Os desenhos de conjunto serão compostos por:

- Desenhos de conjunto:

PRANCHA Nº 01 – Planta básica de arquitetura com inserção da estrutura  
– Planta de apoios com tabela de esforços na fundação

PRANCHA Nº 02 – Planta de estrutura no pavimento tipo – Imagens tridimensionais da estrutura

PRANCHA Nº 03 – Planta de estrutura da cobertura – Seção transversal de telhado

PRANCHA Nº 04 – Cortes longitudinal e transversal de arquitetura com inserção da estrutura

- Desenhos de detalhes:

PRANCHA Nº 05 E 06 – Detalhes de ligações entre elementos da estrutura (apresentar os itens presentes no memorial de cálculo):

- . 1 ligação de base de pilar;
- . 1 ligação entre vigas;
- . 1 ligação rígida viga-pilar (se houver);
- . 1 ligação flexível viga-pilar;
- . 1 ligação de contraventamento (se houver);

PRANCHA Nº 07 – Detalhes construtivos de interface e fixação à estrutura metálica de paredes externas e internas (pelo menos 1 detalhe de parede externa e 1 detalhe de parede interna);

PRANCHA Nº 08 – Seção longitudinal de um lance da escada metálica

### 3.2. Memória de Cálculo – Edifício comercial em aço

#### 3.2.1 Descrição da Estrutura

Trata-se da estrutura de uma habitação popular de 4 pavimentos formada por perfis metálicos. A estrutura é dividida em dois módulos, onde cada um abriga 2 unidades habitacionais, e são unidas por um hall central.

As vigas e os pilares são formados por perfis W, obtidos a partir da tabela da Gerdau, e as lajes serão em concreto com forma metálica incorporada (steel deck), obtida a partir da tabela da ArcelorMittal. Para a estrutura da cobertura, foram adotados perfis W para as tesouras e perfis C para as terças. Além disso, no hall central de cada pavimento se localizam uma escada metálica de chapa dobrada, apoiada em duas vigas, e uma caixa de elevador com capacidade de até 6 pessoas. Para garantir a estabilidade global e travamento da estrutura foram previstos contraventamentos nas duas direções de atuação do vento.

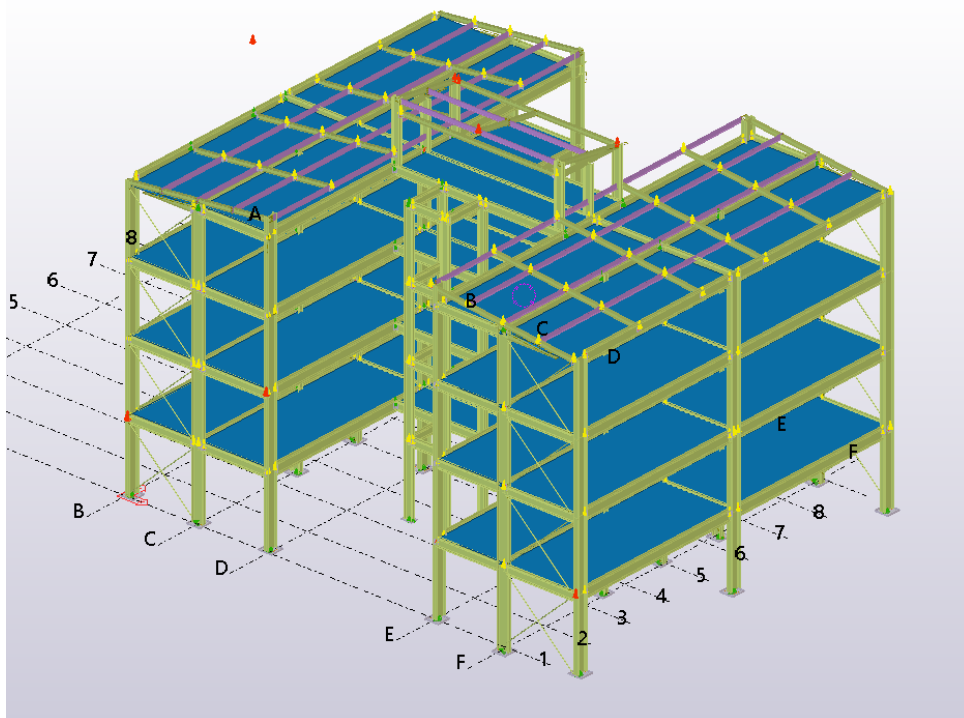


Figura 44 - Edifício modulado no TEKLA

#### *3.2.1.1. Elementos principais*

Vigas que vencem o vão de 16,4 m, que recebem as cargas das vigas secundárias de cada pavimento: Perfil W 410 x 53,0;

Pilares de extremidade e pilar central de cada módulo: Perfil W 470 x 82,0;

Pilares de canto: Perfil W 470 x 74,0;

Demais pilares: W 360 x 72,0;

#### *3.2.1.2. Elementos secundários*

Vigas que vencem os vão de 6,4 m: Perfil W 310 x 52,0;

Laje steel deck: espessura definida será explicada no tópico 3.2.3.1

Tesouras: Perfil W 150 x 37,1;

Terças: Perfil C 8 x 11,5;

Enrijecedores (de base de pilar e de alma das vigas), chapas de ligação, montantes de perfis formados a frio para fixação dry wall para as paredes internas e fixação de vidros da fachada, escada metálica de chapa dobrada.

#### *3.2.1.3. Contraventamentos*

Cantoneiras de abas iguais parafusadas em chapas Gusset.

#### *3.2.1.4. Fachada em Light Steel Frame*

A parede externa será constituída por perfis leves de aço tipo C100x40x17x2.

### **3.2.2. Especificação dos materiais estruturais**

Propriedades dos Materiais

Perfil W ASTM A36

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade:  $E_s = 200$  GPa

#### Perfil C ASTM A36

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade:  $E_s = 200$  GPa

#### Fachada Light Steel Frame

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade:  $E_s = 200$  GPa

#### Laje steel deck (Concreto)

Resistência à ruptura:  $f_{ck} = 25$  MPa

(Seguindo os devidos controles de qualidade referente a cura acabamento ensaios realizados nas fabricas dos fornecedores).

#### Laje steel deck (Aço)

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade  $E_s = 200$  GPa

#### Escada metálica de chapa dobrada com preenchimento de concreto

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade  $E_s = 200$  GPa

#### Cantoneira de abas iguais

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade  $E_s = 200$  GPa

### Chapas A ASTM A36

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade  $E_s = 200$  GPa

### Parafusos ASTM A325

Resistência ao escoamento:  $f_{yb} = 635$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_{ub} = 825$  MPa

## 3.2.3 Ações e carregamentos

### 3.2.3.1. Carga variável:

Sobrecarga de utilização nas unidades residenciais de  $250 \text{ kg/m}^2$ ;

Sobrecarga de manutenção na cobertura de  $100 \text{ kg/m}^2$ ;

De acordo com a NBR 6120 para cargas de edifícios residenciais, e presumindo uma carga adicional de sobrecarga de  $150 \text{ kg/m}^2$  relativa a alvenaria e revestimento do piso, temos que, considerando um sistema de 3 apoios e um vão a ser vencido de  $3,20 \text{ m}$ , de acordo com a tabela abaixo do catálogo da ArcelorMittal, a espessura necessária da laje seria de  $11 \text{ cm}$ .

SISTEMA 3 APOIOS - Vão máximo sem escora: 3,40 m																
Vão (m)		2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80
Espessura da laje (cm)	11	1435	1215	1024	874	756	660	581	516	462						
	12	1614	1337	1127	962	832	727	640	569	305	253					
	13	1762	1460	1230	1051	908	793	699	621	329	273					
	14	1910	1583	1334	1140	985	860	758	426	354	293					
	15	2059	1706	1438	1228	1062	928	818	457	379	313	257				
	16	2208	1830	1542	1317	1139	995	587	487	404	334	273				
	17	2357	1954	1646	1407	1216	1063	624	518	429	354	290				
	18	2507	2078	1751	1496	1294	797	662	549	455	375	306				
	19	2657	2202	1856	1586	1371	843	699	580	480	395	323	261			
	20	2807	2327	1961	1676	1075	889	737	611	506	416	339	274			
	21	2957	2451	2066	1766	1130	935	775	642	531	437	356	287			
	22	3108	2576	2171	1856	1187	981	813	674	557	458	373	300			
	23	3259	2701	2277	1509	1243	1028	851	705	582	478	390	313			
	24	3410	2827	2382	1578	1299	1074	889	736	608	499	407	327	258		
	25	3561	2925	2488	1646	1355	1120	928	768	634	520	424	340	268		

Tabela 1: Tabela de especificação de lajes steel deck da empresa ArcelorMittal

Para as cargas de ventos foi considerado a norma NBR 6123 e a velocidade básica da cidade de Belo Horizonte do estado de Minas Gerais.

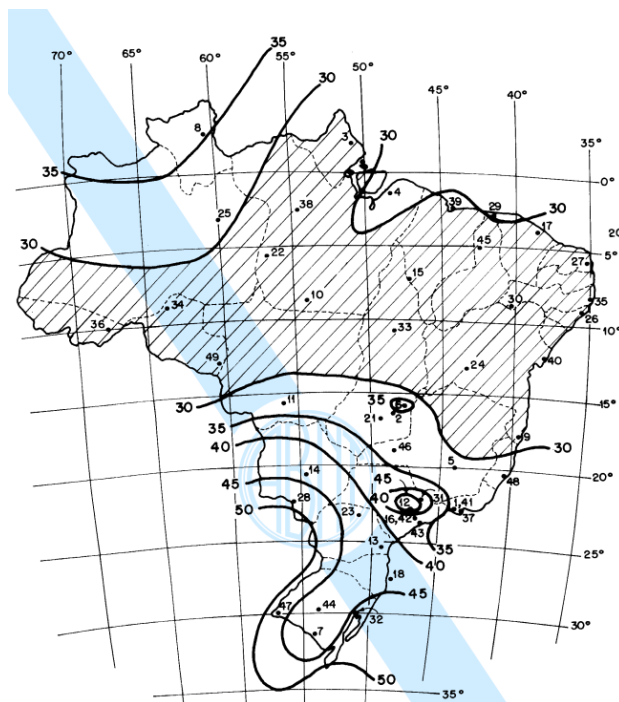


Figura 55 - Gráfico de isopletas de velocidades básicas NBR 6123

De acordo com o gráfico das isopletas da NBR 6123, a velocidade básica em Minas Gerais seria em torno de 35 m/s.

Para o fator topográfico S1, foi considerado que o edifício está localizado em terreno plano ou fracamente acidentado, portanto  $S1 = 1,0$

Para o fator estatístico S3, foi considerado uma edificação para hotéis e residências, portanto  $S3 = 1,0$ .

Para o fator de rugosidade S2, foi considerado o terreno plano ou ondulado com obstáculos (categoria III) e classe B, pois a maior dimensão horizontal do edifício está entre 20m e 50m.

<b>Categoria</b>	<b>Relevo</b>
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão.
II	Terrenos abertos com poucos obstáculos isolados.
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos.
IV	Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados.
V	Terrenos com obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

<b>Classe</b>	<b>Tamanho da Edificação</b>
A	Maior dimensão horizontal ou vertical < 20m.
B	Maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50m.
C	Maior dimensão horizontal ou vertical > 50m.

Categoria	Parâmetro	Classes		
		A	B	C
I	b	1,10	1,11	1,12
	p	0,06	0,065	0,07
II	b	1,00	1,00	1,00
	p	0,085	0,09	0,10
III	b	0,94	0,94	0,93
	p	0,10	0,105	0,115
IV	b	0,86	0,85	0,84
	p	0,12	0,125	0,135
V	b	0,74	0,73	0,71
	p	0,15	0,16	0,175
I a V	Fr	1,00	0,98	0,95

*Tabela 2: Parâmetros para cálculo de S2 NBR 6123*

Portanto:

$$b = 0,94, p = 0,105 \text{ e } Fr = 0,99$$

Assim:

$$S2 = b * Fr * \left(\frac{z}{10}\right)^p = 0,94 * 0,99 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,105}$$

As tabelas 3 e 4 a seguir mostram o resumo das principais forças concentradas aplicadas ao edifício nas principais cotas, onde a força do vento fica em função da altura z, portanto e função do fator S2

$$Vk = V0 * S1 * S2 * S3$$

Onde:

Vk = velocidade característica do vento em (m/s)



$$F_a = \frac{C_a * q * A_e}{1000} (kN)$$

Onde:

$F_a$  = Força resultante (kN)

$C_a$  = Coeficiente de arrasto em função da relação geométrica entre as dimensões em planta e a altura

$q$  = Pressão dinâmica de vento na fachada (N/m<sup>2</sup>)

$A_e$  = Área de impacto do vento na fachada (m<sup>2</sup>)

A pressão de vento ( $q$ ) é dada pela seguinte expressão

$$q = 0,613 * V k^2$$

Serão analisados dois casos, com o vento agindo perpendicularmente a maior dimensão em planta e com vento agindo perpendicularmente a menor dimensão em planta. O pior caso será utilizado na análise estrutural adiante.

Comprimento do edifício = 20,28m

Largura do edifício = 16,4m

Altura = 14,7m

O valor do coeficiente de arrasto  $C_a$  foi retirado do gráfico da NBR 6123, e depende das relações entre altura e largura perpendicular a direção de atuação do vento e das relações entre as dimensões em planta.

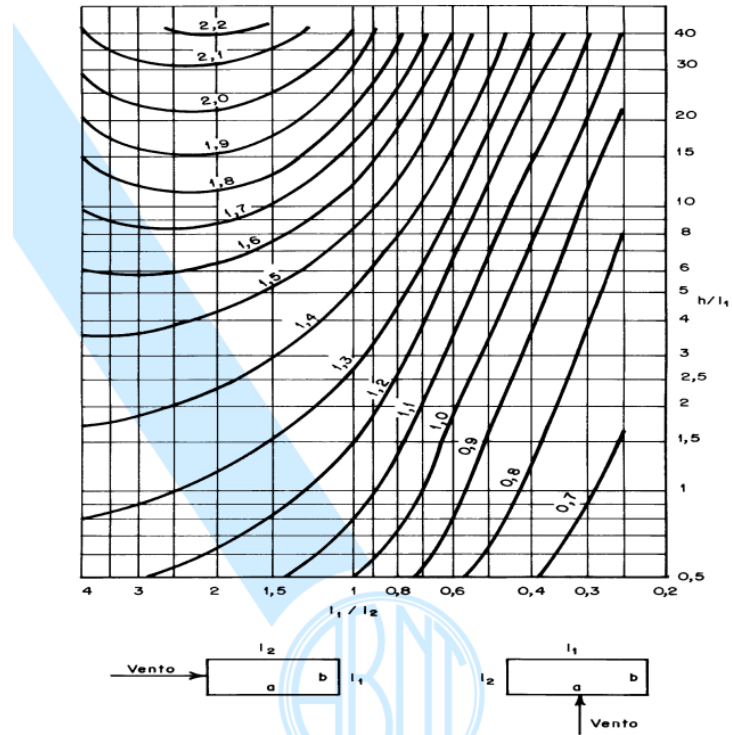


Figura 66 - Ábaco com valores de coeficiente de arrasto NBR 6123

CASO VENTO AGINDO NA MAIOR DIMENSÃO EM PLANTA = 20,28 M (Direção Y)								
$l_1/l_2$	1,24							
$H/l_1$	1,38							
$C_a$	1,20							
Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (N/m <sup>2</sup> )	b (m)	h (m)	Ae (m <sup>2</sup> )	Fhk (kN)	qh (kN/m)
1,5	0,81	28,41	494,88	20,28	3	60,84	36,13	12,04
4,5	0,87	30,56	572,42	20,28	3	60,84	41,79	13,93
7,5	0,91	31,89	623,30	20,28	3	60,84	45,51	15,17
10,5	0,94	32,87	662,11	20,28	1,5	30,42	24,17	16,11

Tabela 3: Tabela resumindo cálculo das forças de vento

CASO VENTO AGINDO NA MAIOR DIMENSÃO EM PLANTA = 16,40 M (Direção X)								
$l_1/l_2$	0,81							
$H/l_1$	1,12							
$C_a$	1,10							
Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (N/m <sup>2</sup> )	b (m)	h (m)	Ae (m <sup>2</sup> )	Fhk (kN)	qh (kN/m)
1,5	0,81	28,41	494,88	16,4	3	49,2	33,12	11,04
4,5	0,87	30,56	572,42	16,4	3	49,2	38,31	12,77
7,5	0,91	31,89	623,30	16,4	3	49,2	41,71	13,90
10,5	0,94	32,87	662,11	16,4	1,5	24,6	22,16	14,77

Tabela 4 - Tabela resumindo cálculo das forças de vento

### 3.2.3.2. Cargas permanentes:

Peso próprio dos revestimentos adotado foi de 100 kg/m<sup>2</sup> ;

Peso próprio da estrutura foi calculado automaticamente (cargas LC1 do SCIA Engineer);

Carga permanente da fachada de Light Steel Frame adotada foi de 50 kg/m<sup>2</sup>;

Carga permanente da escada metálica adotada foi de 300 kg/m<sup>2</sup>;

Carga permanente da caixa d'água de 2L:

$$V_{cx} = 2000 \text{ L} = 2 \text{ m}^3$$

$$\gamma_{\text{água}} = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$P_{cx} = 2 * 10 = 20 \text{ kN}$$

$$A_{base} = 2,865 \text{ m}^2 (\text{obtido no CAD})$$

$$q_{cx} = \frac{20}{2,865} = 7,05 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.3.3. Combinações:

Os valores dos coeficientes de ponderação  $\gamma_f$  e dos coeficientes de combinação  $\psi_0$  são estabelecidos pela Norma NBR 8800, para os vários casos de ações e são transcritos abaixo.

Tabela 5: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800

Combinações	Ações Permanentes (G) ( $\gamma_g$ ) <sup>1) 3)</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Pequena Variabilidade <sup>6)</sup>	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	Grande Variabilidade <sup>6)</sup>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
		Peso próprio de estruturas pré-moldadas		Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>		
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>1) 4)</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>2)</sup> (T)	Ação do vento (W)	Ações Truncadas <sup>5)</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação (L)		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Tabela 6: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800

AÇÕES		$\gamma$ <sup>5)</sup>			
		$\psi_{f,j}$ <sup>6)</sup>	$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>3)</sup>	$\psi_2$ <sup>4)</sup>
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>1)</sup>	$\psi_{L,L}$	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>2)</sup>	$\psi_{L,P}$	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (Ver Anexo B.5.1, da ABNT NBR 8800/2008)	$\psi_{L,S}$	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	$\psi_W$	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	$\psi_T$	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	$\psi_{L,PP}$	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamentos de pontes rolantes	$\psi_{L,VR}$	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	$\psi_{L,CP}$	0,7	0,6	0,4

Yf peso próprio = 1,25 (peso próprio de estrutura metálica)

Yf cargas de vento = 1,4 ,  $\psi_0 = 0,6$

Yf cargas de ocupação/sobrecarga = 1,5,  $\psi_0 = 0,7$

Dentro do software foram criadas diversas combinações de cargas ELU, variando entre o vento e a sobrecarga como variável principal. A lista das combinações será apresentada no tópico 3.2.4.4. No final, todas as combinações foram unidas em uma classe de resultado, para que após o processamento do modelo fosse obtido o pior caso de esforços. Para as combinações ELS, foi utilizado a ferramenta de criação de combinação automática do SCIA baseada na NBR 8800:2008.

### 3.2.4. Análise estrutural

#### 3.2.4.1. Concepção estrutural

O projeto é de uma estrutura metálica mista para uma edificação residencial de 4 pavimentos formada por duas unidades com dimensões em planta de 6,40m x 16,40m, unidos por um corredor comum de 3,00m x 7,48m, onde se encontra o elevador e a escada. O desnível entre pavimentos é de 3,00 m e acima do último pavimento se encontra uma laje técnica para instalação da caixa d'água. A concepção estrutural adotada pode ser visualizada na figura a seguir.

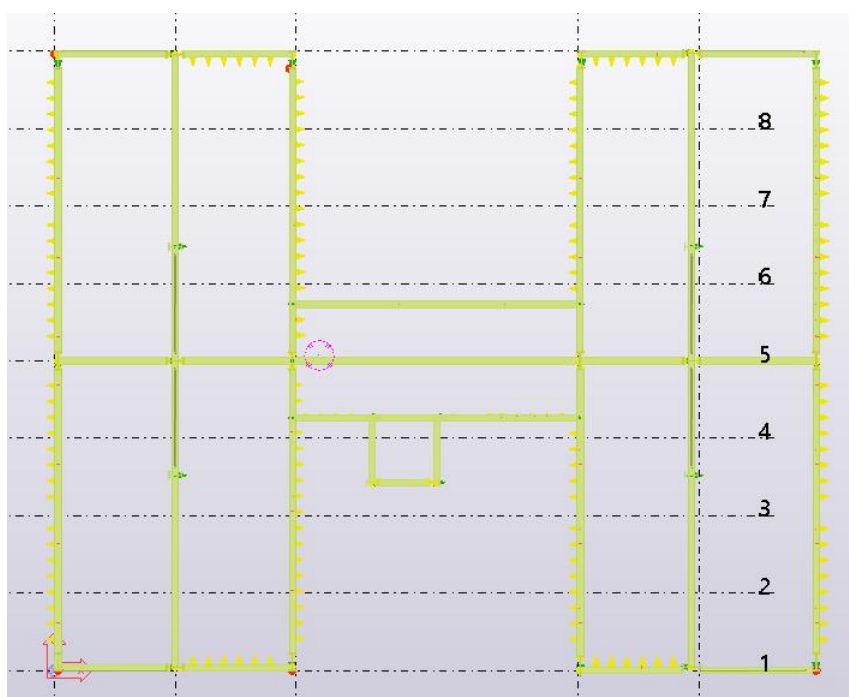
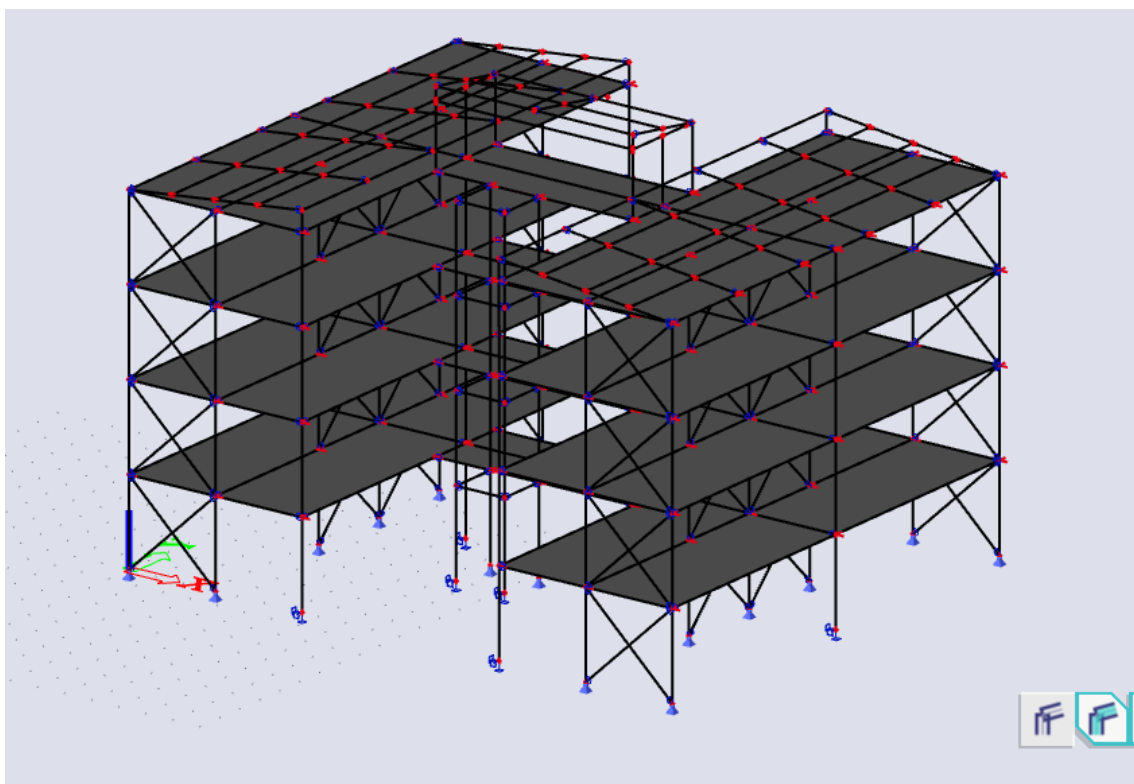


Figura 7 – Concepção Estrutural

Para determinar os esforços solicitantes na estrutura, criou-se um modelo no Software SCIA Engineer, considerando as ações e carregamentos descritas no item 3.2.3. A laje foi modelada como um elemento retangular maciço com área equivalente ao da laje steel deck apenas para garantir a mesma distribuição de

carga e o mesmo peso próprio. Todas as ligações entre os elementos foram consideradas articuladas, como por exemplo, viga-viga, viga-pilar, contraventamento-estrutura, reduzindo o custo da obra. Apenas em algumas bases dos pilares foi considerada ligação rígida para colaborar na estabilidade do prédio.


Para o travamento da estrutura, uma vez que não foram adotadas ligações rígidas, foi previsto contraventamento nas duas direções principais do vento, em ambos os lados do edifício, garantindo a estabilidade global.



*Figura 8 -7 Modelo Scia Engineer*

### 3.2.4.2. Propriedade dos elementos estruturais

Os perfis e propriedades dos elementos estruturais do projeto estão demonstrados nas Figuras 9 até a Figura 17.

Section Name
Contra
Display Color


Section Notes
Modify/Show Notes...

#### Dimensions

Outside vertical leg ( t3 )
0,127

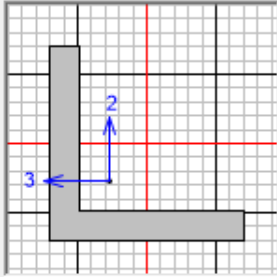
Outside horizontal leg ( t2 )
0,127

Horizontal leg thickness ( tf )
0,0191

Vertical leg thickness ( tw )
0,0191

Fillet Radius
0,

#### Section



#### Material

+
A36

#### Property Modifiers

Set Modifiers...

#### Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Figura 89 - Perfil contraventamento

Section Name
Contra

#### Properties

Cross-section (axial) area	4,487E-03	Section modulus about 3 axis (top)	7,438E-05
Moment of Inertia about 3 axis	6,566E-06	Section modulus about 3 axis (bottom)	1,696E-04
Moment of Inertia about 2 axis	6,566E-06	Section modulus about 2 axis (left)	1,696E-04
Product of Inertia about 2-3	3,817E-06	Section modulus about 2 axis (right)	7,438E-05
Torsional constant	5,130E-07	Warping Constant (Cw)	6,272E-10
Shear area in 2 direction	2,426E-03	Plastic modulus about 3 axis	1,341E-04
Shear area in 3 direction	2,426E-03	Plastic modulus about 2 axis	1,341E-04
CG offset in 3 direction	0,0248	Radius of Gyration about 3 axis	0,0383
CG offset in 2 direction	-0,0248	Radius of Gyration about 2 axis	0,0383
Shear Center Offset (x3)*	0,0277		
Shear Center Offset (x2)*	-0,0277		

\* Value is not used in analysis

Figura 910 - Propriedades contraventamento

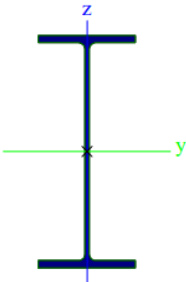
Nome	CS11	
Tipo	W460x74.0	
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	x	
		
A [m²]	9,4858e-03	
A <sub>y, z</sub> [m²]	5,2190e-03	4,1577e-03
I <sub>y, z</sub> [m⁴]	3,3415e-04	1,6609e-05
I <sub>w</sub> [m⁶], t [m⁴]	8,1142e-07	5,2970e-07
W <sub>el y, z</sub> [m³]	1,4624e-03	1,7483e-04
W <sub>pl y, z</sub> [m³]	1,6574e-03	2,7128e-04
d <sub>y, z</sub> [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	95	228
α [deg]	0,00	
A <sub>L, D</sub> [m²/m]	1,6353e+00	1,6353e+00
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	411147,69	411147,69
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	67282,38	67282,38

Figura 11 - Propriedades Perfil W Pilar de extremidade e pilar central



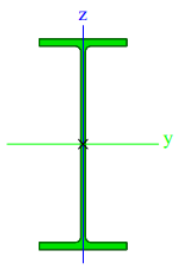
Nome	CS3	
Tipo	W460x82.0	
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	x	
		
A [m <sup>2</sup> ]	1,0473e-02	
A <sub>y, z</sub> [m <sup>2</sup> ]	5,9139e-03	4,5910e-03
I <sub>y, z</sub> [m <sup>4</sup> ]	3,7157e-04	1,8623e-05
I <sub>w</sub> [m <sup>6</sup> ], t [m <sup>4</sup> ]	9,1575e-07	7,0624e-07
W <sub>el</sub> y, z [m <sup>3</sup> ]	1,6155e-03	1,9501e-04
W <sub>pl</sub> y, z [m <sup>3</sup> ]	1,8364e-03	3,0328e-04
d y, z [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	96	230
α [deg]	0,00	
A <sub>L, D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	1,6435e+00	1,6435e+00
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	455537,93	455537,93
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	75218,31	75218,31

Figura 12 - Propriedades Perfil W Pilar de canto

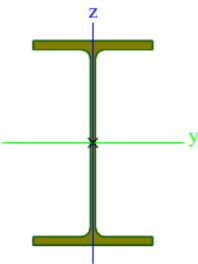
Nome	CS12	
Tipo	W360x72.0	
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	x	
		
A [m²]	9,1312e-03	
A <sub>y, z</sub> [m²]	5,8782e-03	3,0768e-03
I <sub>y, z</sub> [m⁴]	2,0169e-04	2,1398e-05
I <sub>w</sub> [m⁶], t [m⁴]	5,9908e-07	6,1182e-07
W <sub>el</sub> y, z [m³]	1,1525e-03	2,0979e-04
W <sub>pl</sub> y, z [m³]	1,2859e-03	3,2185e-04
d y, z [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	102	175
α [deg]	0,00	
A <sub>L, D</sub> [m²/m]	1,4712e+00	1,4712e+00
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	319050,02	319050,02
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	79827,60	79827,60

Figura 1013 - Propriedades Perfil W demais pilares

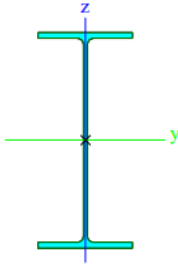
Nome	CS4		
Tipo	W410x53.0		
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006		
Item material	A36		
Fabricação	laminado		
Use análise 2D MEF	x		
			
A [m²]	6,8414e-03		
A <sub>y, z</sub> [m²]	3,6792e-03	3,0493e-03	
I <sub>y, z</sub> [m⁴]	1,8734e-04	1,0093e-05	
I <sub>w</sub> [m⁶], t [m⁴]	3,8719e-07	2,3381e-07	
W <sub>el</sub> y, z [m³]	9,2973e-04	1,1404e-04	
W <sub>pl</sub> y, z [m³]	1,0522e-03	1,7690e-04	
d y, z [mm]	0	0	
c YUCS, ZUCS [mm]	88	202	
α [deg]	0,00		
A <sub>L, D</sub> [m²/m]	1,4783e+00	1,4783e+00	
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	261044,10	261044,10	
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	43875,46	43875,46	

Figura 1114 - Propriedades Perfil W Vigas Principais

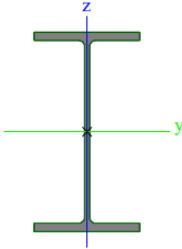
Nome	CS5	
Tipo	W310x52.0	
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	✕	
<div></div>		
A [m²]	6,7034e-03	
A <sub>y, z</sub> [m²]	4,1382e-03	2,4374e-03
I <sub>y, z</sub> [m⁴]	1,1909e-04	1,0260e-05
I <sub>w</sub> [m⁶], t [m⁴]	2,3642e-07	3,1808e-07
W <sub>el y, z</sub> [m³]	7,5138e-04	1,2288e-04
W <sub>pl y, z</sub> [m³]	8,4245e-04	1,8878e-04
d y, z [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	84	159
α [deg]	0,00	
A <sub>L, D</sub> [m²/m]	1,2696e+00	1,2696e+00
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	208978,47	208978,47
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	46820,78	46820,78

Figura 1215 - Propriedades Perfil W Vigas Secundárias

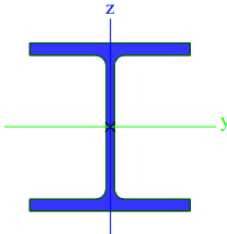
Nome	CS9	
Tipo	W150x37.1	
Descrição de origem	PERFIS Gerdau Açominas / Edition 2006	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	✖	
		
A [m <sup>2</sup> ]	4,7831e-03	
A <sub>y, z</sub> [m <sup>2</sup> ]	3,4158e-03	1,3500e-03
I <sub>y, z</sub> [m <sup>4</sup> ]	2,2438e-05	7,0709e-06
I <sub>w</sub> [m <sup>6</sup> ], t [m <sup>4</sup> ]	3,9931e-08	2,0582e-07
W <sub>el y, z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2,7701e-04	9,1830e-05
W <sub>pl y, z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3,1346e-04	1,4037e-04
d <sub>y, z</sub> [mm]	0	0
c YUCS, ZUCS [mm]	77	81
α [deg]	0,00	
A <sub>L, D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	9,0655e-01	9,0655e-01
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	77762,24	77762,24
M <sub>plz</sub> +, - [Nm]	34814,52	34814,52

Figura 1316 - Propriedades Perfil W Tesouras

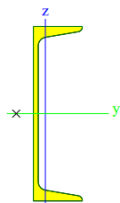
Nome	CS10	
Tipo	C8x11.5	
Descrição de origem	ArcelorMittal / Sales Programme / Version 2012-1	
Item material	A36	
Fabricação	laminado	
Use análise 2D MEF	x	
		
A [m²]	2,1800e-03	
A <sub>y</sub> , z [m²]	1,1004e-03	1,1339e-03
I <sub>y</sub> , z [m⁴]	1,3400e-05	5,3800e-07
I <sub>w</sub> [m⁶], t [m⁴]	4,2962e-09	5,8600e-08
W <sub>el</sub> y, z [m³]	1,3200e-04	1,2600e-05
W <sub>pl</sub> y, z [m³]	1,5600e-04	2,3896e-05
d y, z [mm]	-34	0
c YUCS, ZUCS [mm]	14	101
α [deg]	0,00	
A L, D [m²/m]	5,9824e-01	5,9824e-01
M <sub>ply</sub> +, - [Nm]	37922,12	37922,12
M <sub>pzy</sub> +, - [Nm]	5926,31	5926,31

Figura 1417 - Propriedades Perfil W Terças

### 3.2.4.3. Casos de carga:

De acordo com o item 3.2.3 os casos de cargas considerados no nosso modelo foram os mostrados na Figura 15:

#### Casos de carga

Nome	Descrição	Tipo de ação	Grupo de carga	Tipo de carga	Esp	Direção	Duração	Caso de carga mestre
*Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil*								
LC1	Peso próprio	Permanente	LG1	Peso próprio		-Z		
LC2	Sobrecarga	Variável	LG2	Estática	Padrão		Curto	Nenhum
LC3	Linear Viga	Permanente	LG1	Padrão				
LC4	Cobertura	Permanente	LG1	Padrão				
LC5	Vento +X	Variável	LG3	Estática	Padrão		Curto	Nenhum
LC6	Vento -X	Variável	LG3	Estática	Padrão		Curto	Nenhum
LC7	Vento +Y	Variável	LG3	Estática	Padrão		Curto	Nenhum
LC8	Vento -Y	Variável	LG3	Estática	Padrão		Curto	Nenhum
LC9	Caixa d'água/ Escada	Permanente	LG1	Padrão				

Figura 1518 - Casos de carga

### 3.2.4.4. Combinações de Carga

Com os casos de cargas demonstrados no item anterior, foram feitas as seguintes combinações ELU e ELS:

### Combinações

Nome	Tipo	Casos de carga	Coef. [-]
*Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão est.			
ELU - VX + S/C	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	0,750
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC5 - Vento +X	1,400
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - V-X + S/C	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	0,750
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC6 - Vento -X	1,400
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - VY + S/C	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	0,750
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC7 - Vento +Y	1,400
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - V-Y + S/C	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	0,750
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC8 - Vento -Y	1,400
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - S/C + VX	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	1,500
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC5 - Vento +X	0,840
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - S/C + V-X	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	1,500
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC6 - Vento -X	0,840
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - S/C + VY	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	1,500
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC7 - Vento +Y	0,840
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500
ELU - S/C + V-Y	Linear - última	LC1 - Peso próprio	1,250
		LC2 - Sobrecarga	1,500
		LC3 - Linear Viga	1,400
		LC4 - Cobertura	1,250
		LC8 - Vento -Y	0,840
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,500

Figura 1619 Combinação ELU

### Combinações

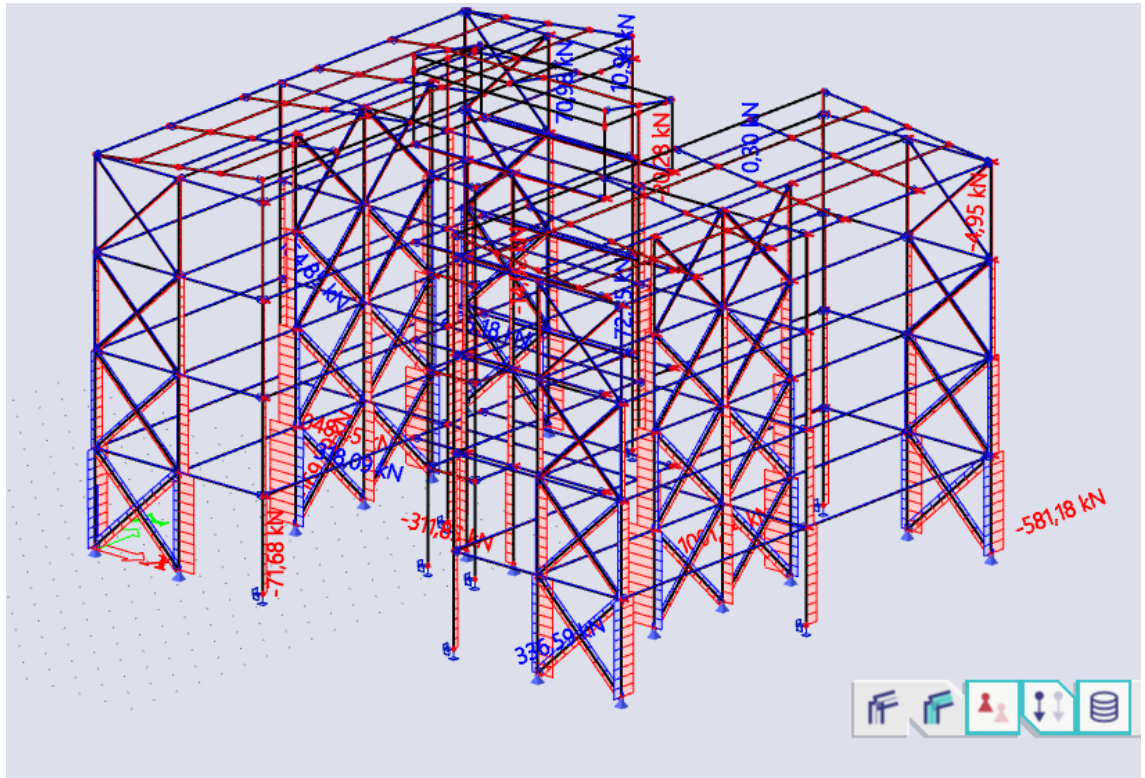
Nome	Tipo	Casos de carga	Coef. [-]
*Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão estudantil* *Versão est.			
ELS-Freq (auto)	Concreto - ELS - Frequente	LC1 - Peso próprio	1,000
		LC2 - Sobrecarga	1,000
		LC3 - Linear Viga	1,000
		LC4 - Cobertura	1,000
		LC5 - Vento +X	1,000
		LC6 - Vento -X	1,000
		LC7 - Vento +Y	1,000
		LC8 - Vento -Y	1,000
		LC9 - Caixa d'água/ Escada	1,000

Figura 1720 - Combinação ELS com Carga frequente

### 3.2.4.5. Esforços

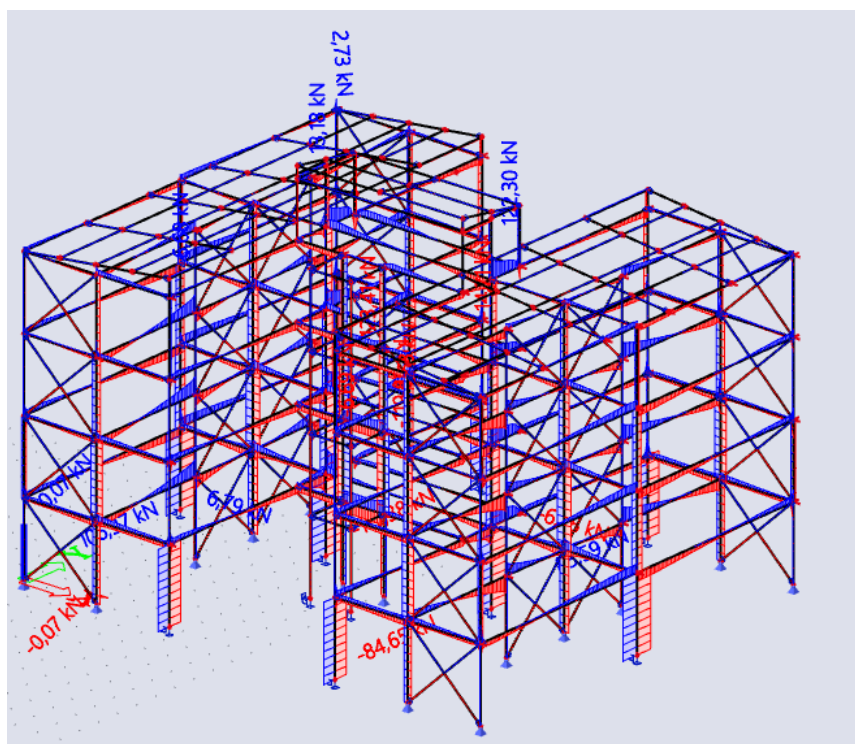
Os esforços analisados no edifício para a combinação ELU foram os de normal, cortante e de momento fletor conforme as Figuras abaixo.

Normal:



*Figura 1821 - Diagramas de Esforços Normais para combinações ELU*

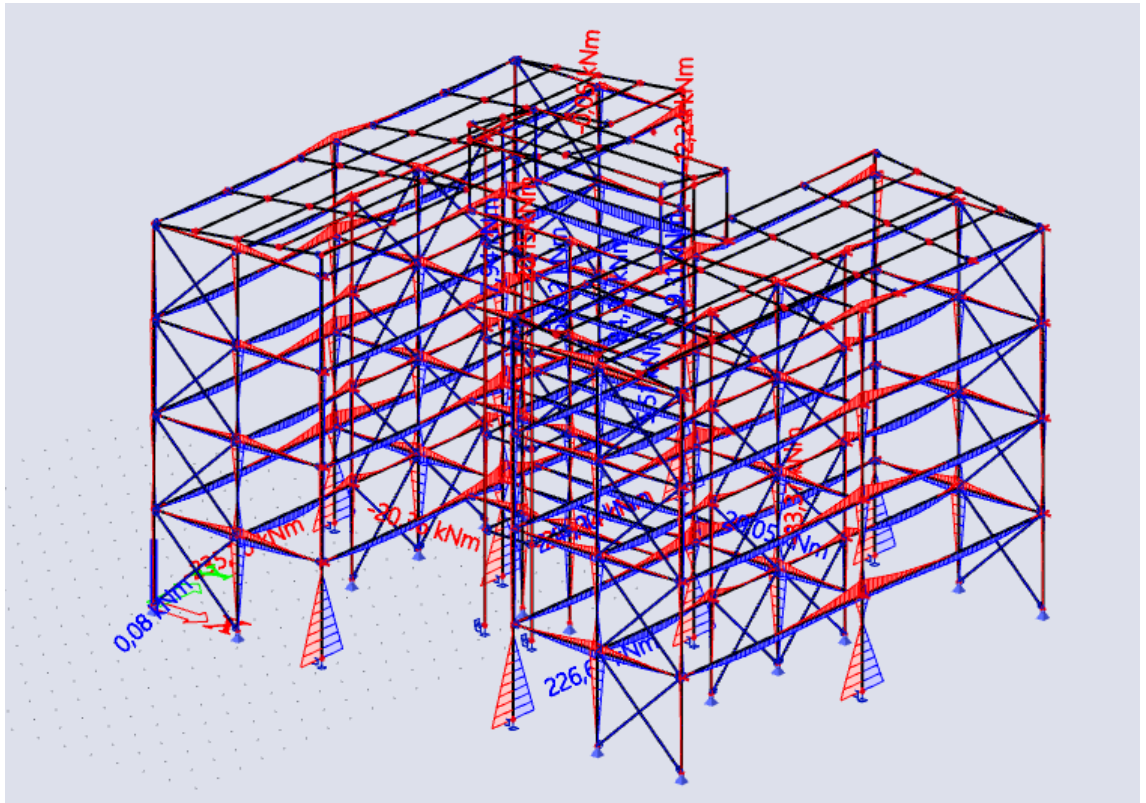
Cortante:



*Figura 1922 - Diagramas de Esforços Cortantes para combinações ELU*



Momento:



*Figura 2023 - Diagramas de Momento para combinação ELU*

### 3.2.4.6. Deslocamentos

O edifício analisado obteve os principais deslocamentos apresentados nas 24 a 27:

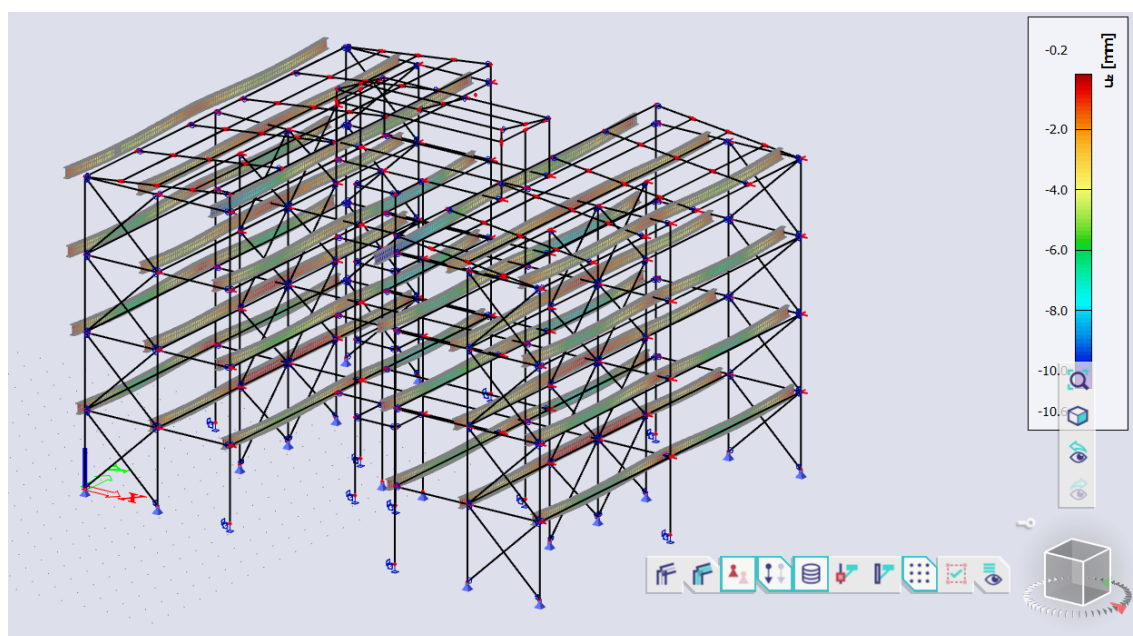


Figura 2124 - Deslocamentos verticais Vigas Principais

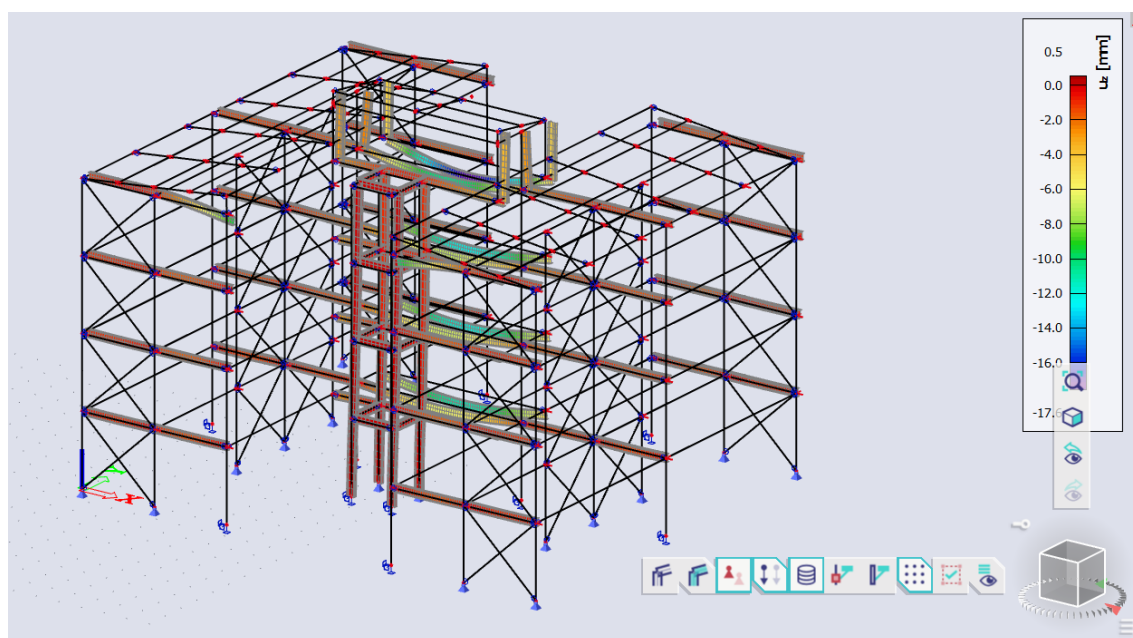


Figura 25 -22 Deslocamentos verticais Vigas Secundárias

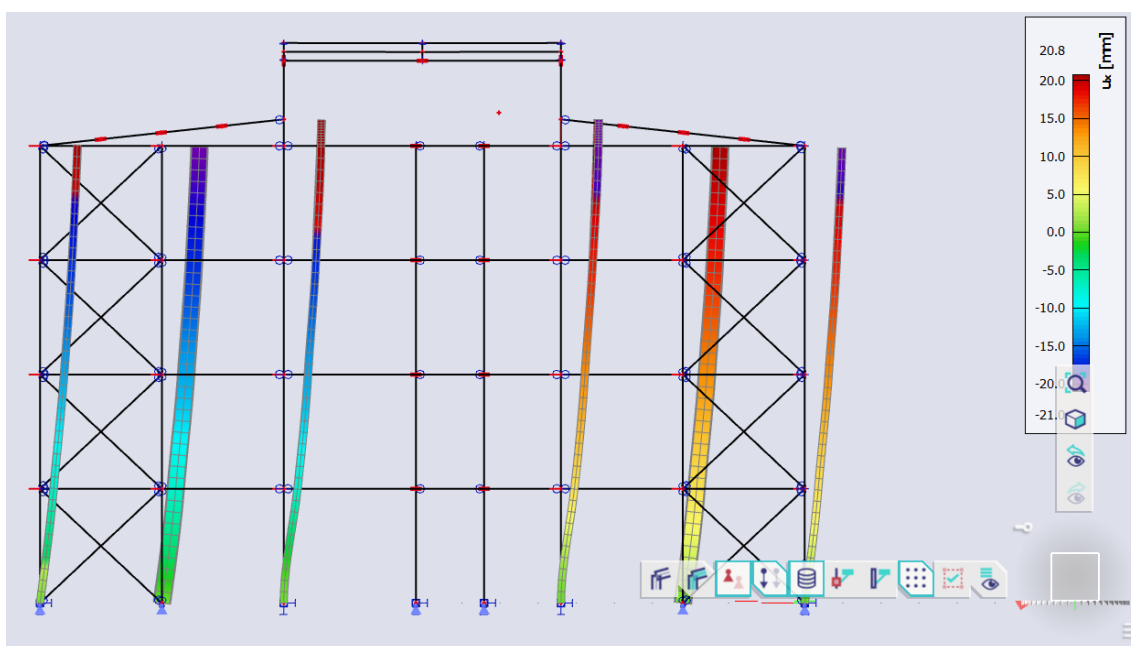


Figura 2326 - Deslocamento horizontal na direção X

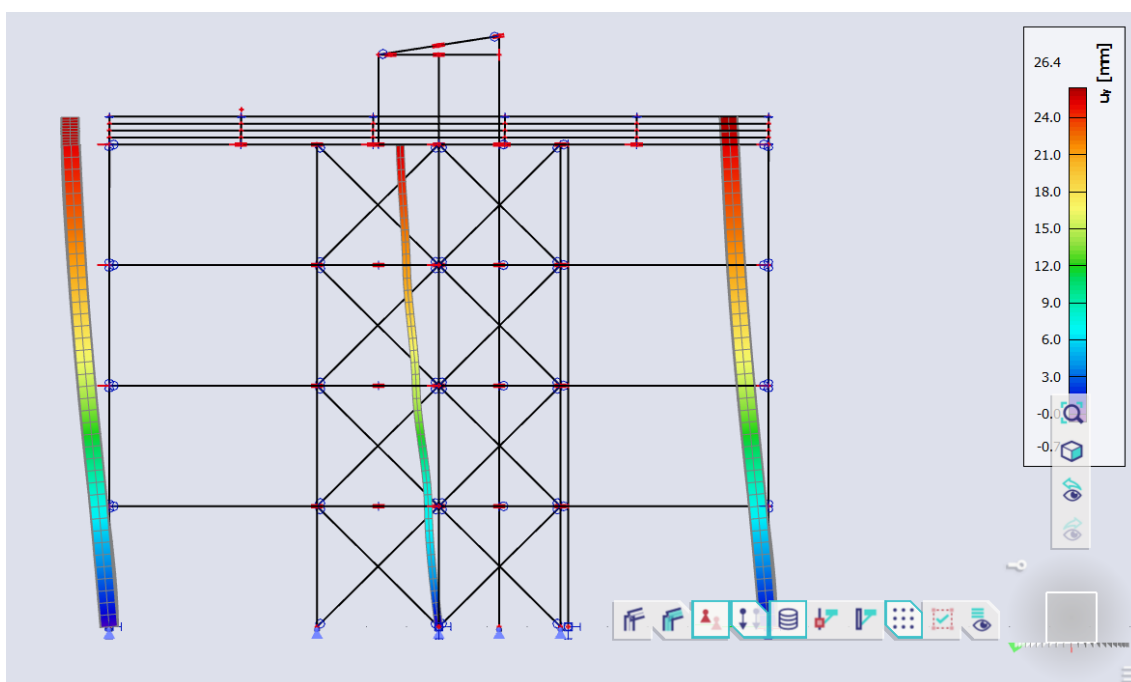


Figura 2724 - Deslocamento horizontal na direção Y

Nota-se que dos deslocamentos horizontais, o máximo valor obtido foi 26,4 mm, portanto para uma altura de 12,0 m do edifício, temos um deslocamento de aproximadamente  $H/454$ , inferior ao limite da norma NBR8800:2008 de  $H/400$ .

### 3.2.5. Dimensionamento dos elementos estruturais

#### 3.2.5.1. Pilas mais solicitado do pavimento térreo:

$$Nd = 1001,24 \text{ kN}$$

$$Msd = 236,90 \text{ kNm}$$

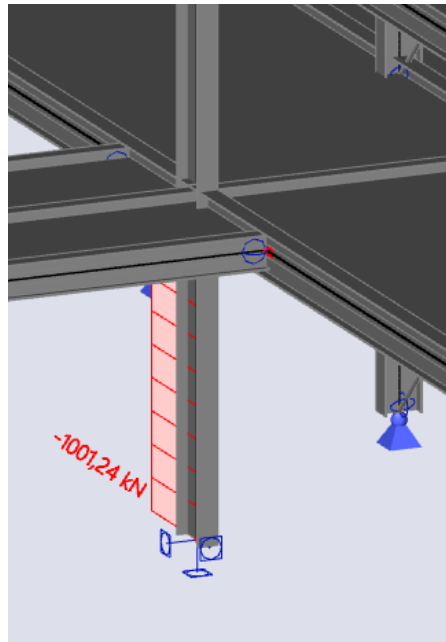


Figura 28 - Diagrama de normal do pilar mais solicitado do pavimento térreo.

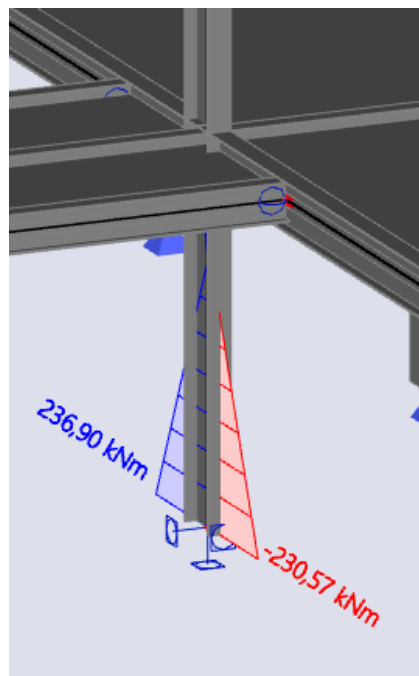


Figura 29 - Diagrama de momento do pilar mais solicitado do pavimento térreo.

Dados da seção de cálculo: Perfil W 460 x 74,0

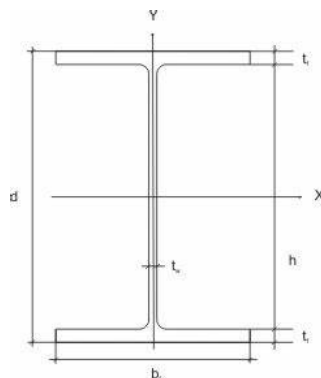


Figura 2530 - Perfil W 460 x 74

Geometria	
Formcode 1 - Seção I	
h [mm]	457
b [mm]	190
t [mm]	15
s [mm]	9
r [mm]	12
r1 [mm]	0
a [%]	0
W [mm]	0
wm [mm^2]	0

h - Altura  
b - Largura da mesa  
t - Espessura da mesa  
s - Espessura da alma  
r - Raio da mesa  
r1 - Raio da borda da mesa  
a - Inclinação da mesa  
W - Distância interna dos parafusos  
wm - Empenamento unitário na borda da mesa

Figura 2631 – Propriedades do perfil W 460 x 74

**Flexão:**

**Plastificação**

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{1657,4 * 25}{100} = 414,35 \text{ kNm}$$

$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{414,35}{1,1} = 376,68 \text{ kNm}$$

**FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{457 - 2 * 15}{9} = 47,4$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga não esbelta}$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 376,68 \text{ kNm}$$

**FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{190}{2 * 15} = 6,33$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 376,68 \text{ kNm}$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 3000 \text{ cm}$  (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{3000}{4,18} = 71,7$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y * \mathcal{F}}}{r_y * \mathcal{F} * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}},$$

Para o cálculo do  $\lambda_r$ , temos:

$$\mathcal{F} = \frac{1}{3} * (2b_f t_f^3 + h_w t_w^3) = \frac{1}{3} * (2 * 19,0 * 1,5^3 + 42,7 * 0,9^3) = 53,1$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W}{EF} = \frac{(25 - 0,3 * 25) * 1462,4}{20000 * 53,1} = 0,024$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{1862,3 * 53,1}}{4,18 * 53,1 * 0,024} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 811417,0 * 0,024^2}{1862,3}}} = 158,56$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$Mr = 0,7 * Wx * fy = \frac{0,7 * 1462,4 * 25}{100} = 255,92 \text{ kNm}$$

$$MRd_{FLT} = \frac{Cb}{1,1} * (Mpl - (Mpl - Mr) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{Mpl}{1,1}$$

$$\rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (414,35 - (414,35 - 255,92) * \frac{71,7 - 49,78}{158,56 - 49,78}) = 396,3 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{pilar} = 376,68 \text{ kNm} > Msd = 236,9 \text{ kNm}$$

### Compressão:

Flambagem local elementos AA

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{457 - 2 * 15}{9} = 47,4$$



$$\frac{b}{t}lim = 1,49 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,49 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 42,14$$

$$\frac{b}{t} > \frac{b}{t}lim$$

$$Qa = \frac{(A - (b - b_{ef}) * t)}{A} = \frac{(94,86 - (42,7 - 38,40) * 0,9)}{94,86} = 0,96,$$

$$\text{Sendo } b_{ef} = 1,92 * t * \sqrt{\frac{E}{\sigma}} * \left[ 1 - \frac{c}{\frac{b}{t}} * \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] = 1,92 * 0,9 * \sqrt{\frac{20000}{25}} *$$

$$\left[ 1 - \frac{0,34}{47,4} * \sqrt{\frac{20000}{25}} \right] = 38,40 \text{ cm}$$

Flambagem local elementos AL

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{190}{2 * 15} = 6,33$$

$$\frac{b}{t}lim = 0,56 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,84$$

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t}lim \rightarrow Qs = 1$$

$$Q = Qa * Qs = 0,96$$

Flambagem global

$$Ne_x = \frac{\pi^2 * E * I_x}{(Kl_x)^2} = \frac{\pi^2 * 20000 * 33415,0}{(0,8 * 300)^2} = 114.511,40 \text{ kN}$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 * E * I_y}{(Kl_y)^2} = \frac{\pi^2 * 20000 * 1161,0}{(0,8 * 300)^2} = 5.692,16 \text{ kN}$$

$$Ne_z = \left( \frac{1}{r_0^2} \right) * \left( \frac{\pi^2 * E * C_w}{(Kl_z)^2} + G * J \right)$$

$$= \left( \frac{1}{\sqrt{18,77^2 + 4,18^2}} \right) * \left( \frac{\pi^2 * 20000 * 811417,0}{(1 * 300)^2} + 7700 * 52,97 \right) = 90.002,66 \text{ kN}$$

Portanto eixo y é mais critico (menor Ne)

$$\lambda_y = \frac{Kl_y}{r_y} = \frac{0,8 * 300}{4,18} = 57,4 < 200 \rightarrow OK \text{ para ELS}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * Ag * f_y}{Ne}} = \sqrt{\frac{0,96 * 94,86 * 25}{5692,16}} = 0,63 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,63^2} = 0,85$$

portanto

$$NcRd = \frac{Q * \chi * Ag * f_y}{1,1} = \frac{0,96 * 0,85 * 94,86 * 25}{1,1} = 1759,2 \text{ kN} > Nsd = 1001,24 \text{ kN}$$

3.2.5.2. *Viga Principal do pavimento tipo:*

$$Msd = 164,66 \text{ kNm}$$

$$Vd = 144,29 \text{ kN}$$

Dados da seção de cálculo: Perfil W 410 x 53,0

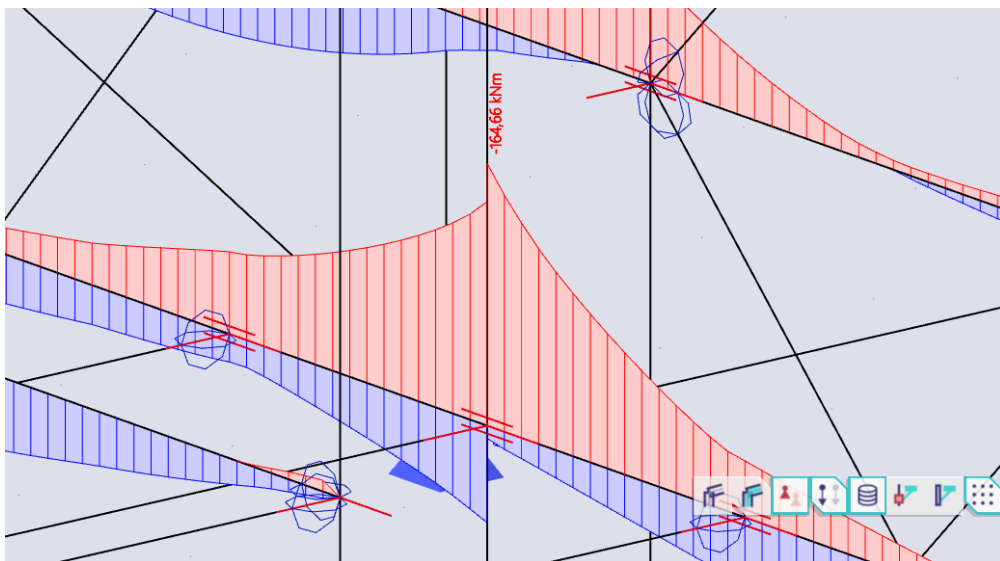


Figura 32 - Diagrama de momento da viga principal do pavimento tipo.

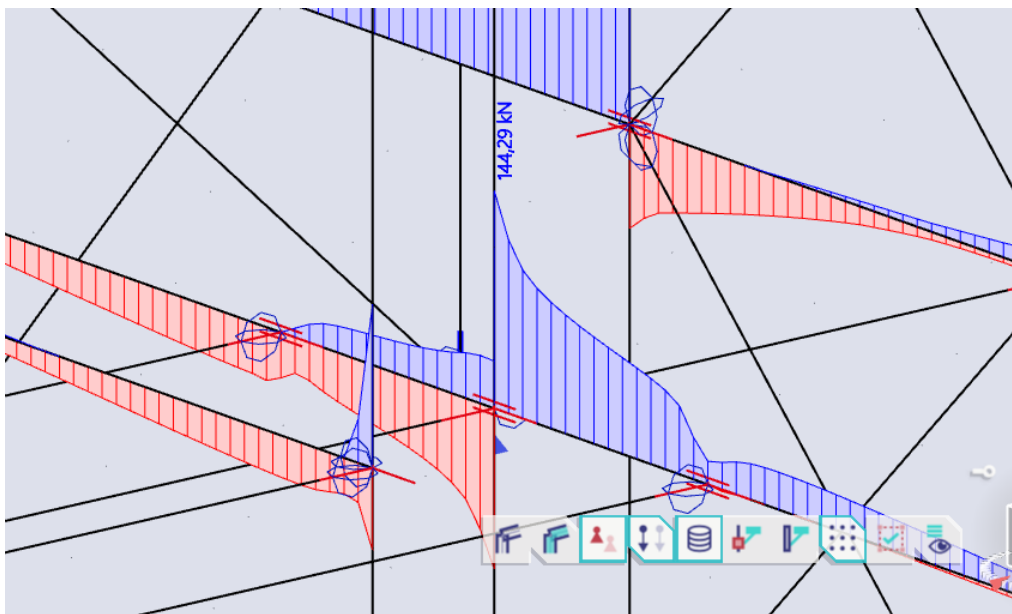


Figura 33 - Diagrama de cortante da viga principal do pavimento tipo.

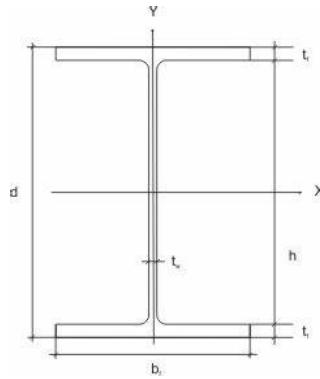


Figura 3427 - Perfil W 410 x 53,0

Geometria	
Formcode 1 - Seção I	
h [mm]	403
b [mm]	177
t [mm]	11
s [mm]	8
r [mm]	12
r1 [mm]	0
a [%]	0
W [mm]	0
wm [mm^2]	0

Figura 3528 - Propriedades perfil W 410 x 53,0

**Flexão:**

### Plastificação

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{1052,2 * 25}{100} = 265,05 \text{ kNm}$$

$$MRd_{\text{plastificação}} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{265,05}{1,1} = 239,14 \text{ kNm}$$

### FLA

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{40,3 - 2 * 1,1}{0,8} = 38,1$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga não esbelta}$$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 219,90 \text{ kNm}$$

### FLM

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{\frac{17,7}{2}}{1,1} = 8,05$$

$$\lambda_p = 1,12 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,12 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 31,68$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 219,90 \text{ kNm}$$

### **FLT**

Não há necessidade do dimensionamento devido ao travamento exercido pela laje steel deck.

$$MRd_{viga} = 219,9 \text{ kNm} > Msd = 164,66 \text{ kNm}$$

### **Cortante:**

a = 820 cm (sem enrijecedores intermediários, apenas nos apoios)

Portanto:

$$Kv = 5$$

$$Aw = h * tw = 40,3 * 0,8 = 32,24 \text{ cm}^2$$

$$Vpl = 0,60 * Aw * fy = 0,60 * 32,24 * 25 = 483,6 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{40,3 - 2 * 1,1}{0,8} = 38,1$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{Vpl}{1,1} = \frac{483,60}{1,1} = 439,64 \text{ kN} > Vsd = 144,29 \text{ kN}$$

### Valores limites para flechas nas vigas:

$$\text{Vigas de piso: } \frac{L}{350} = \frac{820}{350} = 2,34 \text{ cm}$$

$$\text{Vigas de cobertura: } \frac{L}{250} = \frac{820}{250} = 3,28 \text{ cm}$$

#### 3.2.5.3. Viga Secundário do pavimento tipo:

$$M_{sd} = 83,37 \text{ kNm}$$

$$V_d = 58,85 \text{ kN}$$

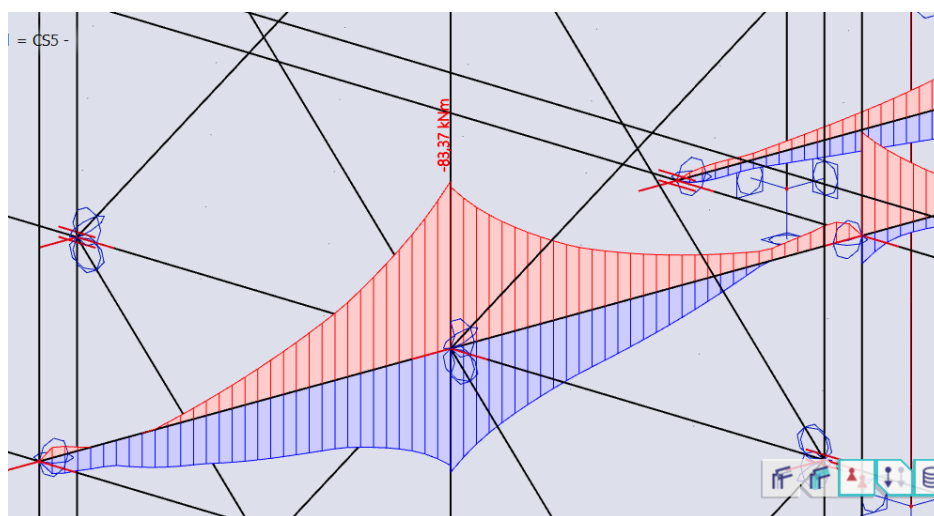


Figura 36 - Diagrama de momento da viga secundária do pavimento tipo.

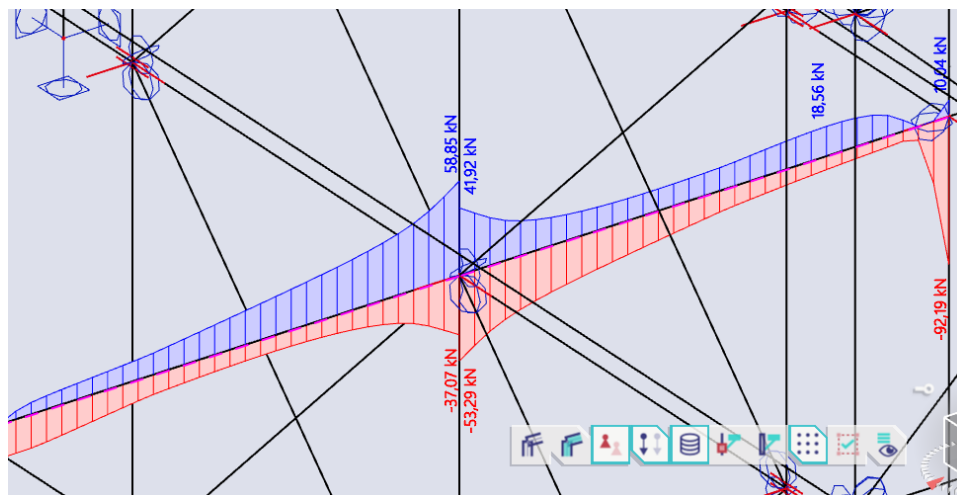


Figura 37 - Diagrama de cortante da viga secundária do pavimento tipo.

Dados da seção de cálculo: Perfil W 310 x 52,0

**Dados:**

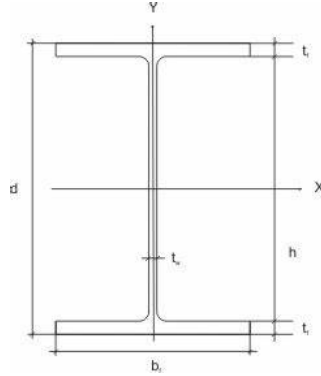


Figura 2938 - Perfil W 310 x 52,0

Geometria	
Formcode 1 - Seção I	
h [mm]	317
b [mm]	167
t [mm]	13
s [mm]	8
r [mm]	10
r1 [mm]	0
a [%]	0
W [mm]	0
wm [mm^2]	0

Figura 3039 - Propriedades perfil W 310 x 52,0

**Flexão:**

Plastificação

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{842,5 * 25}{100} = 210,62 \text{ kNm}$$



$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{210,62}{1,1} = 191,5 \text{ kNm}$$

### **FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{31,7 - 2 * 1,3}{0,8} = 36,37$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800 , viga no esbelta}$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 191,5 \text{ kNm}$$

### **FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{16,7}{2 * 1,3} = 6,42$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 191,5kNm$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 320$  cm (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{320}{3,91} = 81,48$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y * \mathcal{F}}}{r_y * \mathcal{F} * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}}$$

Para o cálculo do  $\lambda_r$ , temos:

$$\mathcal{F} = \frac{1}{3} * (2b_f t_f^3 + h_w t_w^3) = \frac{1}{3} * (2 * 16,7 * 1,3^3 + 29,1 * 0,8^3) = 29,4$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W}{EF} = \frac{(25 - 0,3 * 25) * 751,4}{20000 * 29,4} = 0,022$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{1026 * 29,4}}{3,91 * 29,4 * 0,022} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 236422 * 0,022^2}{1026}}} = 164,23$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$M_r = 0,7 * W_x * f_y = \frac{0,7 * 751,4 * 25}{100} = 131,5 \text{ kNm}$$

$$MRd_{FLT} = \frac{C_b}{1,1} * (M_{pl} - (M_{pl} - M_r) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{M_{pl}}{1,1}$$

$$\rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (191,5 - (191,5 - 131,5) * \frac{81,48 - 49,78}{164,23 - 49,78}) = 181,2 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 181,2 \text{ kNm} > M_{sd} = 83,37 \text{ kNm}$$

**Cortante:**

$$K_v = 5$$

$$A_w = d * t_w = 31,7 * 0,8 = 25,36 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_w * f_y = 0,60 * 25,36 * 25 = 380,4 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{31,7 - 2 * 1,3}{0,8} = 36,37$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{V_{pl}}{1,1} = \frac{380,4}{1,1} = 345,8 \text{ kN} > V_{sd} = 58,85 \text{ kN}$$

#### 3.2.5.4. Viga da Escada:

$$M_{sd} = 39,07 \text{ kNm}$$

$$V_d = 125,13 \text{ kN}$$

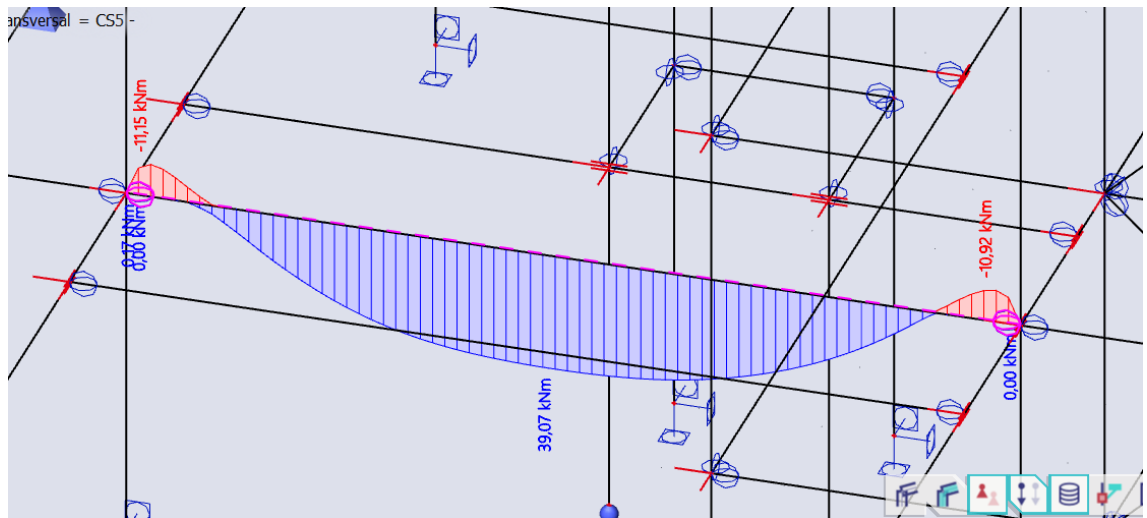


Figura 40 – Diagrama de momento da viga da escada

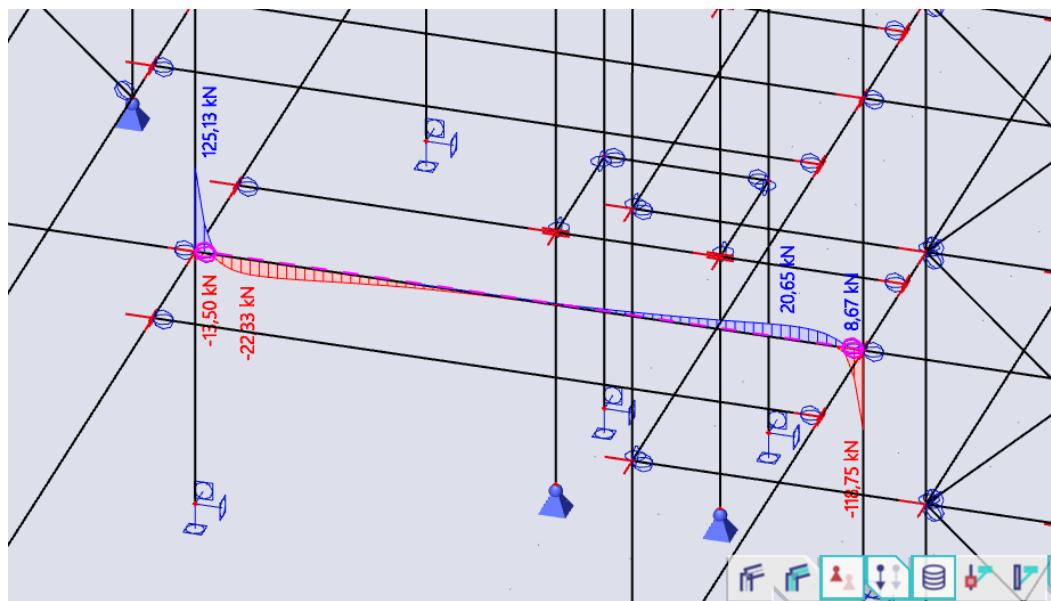


Figura 41 – Diagrama de cortante da viga da escada

Dados da seção de cálculo: Perfil W 310 x 52,0

**Dados:**

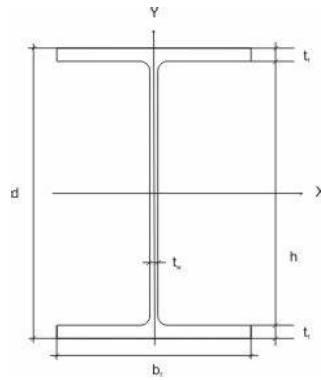


Figura 3142 - Perfil W 310 x 52,0

Geometria	
Formcode	1 - Seção I
h [mm]	317
b [mm]	167
t [mm]	13
s [mm]	8
r [mm]	10
r1 [mm]	0
a [%]	0
W [mm]	0
wm [mm^2]	0

Figura 3243 - Propriedades perfil W 310 x 52,0

**Flexão:**

*Plastificação*

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{842,5 * 25}{100} = 210,62 \text{ kNm}$$

$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{210,62}{1,1} = 191,5 \text{ kNm}$$

### **FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{31,7 - 2 * 1,3}{0,8} = 36,37$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga no esbelta}$$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 191,5 \text{ kNm}$$

### **FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{16,7}{2 * 1,3} = 6,42$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 191,5 kNm$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 748$  cm (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{748}{3,91} = 191,3$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y * \mathcal{F}}}{r_y * \mathcal{F} * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}}$$

Para o cálculo do  $\lambda_r$ , temos:

$$\mathcal{F} = \frac{1}{3} * (2b_f t_f^3 + h_w t_w^3) = \frac{1}{3} * (2 * 16,7 * 1,3^3 + 29,1 * 0,8^3) = 29,4$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W}{E\mathcal{F}} = \frac{(25 - 0,3 * 25) * 751,4}{20000 * 29,4} = 0,022$$

$$\lambda r = \frac{1,38\sqrt{1026 * 29,4}}{3,91 * 29,4 * 0,022} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 236422 * 0,022^2}{1026}}} = 164,23$$

$$\lambda > \lambda r$$

$$\begin{aligned} Mr &= C_b * \frac{\pi^2 * E * I_y}{l_b^2} * \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left( 1 + 0,039 * \mathcal{F} * \frac{l_b^2}{C_w} \right)} \\ &= 1,14 * \frac{\pi^2 * 20000 * 1026}{748^2} * \sqrt{\frac{236422}{1026} \left( 1 + 0,039 * 29,4 * \frac{748^2}{236422} \right)} \end{aligned}$$

$$Mr = 12070,9 \text{ kNcm} = 120,7 \text{ kNm}$$

$$MRd = \frac{120,7}{1,1} = 109,7 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 109,7 \text{ kNm} > Msd = 39,07 \text{ kNm}$$

**Cortante:**

$$Kv = 5$$

$$Aw = d * tw = 31,7 * 0,8 = 25,36 \text{ cm}^2$$

$$Vpl = 0,60 * Aw * fy = 0,60 * 25,36 * 25 = 380,4 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{31,7 - 2 * 1,3}{0,8} = 36,37$$

$$\lambda p = 1,10 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$



$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{V_{pl}}{1,1} = \frac{380,4}{1,1} = 345,8 \text{ kN} > V_{sd} = 125,13 \text{ kN}$$

3.2.5.5. Tesoura da Cobertura:

$$M_{sd} = 5,51 \text{ kNm}$$

$$V_d = 3,63 \text{ kN}$$

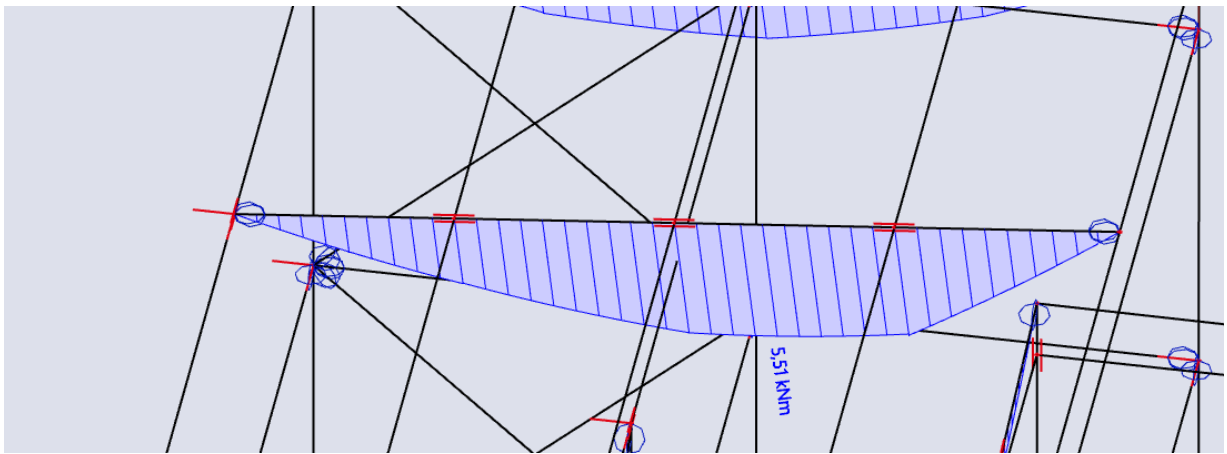


Figura 44 - Diagrama de momento da tesoura da cobertura.

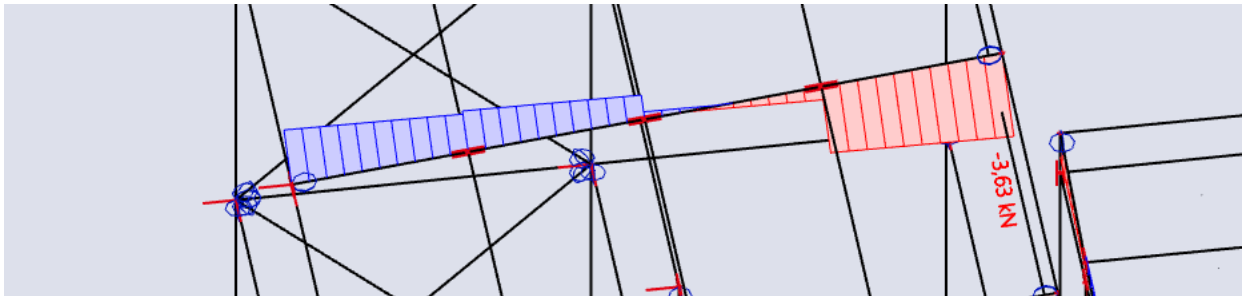


Figura 45 - Diagrama de cortante da tesoura da cobertura.

Dados da seção de cálculo: Perfil W 310 x 52,0

**Dados:**

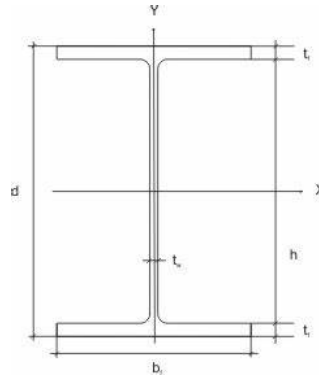


Figura 3346 - Perfil W 310 x 52,0

Geometria	
Formcode 1 - Seção I	
h [mm]	162
b [mm]	154
t [mm]	12
s [mm]	8
r [mm]	10
r1 [mm]	0
a [%]	0
W [mm]	0
wm [mm^2]	0

Figura 47 - Propriedades perfil W 310 x 52,0

**Flexão:**

Plastificação

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{313,5 * 25}{100} = 78,38 \text{ kNm}$$

$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{78,38}{1,1} = 71,25 \text{ kNm}$$

### **FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{16,2 - 2 * 1,2}{0,8} = 17,25$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga no esbelta}$$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 72,25 \text{ kNm}$$

### **FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{15,4}{2 * 1,2} = 6,42$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 71,25 \text{ kNm}$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 648 \text{ cm}$  (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{648}{3,84} = 168,75$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y * \mathcal{F}}}{r_y * \mathcal{F} * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}}$$

Para o cálculo do  $\lambda_r$ , temos:

$$\mathcal{F} = \frac{1}{3} * (2b_f t_f^3 + h_w t_w^3) = \frac{1}{3} * (2 * 15,4 * 1,2^3 + 13,8 * 0,8^3) = 20,1$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W}{E\mathcal{F}} = \frac{(25 - 0,3 * 25) * 277,0}{20000 * 20,1} = 0,012$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{707,0 * 20,1}}{3,84 * 20,1 * 0,012} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 39930 * 0,012^2}{707}}} = 257,65$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$Mr = 0,7 * W_x * fy = \frac{0,7 * 277,0 * 25}{100} = 48,48 \text{ kNm}$$

$$MRd_{FLT} = \frac{Cb}{1,1} * (M_{pl} - (M_{pl} - Mr) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{M_{pl}}{1,1}$$

$$\rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (71,25 - (71,25 - 48,48) * \frac{168,75 - 49,78}{257,65 - 49,78}) = 60,3 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 60,3 \text{ kNm} > M_{sd} = 5,51 \text{ kNm}$$

**Cortante:**

$$K_v = 5$$

$$A_w = d * t_w = 16,2 * 0,8 = 12,96 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_w * fy = 0,60 * 12,96 * 25 = 194,4 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{16,2 - 2 * 1,2}{0,8} = 17,25$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{K_v * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{V_{pl}}{1,1} = \frac{194,4}{1,1} = 176,7 \text{ kN} > V_{sd} = 3,63 \text{ kN}$$

### 3.2.6. Dimensionamento dos elementos estruturais de contraventamento

Foi realizado um pré-dimensionamento das cantoneiras de acordo com valor limite de esbeltez a compressão para ELS. o maior comprimento das cantoneiras é mostrado na figura abaixo:

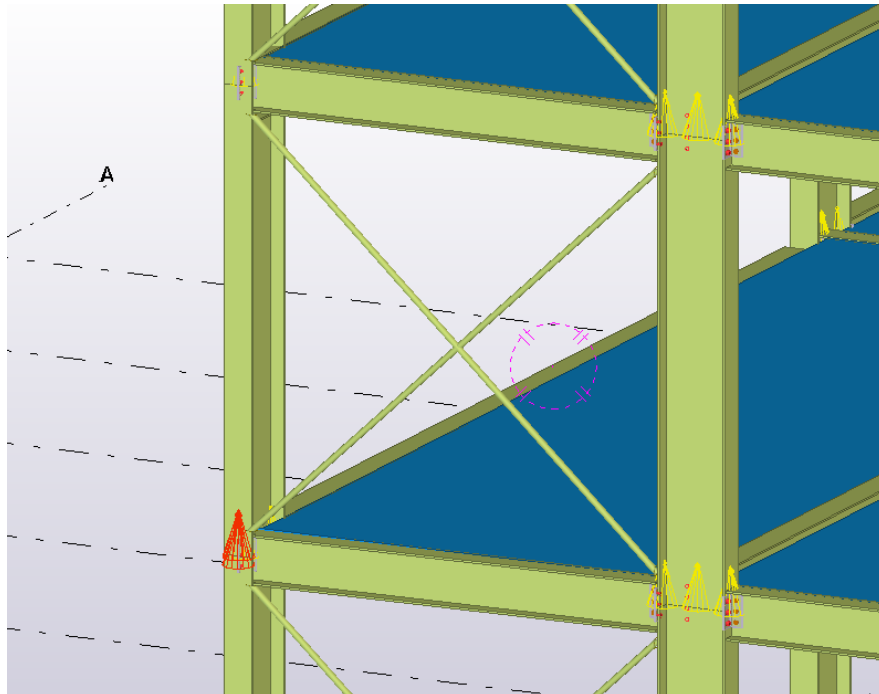


Figura 3448 - Contraventamento no TEKLA

$$N_{t,Sd} = 155,85 \text{ kN}$$

$$N_{c,Sd} = 163,01 \text{ kN}$$

Sendo 3 parafusos, temos:

$$F_{t,Sd} = \frac{155,85}{3} = 51,95 \text{ kN}$$

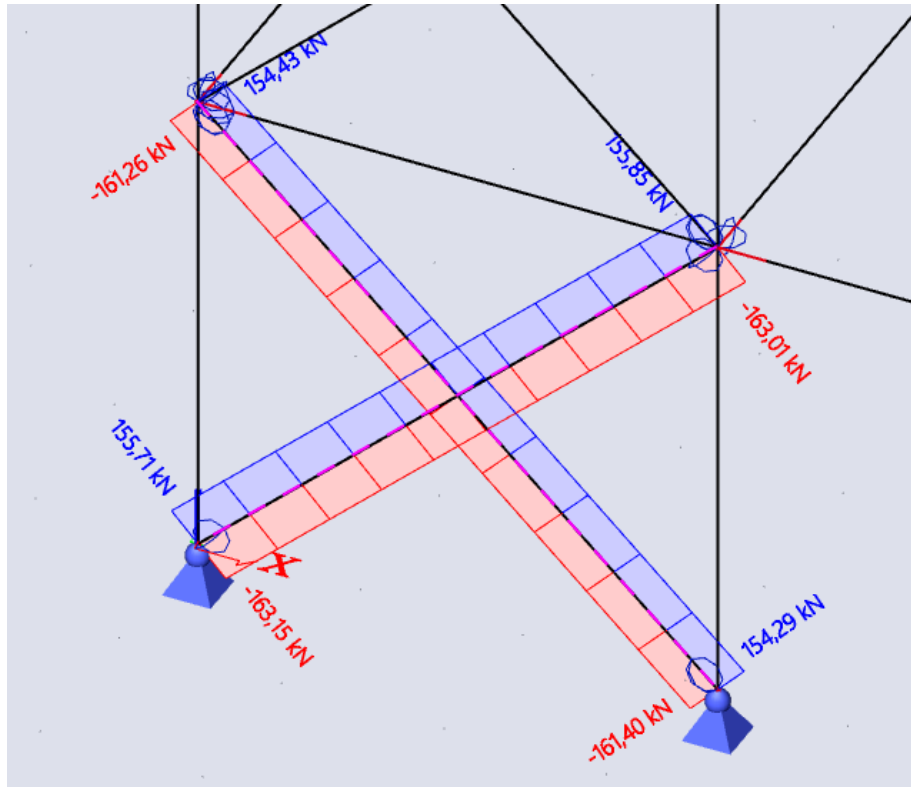


Figura 3549 – Diagrama de normal do contraventamento

$$L = \sqrt{3,8^2 + 8,2^2} = 9,03 \text{ m}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} \leq 200 \rightarrow \frac{903}{r_{\min}} \leq 200 \rightarrow r_{\min} = 4,52 \text{ cm}$$

foi escolhido a cantoneira de abas iguais L127x127x19,1, cujo raio de giração mínimo é:

$$r_{\min} = r_z = 2,46 \text{ cm}$$

## Tração:

Dados cantoneira

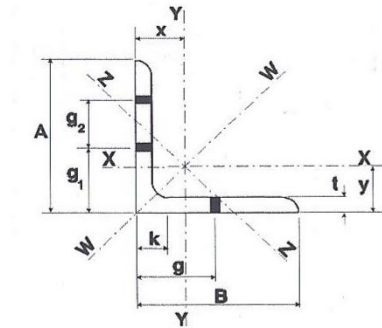


Figura 3650 - Cantoneira contraventamento

hx (mm)	127
hy (mm)	127
t (mm)	19,1
Ag (cm <sup>2</sup> )	44,76
Ix (cm <sup>4</sup> )	653
rx (cm <sup>3</sup> )	3,82
Iy (cm <sup>4</sup> )	653,00
ry (cm)	3,82
r min = rz (cm)	2,46
x = y (cm)	3,86

Tabela 7 - Propriedades cantoneiras

Resistência ao escoamento da sua seção bruta:

$$N_{t,Rd1} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{\alpha_1}} = \frac{44,76 \cdot 25}{1,10} = 1017,27 \text{ kN}$$



**Resistência à ruptura da seção líquida:**

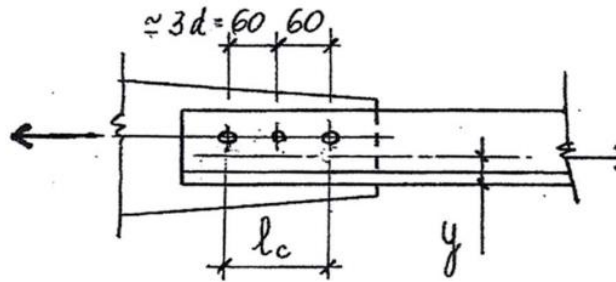


Figura 3751 - Resistencia à ruptura

$$N_{t,Rd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}}$$

Sendo:

$$A_e = A_n \cdot C_t$$

$$A_n = A_g - n \cdot (d + 3,5) = 4476 - 1 \cdot (20 + 3,5) = 4416,0 \text{ mm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{3,86}{12} = 0,68 \rightarrow 0,60 < C_t < 0,90$$

$$N_{t,Rd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{44,16 \cdot 0,68 \cdot 40}{1,35} = 889,74 \text{ kN}$$

Portanto:

$$N_{t,Rd} = 889,74 \text{ kN} > N_{sd} = 155,85 \text{ kN}$$

### **Cisalhamento no corpo do parafuso:**

Parafusos ASTM A325 1''

Resistência ao escoamento:  $f_{yb} = 635 \text{ MPa}$

Resistência à ruptura:  $f_{ub} = 825 \text{ MPa}$

Diâmetro do parafuso:  $d_b = 25 \text{ mm}$

Para a verificação do cisalhamento nos parafusos, tem-se:

$$F_{R,d} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}}{\gamma_{\alpha_2}}$$

$$F_{R,d1} = \frac{0,4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} \right) \cdot 82,5}{1,35} = 120 \text{ kN} > F_{t,Sd} = 51,95 \text{ kN}$$

Chapa:

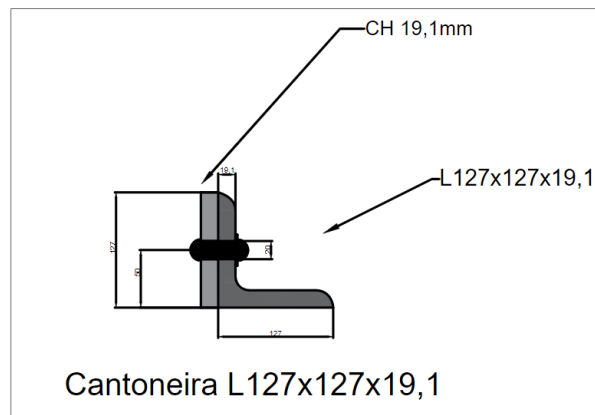


Figura 3852 Ligação dos elementos de contraventamento

rasgamento da chapa:

$$F_{c,Rd1} = \frac{1,5 * l_f * t * f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{1,5 * (12,7 - 5) * 1,91 * 40}{1,35} = 653,64 \text{ kN}$$

Esmagamento da chapa:

$$F_{c,Rd2} = \frac{3,0 * d_b * t * f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{3,0 * 2,5 * 1,91 * 40}{1,35} = 424,44 \text{ kN}$$

Portanto:

$$F_{c,Rd} = 424,44 \text{ kN} > N_{sd} = 155,85 \text{ kN}$$

**Compressão:**

$$\frac{b}{t} = \frac{127}{19,1} = 6,65$$

$$\frac{b}{t} \lim = 0,45 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,45 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t} \lim \rightarrow Q = 1$$

Flambagem global

$$\frac{L}{r_x} = \frac{903}{3,82} = 236,39 \rightarrow K L x = 32 * r_x + 1,25 * L x = 32 * 3,82 + 1,25 * 903$$

$$= 1250,99 \text{ cm}$$

$$N e_x = \frac{\pi^2 * E * I_x}{(K L x)^2} = \frac{\pi^2 * 20000 * 653}{(438,6)^2} = 670,0 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * A_g * f_y}{N e}} = \sqrt{\frac{1 * 44,76 * 25}{670,0}} = 1,29 < 1,5$$

$$\chi = 0,659^{1,29^2} = 0,5$$

Portanto:

$$N c R d = \frac{Q * \chi * A_g * f_y}{1,1} = \frac{1 * 0,5 * 44,76 * 25}{1,1} = 508,64 \text{ kN} > N s d = 163,01 \text{ kN}$$

### 3.2.7. Dimensionamento da base das colunas

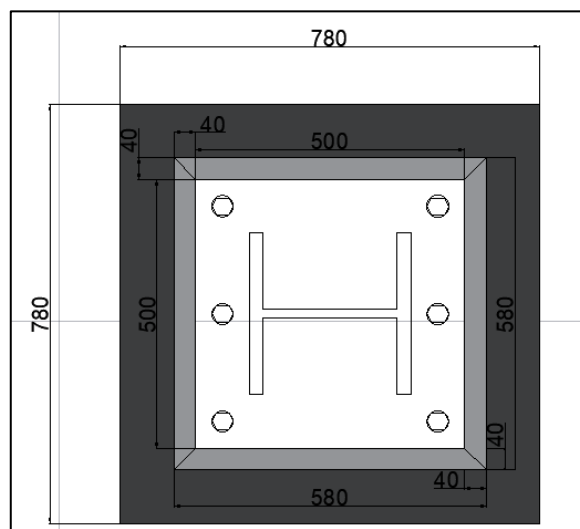


Figura 3953 - Bloco de concreto

#### Bloco de concreto

$$f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$$

$$A_1 = 58 * 58 = 3364 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 78 * 78 = 6084 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{fck}{\gamma_c * \gamma_n} * \sqrt{\frac{A2}{A1}} \leq fck \rightarrow \frac{25}{1,4 * 1,4} * \sqrt{\frac{3364}{6084}} = 9,48 MPa < 25 MPa$$

$$B = D = 78 \text{ cm}$$

$$m = \frac{D - 0,95 * d}{2} = \frac{78 - 0,95 * 30}{2} = 24,74 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0,8 * bf}{2} = \frac{78 - 0,8 * 30}{2} = 27 \text{ cm}$$

Portanto:

Admitindo uma normal solicitante de 100 kN (força reduzida considerando a contribuição dos enrijecedores que não serão considerados no cálculo)

$$\sigma_{c,sd} = \frac{N_{sd}}{A1} = \frac{100}{3364} = 0,0298 \frac{kN}{cm^2} = 0,298 MPa < 9,48 MPa \rightarrow OK!$$

$$t \geq 1,483 * n * \sqrt{\frac{\sigma_{c,sd}}{fy}} \geq 16 \text{ mm} \rightarrow 1,483 * 270 * \sqrt{\frac{0,298}{250}} = 13,87 \text{ mm}$$

$$< 16 \text{ mm}$$

adotado  $t = 25 \text{ mm}$

### 3.2.8. Concepção de todas as ligações

As ligações de vigas e entre viga e pilar serão parafusadas sem que haja a transferência entre momento fletor entre os elementos, desse modo os pórticos

formados serão articulados, sendo necessárias a adoção de contraventamentos para garantir a estabilidade.

A ligação das cantoneiras de contraventamento e pilares serão uma ligação parafusada utilizando chapas Gusset e nas ligações dos pilares e da fundação serão utilizados chumbadores mecânicos e enrijecedores transversais e esse perfil será soldado na placa de base. Todos os detalhes das ligações adotadas são apresentadas nas pranchas 05 e 06 desse projeto.

### 3.2.8.1 . Dimensionamento de ligação entre vigas

$$V_{sd} = 45,10 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 9,88 \text{ kN}$$

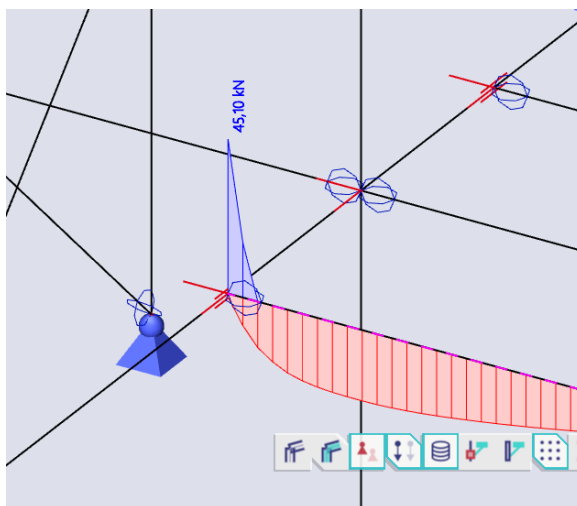


Figura 4054 – Diagrama de Cortante

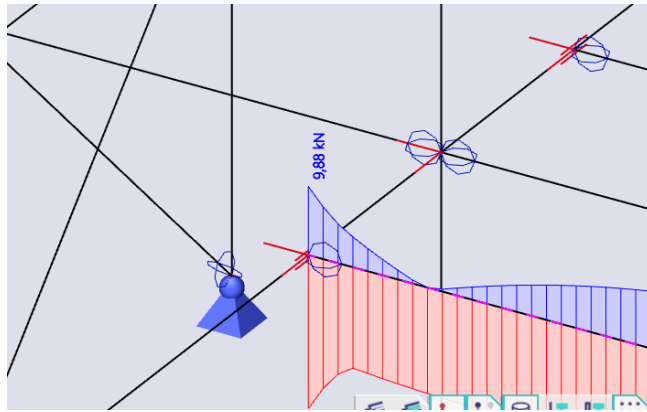


Figura 4155 – Diagrama de Normal

3 parafusos por ligação, portanto:

$$Fv, sd = \frac{45,1}{3} = 15,03 \text{ kN}$$

$$Ft, sd = \frac{9,88}{3} = 3,29 \text{ kN}$$

Sendo,

Parafusos ASTM A325 ¾”

Resistência ao escoamento:  $f_{yb} = 635 \text{ MPa}$

Resistência à ruptura:  $f_{ub} = 825 \text{ MPa}$

Diâmetro do parafuso:  $d_b = 19 \text{ mm}$

### Cisalhamento no corpo do parafuso:

No plano da rosca (a favor da segurança)

$$\begin{aligned} Fv, rd &= 0,4 * \frac{A_b * f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 0,4 * \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{82,5}{1,35} = 69,3 \text{ kN} > Fv, sd \\ &= 15,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

### **Tração no corpo do parafuso:**

Ruptura do fuste:

$$Ft, Rd1 = 0,75 * A_b * \frac{f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 0,75 * \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{82,5}{1,35} = 129,95 \text{ kN}$$

Escoamento do aço no fuste:

$$Ft, Rd1 = A_b * \frac{f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{63,5}{1,1} = 163,67 \text{ kN}$$

$$Ft, Rd = 129,95 \text{ kN} > Nsd = 3,29 \text{ kN}$$



### 3.2.8.1 . Dimensionamento de ligação flexível viga-pilar

$$V_{sd} = 102,48 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 14,90 \text{ kN}$$

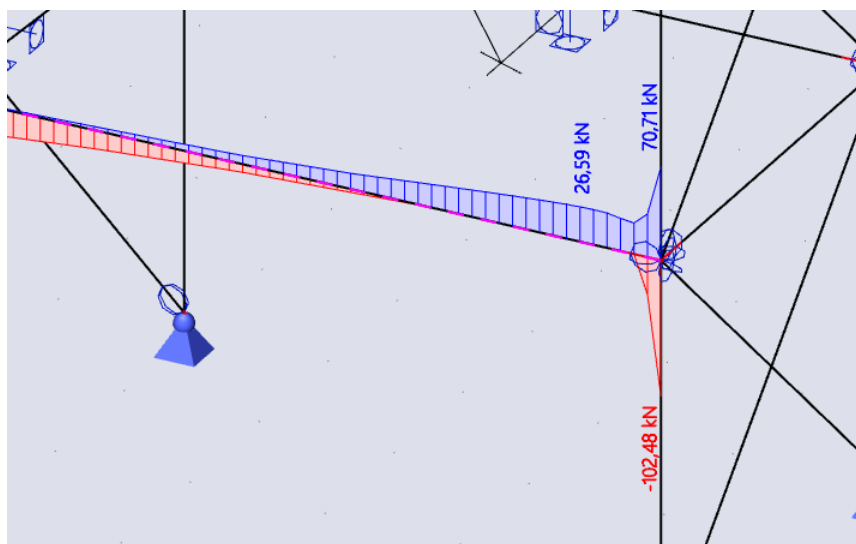


Figura 4256 – Diagrama de Cortante

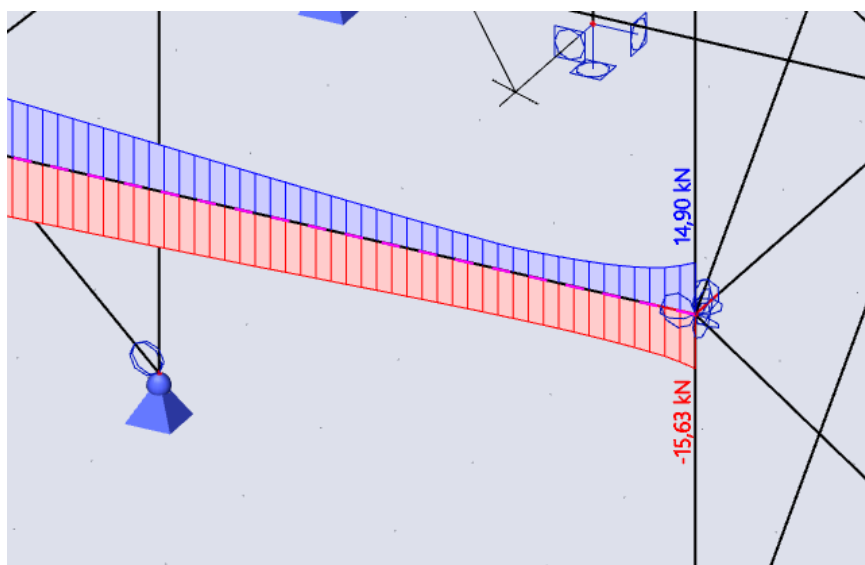


Figura 4357 – Diagrama de Normal

3 parafusos por ligação, portanto:

$$Fv, sd = \frac{102,48}{3} = 34,16 \text{ kN}$$

$$Ft, sd = \frac{14,90}{3} = 4,97 \text{ kN}$$

Sendo,

Parafusos ASTM A325 ¾"

Resistência ao escoamento:  $f_{yb} = 635 \text{ MPa}$

Resistência à ruptura:  $f_{ub} = 825 \text{ MPa}$

Diâmetro do parafuso:  $d_b = 19 \text{ mm}$

### **Cisalhamento no corpo do parafuso:**

No plano da rosca (a favor da segurança)

$$\begin{aligned} Fv, rd &= 0,4 * \frac{A_b * f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 0,4 * \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{82,5}{1,35} = 69,3 \text{ kN} > Fv, sd \\ &= 34,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

### **Tração no corpo do parafuso:**

Ruptura do fuste:

$$Ft, Rd1 = 0,75 * A_b * \frac{f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 0,75 * \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{82,5}{1,35} = 129,95 \text{ kN}$$

Escoamento do aço no fuste:

$$Ft, Rd1 = A_b * \frac{f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \left( \pi * \frac{1,9^2}{4} \right) * \frac{63,5}{1,1} = 163,67 \text{ kN}$$

$$Ft, Rd = 129,95 \text{ kN} > Nsd = 4,97 \text{ kN}$$

### 3.2.9. Esforços nas fundações

Os esforços resultantes nas fundações são descritos na tabela abaixo. A localização dos pilares numerados em planta pode ser obtida nas prancha 01 e 02.

Tabela 8: Tabela de esforços na fundação

Pilar	Carregamento	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
P1	Permanente	-82,96	0	0
	Sobrecarga	-60,38	0	0
	Vento X	313,14	0	0
	Vento Y	-27,03	0	0
P2	Permanente	-109,54	0	0
	Sobrecarga	-97,87	0	0
	Vento X	-263,03	0	0
	Vento Y	-6,33	0	0
P3	Permanente	-89,09	-1,06	-0,15
	Sobrecarga	-57,89	0	0
	Vento X	-50,29	0	0
	Vento Y	-19,58	0	0
P4	Permanente	-88,51	-1,02	0,13
	Sobrecarga	-57,56	0	0
	Vento X	49,6	0	0
	Vento Y	-4,71	0	0
P5	Permanente	-110,06	0	0
	Sobrecarga	-98,87	0	0
	Vento X	260,06	0	0
	Vento Y	-7,42	0	0
P6	Permanente	-83,28	0	0
	Sobrecarga	-60,48	0	0
	Vento X	-310,02	0	0
	Vento Y	-29,43	0	0
P7	Permanente	-228,94	0,01	1,38
	Sobrecarga	-241,09	-0,02	1,87
	Vento X	-6,32	-15,09	0,03
	Vento Y	-420,73	-0,24	-8,99
P8	Permanente	-226,44	-0,05	1,32
	Sobrecarga	-238,59	-0,01	1,79
	Vento X	4,29	-14,51	-0,06
	Vento Y	-418,05	0,36	-9,21
P9	Permanente	-176,02	-2,34	0,14
	Sobrecarga	-149,36	-1,48	0,2
	Vento X	54,97	-2,6	-12,51
	Vento Y	0,33	-181	-0,02
P10	Permanente	-145,15	0	0
	Sobrecarga	-143,01	0	0
	Vento X	6,45	0	0
	Vento Y	3,38	0	0
P11	Permanente	-377,65	2,71	0,46
	Sobrecarga	-259,68	1,79	0,27
	Vento X	-7,84	1,67	-13,12
	Vento Y	-54,39	-187,93	0,24
P12	Permanente	-413	1,89	-0,49
	Sobrecarga	-285,6	0,97	-0,29
	Vento X	27,89	-1	-13,05
	Vento Y	-25,07	-186,13	-0,22
P13	Permanente	-145,82	0	0
	Sobrecarga	-143,52	0	0
	Vento X	-4,35	0	0
	Vento Y	2,78	0	0

P14	Permanente	-175,26	-2,02	-0,14
	Sobrecarga	-148,76	-1,12	-0,2
	Vento X	-55,22	2,19	-12,33
	Vento Y	-0,53	-181,07	-0,01
P15	Permanente	-98,4	-1,93	1,25
	Sobrecarga	-64,75	-2,18	1
	Vento X	66,01	-36,49	-0,01
	Vento Y	55,55	6,58	-1,06
P16	Permanente	-103,02	1,87	1,66
	Sobrecarga	-65,28	1,88	1,31
	Vento X	-91,42	-34,88	0,09
	Vento Y	26,39	-3,68	-0,86
P17	Permanente	-208,97	0	-1,51
	Sobrecarga	-227,88	-0,05	-1,95
	Vento X	3,57	-14,96	-0,16
	Vento Y	422,24	0,41	-9,04
P18	Permanente	-8,27	0	0,02
	Sobrecarga	0	0	0,01
	Vento X	0	0,04	0,01
	Vento Y	0	0	-1,2
P19	Permanente	-8,27	0	0,01
	Sobrecarga	0	0	0,01
	Vento X	0	0,04	0
	Vento Y	0	0	-1,2
P20	Permanente	-212,08	-0,09	-1,51
	Sobrecarga	-230,21	-0,04	-1,95
	Vento X	0,91	-14,27	0,15
	Vento Y	424,31	-0,17	-9,03
P21	Permanente	-78,65	0	0
	Sobrecarga	-59,07	0	0
	Vento X	308,67	0	0
	Vento Y	30,45	0	0
P22	Permanente	-124,15	0	0
	Sobrecarga	-101,9	0	0
	Vento X	-264,69	0	0
	Vento Y	4,71	0	0
P23	Permanente	-62,11	-1,16	-0,06
	Sobrecarga	-46,99	-0,51	-0,1
	Vento X	-39,68	0,64	-12,73
	Vento Y	10,59	-182,76	0,2
P24	Permanente	-63,61	-1,11	0,09
	Sobrecarga	-48,39	-0,45	0,14
	Vento X	40,65	-1,67	-12,42
	Vento Y	12,5	-182,76	-0,25
P25	Permanente	-126,53	0	0
	Sobrecarga	-103,81	0	0
	Vento X	262,16	0	0
	Vento Y	7,52	0	0
P26	Permanente	-76,29	0	0
	Sobrecarga	-56,94	0	0
	Vento X	-305,65	0	0
	Vento Y	26,97	0	0

### 3.2.10. Manutenção

A corrosão dos metais afeta a durabilidade dos componentes metálicos das estruturas, esse processo de corrosão eletroquímica consiste na reação de oxidação e a de redução. A corrosão atmosférica é o resultado da interação entre o metal e a atmosfera, forma espontaneamente uma película muito fina de óxidos sólidos.

Portanto estruturas de aço, expostas à atmosfera, sem proteção, poderão estar sujeitas à deterioração.

As formas de proteção amplamente empregadas são pintura, galvanização, proteção

Catódica. Porém se não realizadas podem gerar falhas que necessitaram de manutenção; as falhas com mais frequência encontradas em estruturas construídas em aço, são as de: Corrosão localizada, Corrosão generalizada, Deformações excessivas, Flambagem local ou global, Fratura e propagação de fraturas

### 3.2.11. Comportamento em caso de incêndio

A estrutura de um projeto é composta por materiais estruturais como o aço e o concreto, ambos perdem rigidez e resistência na ocorrência de um incêndio, por causa do fluxo de calor do fogo que é quente e a estrutura fria, causando deformações térmicas surgindo esforços adicionais.

Visando a segurança estrutural em caso de incêndio, deve-se evitar a temperatura de colapso ou crítica. Para isso foram desenvolvidas exigências de resistências ao fogo em forma de tempo que são o TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) ou o tempo equivalente. Os tempos ficam entre 30 e 120 minutos. Quanto maior o risco à vida humana e a altura do edifício, maior a exigência e o tempo requerido de resistência ao fogo.

As altas temperaturas nas estruturas de aço podem ser prevenidas usando um revestimento térmico que possui uma baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, alto calor específico, adequada resistência mecânica quando expostos a impactos, garantia de integridade durante a evolução do incêndio, custo compatível.

Como exemplos pode-se citar as Argamassa projetada “Cimentitious”, Fibra projetada, Placas, Pintura intumescente.

### 3.2.12. Consumo de aço estrutural estimado para a estrutura

O consumo de aço de todo o projeto foi calculado utilizando o software TEKLA, obtendo os resultados mostrados nas tabelas a seguir:

*Tabela 9: Lista de materiais TEKLA*

Posição	Qte	Perfil	Material	Compr. (mm)	Área(m2)	Peso(kgf)
1	338	CH10X174	A36	210	0.1	968
2	76	CH10X174	A36	280	0.1	290
3	1	CH8X152	A36	36	0.0	0
4	34	L102X102X9.5	A36	220	0.1	108
5	94	L102X102X9.5	A36	150	0.1	205
6	1	CH10X178	A36	380	0.1	4
7	1	CH10X178	A36	380	0.1	5
8	2	CH10X70	A36	152	0.0	2
9	1	C100X40X17X2	A36	2728	1.1	9
10	152	C100X40X17X2	A36	1100	0.5	527
11	2	C100X40X17X2	A36	2726	1.1	17
12	2	C100X40X17X2	A36	2725	1.1	17
13	12	C100X40X17X2	A36	1574	0.7	60
14	2	C100X40X17X2	A36	2723	1.1	17
15	2	C100X40X17X2	A36	2722	1.1	17
16	1	C100X40X17X2	A36	2721	1.1	9
17	131	C100X40X17X2	A36	2785	1.2	1150
18	35	C100X40X17X2	A36	749	0.3	83
19	3	C100X40X17X2	A36	2784	1.2	26
20	1380	L102X89X12.7	A36	80	0.0	1962
21	24	C100X40X17X2	A36	2976	1.2	225
22	28	C100X40X17X2	A36	749	0.3	66
23	12	C100X40X17X2	A36	1584	0.7	60
24	72	C100X40X17X2	A36	2827	1.2	641
25	44	C100X40X17X2	A36	2827	1.2	392
26	100	C100X40X17X2	A36	2785	1.2	878
27	12	C100X40X17X2	A36	751	0.3	28
28	8	C100X40X17X2	A36	816	0.3	21
29	4	C100X40X17X2	A36	815	0.3	10
30	8	C100X40X17X2	A36	808	0.3	20
31	4	C100X40X17X2	A36	807	0.3	10
32	8	C100X40X17X2	A36	808	0.3	20
33	4	C100X40X17X2	A36	807	0.3	10
34	14	CH32X600	A36	600	0.8	1266
35	8	CH32X600	A36	600	0.8	723
36	4	CH10X327	A36	478	0.3	49
37	1	C100X40X17X2	A36	2842	1.2	9
38	2	C100X40X17X2	A36	2845	1.2	18
39	2	C100X40X17X2	A36	2846	1.2	18
40	2	C100X40X17X2	A36	2848	1.2	18
41	2	C100X40X17X2	A36	2849	1.2	18
42	1	C100X40X17X2	A36	2850	1.2	9
43	2	C100X40X17X2	A36	748	0.3	5
44	4	C100X40X17X2	A36	2787	1.2	35
45	3	C100X40X17X2	A36	741	0.3	7
46	6	C100X40X17X2	A36	762	0.3	14
47	4	C100X40X17X2	A36	2782	1.2	35
48	4	C100X40X17X2	A36	2781	1.2	35
49	4	C100X40X17X2	A36	2779	1.2	35
50	4	C100X40X17X2	A36	2777	1.2	35
51	2	C100X40X17X2	A36	2777	1.2	17
52	6	C100X40X17X2	A36	751	0.3	14
53	12	C100X40X17X2	A36	806	0.3	30
54	5	C100X40X17X2	A36	760	0.3	12
55	12	C100X40X17X2	A36	2595	1.1	98
56	5	C100X40X17X2	A36	760	0.3	12
57	11	C100X40X17X2	A36	2816	1.2	98
58	5	C100X40X17X2	A36	781	0.3	12
59	13	C100X40X17X2	A36	3000	1.2	123
60	5	C100X40X17X2	A36	773	0.3	12
P1	5	W460X74	A36	2992	4.9	1107
P2	4	W460X82	A36	2968	4.9	974



P3	1	W460X82	A36	2849	4.7	234
P4	1	W460X82	A36	3126	5.1	256
P5	4	W460X74	A36	2968	4.9	879
P6	1	W460X82	A36	3210	5.3	263
P7	1	W460X82	A36	3151	5.2	258
P8	1	W460X74	A36	3053	5.0	226
P9	1	W410X53	A36	7517	11.1	398
P10	5	W410X53	A36	5045	7.5	1337
P11	6	W410X53	A36	3001	4.4	954
P12	4	W410X53	A36	5045	7.5	1070
P13	8	W410X53	A36	3001	4.4	1273
P14	3	W410X53	A36	7493	11.1	1191
P15	3	W410X53	A36	7493	11.1	1191
P16	3	W410X53	A36	7579	11.2	1205
P17	3	W410X53	A36	7498	11.1	1192
P18	3	W310X52	A36	2706	3.4	422
P19	3	W310X52	A36	2965	3.8	463
P20	4	W310X52	A36	2956	3.8	615
P21	3	W310X52	A36	2650	3.4	413
P22	1	W310X52	A36	3050	3.9	159
P23	2	W310X52	A36	7586	9.6	789
P24	3	W310X52	A36	7582	9.6	1183
P25	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P26	1	W310X52	A36	2849	3.6	148
P27	3	W310X52	A36	2850	3.6	445
P28	4	W310X52	A36	2858	3.6	594
P29	3	W310X52	A36	2851	3.6	445
P30	2	W310X52	A36	2850	3.6	296
P31	2	W310X52	A36	2850	3.6	296
P32	3	W310X52	A36	7355	9.3	1147
P33	4	TUBO42.2X3.6	A36	3859	0.5	52
P34	4	TUBO42.2X3.6	A36	4084	0.5	55
P35	3	W310X52	A36	1702	2.2	266
P36	4	W310X52	A36	1293	1.6	269
P37	3	W310X52	A36	1702	2.2	266
P38	2	W310X52	A36	2990	3.8	311
P39	2	W310X52	A36	2831	3.6	294
P40	2	W360X72	A36	3195	4.7	460
P41	1	W360X72	A36	3195	4.7	230
P42	1	W360X72	A36	3420	5.0	246
P43	8	TUBO42.2X3.6	A36	3992	0.5	108
P44	18	W460X74	A36	3000	4.9	3996
P45	13	W460X82	A36	3000	4.9	3198
P46	1	W460X82	A36	6000	9.8	492
P47	1	W460X82	A36	2671	4.4	219
P48	1	W460X74	A36	3000	4.9	222
P49	1	W410X53	A36	7517	11.1	398
P50	1	W310X52	A36	2702	3.4	141
P51	1	W310X52	A36	3051	3.9	159
P52	2	W310X52	A36	2963	3.8	308

Posição	Qte	Perfil	Material	Compr. (mm)	Área(m2)	Peso(kgf)
P53	1	W310X52	A36	7588	9.6	395
P54	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P55	2	W310X52	A36	2850	3.6	296
P56	12	TUBO42.2X3.6	A36	3839	0.5	156
P57	12	TUBO42.2X3.6	A36	3839	0.5	156
P58	2	W310X52	A36	3000	3.8	312
P59	2	W310X52	A36	3000	3.8	312
P60	4	W310X52	A36	2683	3.4	558
P61	4	W360X72	A36	3000	4.4	864
P62	7	W360X72	A36	3000	4.4	1512
P63	24	TUBO42.2X3.6	A36	3691	0.5	300
P64	1	W460X82	A36	3360	5.5	276
P65	1	W460X74	A36	3000	4.9	222
P66	1	W410X53	A36	7492	11.1	397
P67	1	W410X53	A36	7517	11.1	398
P68	1	W410X53	A36	5150	7.6	273
P69	1	W410X53	A36	7492	11.1	397
P70	1	W310X52	A36	2864	3.6	149
P71	1	W310X52	A36	2965	3.8	154
P72	3	W460X74	A36	3081	5.1	684
P73	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P74	1	W460X74	A36	3201	5.3	237
P75	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P76	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P77	1	W460X82	A36	2639	4.3	216
P78	1	W460X82	A36	3158	5.2	259
P79	1	W460X74	A36	3201	5.3	237
P80	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P81	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P82	1	W460X82	A36	3201	5.3	263
P83	1	W460X74	A36	3081	5.1	228
P84	1	W410X53	A36	7492	11.1	397
P85	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P86	1	W410X53	A36	5150	7.6	273
P87	1	W410X53	A36	3011	4.5	160
P88	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P89	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P90	1	W410X53	A36	7807	11.6	414
P91	1	W410X53	A36	7719	11.4	409
P92	1	W310X52	A36	2706	3.4	141
P93	2	W310X52	A36	2212	2.8	230
P94	1	W310X52	A36	2486	3.2	129
P95	1	W310X52	A36	2966	3.8	154
P96	1	W310X52	A36	2650	3.4	138
P97	1	W310X52	A36	2210	2.8	115
P98	1	W310X52	A36	1972	2.5	103
P99	1	W310X52	A36	7630	9.7	397
P100	1	W410X53	A36	16102	23.8	853
P101	1	W310X52	A36	2206	2.8	115
P102	1	W310X52	A36	2850	3.6	148
P103	1	W310X52	A36	2803	3.6	146
P104	1	W310X52	A36	3058	3.9	159
P105	1	W310X52	A36	7405	9.4	385
P106	1	W310X52	A36	1692	2.1	88
P107	1	W310X52	A36	1692	2.1	88
P108	1	W310X52	A36	3158	4.0	164
P109	1	W310X52	A36	3158	4.0	164
P110	1	W310X52	A36	3000	3.8	156
P111	1	W310X52	A36	3000	3.8	156
P112	1	W360X72	A36	3000	4.4	216
P113	2	W310X52	A36	2599	3.3	270
P114	1	W150X37.1	A36	6942	6.3	258
P115	1	W150X37.1	A36	2982	2.7	111
P116	1	W150X37.1	A36	6952	6.3	258

P117	1	W150X37.1	A36	2467	2.2	92
P118	1	W460X74	A36	3797	6.2	281
P119	1	W460X74	A36	3797	6.2	281
P120	1	W460X74	A36	3798	6.2	281
P121	1	W460X74	A36	3798	6.2	281
P122	1	W310X52	A36	2154	2.7	112
P123	1	W310X52	A36	2116	2.7	110
P124	1	W310X52	A36	2159	2.7	112
P125	1	W310X52	A36	1995	2.5	104
P126	1	W150X37.1	A36	6446	5.9	239
P127	2	W150X37.1	A36	6340	5.8	470
P128	1	W150X37.1	A36	6237	5.7	231
P129	1	W150X37.1	A36	6240	5.7	232
P130	1	W150X37.1	A36	6446	5.9	239
P131	1	W150X37.1	A36	6446	5.9	239
P132	4	W150X37.1	A36	6442	5.9	956
P133	1	W150X37.1	A36	6446	5.9	239
P134	2	W150X37.1	A36	3018	2.7	224
P135	1	W150X37.1	A36	3044	2.8	113
P136	21	C8X11.5	A36	3260	0.0	1144
P137	3	C8X11.5	A36	3185	0.0	160
P138	3	C8X11.5	A36	3252	0.0	163
P139	3	C8X11.5	A36	3268	0.0	164
P140	1	C8X11.5	A36	3051	0.0	51
P141	2	C8X11.5	A36	3249	0.0	109
P142	2	C8X11.5	A36	3280	0.0	110
P143	1	C8X11.5	A36	3272	0.0	55
P144	1	C8X11.5	A36	3028	0.0	51
P145	2	C8X11.5	A36	3486	0.0	117
P146	2	C8X11.5	A36	3404	0.0	114
P147	1	C8X11.5	A36	3051	0.0	51
P148	1	C8X11.5	A36	3264	0.0	55
P149	1	C8X11.5	A36	3051	0.0	51
P150	4	W410X53	A36	5096	7.5	1080
P151	1	W410X53	A36	3211	4.8	170
P152	1	W410X53	A36	7882	11.7	418
P153	1	W410X53	A36	7387	10.9	392
P154	1	W410X53	A36	3039	4.5	161
P155	1	W410X53	A36	7493	11.1	397
P156	1	W410X53	A36	4281	6.3	227
P157	1	W410X53	A36	7731	11.4	410
P158	1	W310X52	A36	1452	1.8	76
P159	1	W310X52	A36	3534	4.5	184
P160	1	W410X53	A36	5045	7.5	267
Pc1	24	C100X40X17X2	A36	2827	1.2	214
Pc2	48	C100X40X17X2	A36	1100	0.5	166
Pc3	24	C100X40X17X2	A36	2827	1.2	214
Pc4	24	C100X40X17X2	A36	749	0.3	57
Pc5	24	C100X40X17X2	A36	750	0.3	57

Trimble | Tekla Structures - Lista de Materiais  
Projeto: Habitação P\*\*\*

Folha: 3  
Data: 06.09.2023  
Hora: 19:27:17

Posição	Qte	Perfil	Material	Compr.(mm)	Área(m2)	Peso(kgf)
				Total:	863.6	74796

### 3.2.13. Conclusão

Conclui-se desse proposto trabalho que a estrutura em aço é um método construtivo alternativo muito eficaz para a construção de uma Habitação de Interesse Social, pelo fato de que esse projeto exige uma maior rapidez e flexibilidade para atender ao problema de déficit habitacional brasileiro. A estrutura em aço com fechamento em Light Steel Frame garante um retorno mais rápido do capital investido e a entrega da obra no prazo previsto por ser uma estrutura mais dinâmica e flexível, além de ter uma alta resistência e precisão, e também é mais sustentável, comparada com o método convencional, por ser composta por um material reciclável. Portanto, a estrutura em aço é mais eficiente para atender as demandas desse projeto.

#### **4. REFERÊNCIAS**

PFEIL, W., PFEIL M. Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático. 8o ed. Rio de Janeiro, 2009.

CATÁLOGO GERDAU. Catálogo de perfis estruturais. Gerdau, 2018.

CATÁLOGO ARCELORMITTAL. Catálogo de lajes steel deck, 2106.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).  
NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas. 2019. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).  
NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 2015. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).  
NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008. Rio de Janeiro, 2008.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de  
Construção em Aço Construção Modular 2022, Rio de Janeiro, 2022.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de  
Construção em Aço, Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço, 2005

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de  
Construção em Aço, Projeto e Durabilidade, 2009

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Conheça as  
vantagens da construção em aço para a sustentabilidade

## APÊNDICE A – IMAGENS HUMANIZADAS

