



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

**ENGENHARIA CIVIL**

**BRENDO HENRIQUE LOPES**

**DETALHAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA UTILIZANDO O  
SOFTWARE CYPECAD 3D.**

**Conselheiro Lafaiete  
2021**

**BRENDO HENRIQUE LOPES**

**DETALHAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA UTILIZANDO O  
SOFTWARE CYPECAD 3D.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Tatiana Aparecida Rodrigues.

**Conselheiro Lafaiete  
2021**

**BRENDO HENRIQUE LOPES**

**Detalhamento de estrutura metálica utilizando o software Cypecad 3D.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

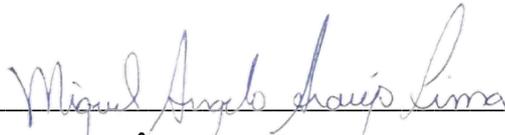
Aprovado em 02/12/2021

**BANCA EXAMINADORA**



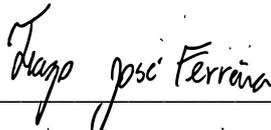
---

Prof.<sup>a</sup> Ma. Tatiana A. Rodrigues – Orientadora – FUPAC



---

Prof. Me. Miguel Ângelo Lima – Avaliador – FUPAC



---

Prof. Me. Tiago José Ferreira – Avaliador – FUPAC



---

Brendo Henrique Lopes – Aluno – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete  
2021**

Quero dedicar este trabalho ao meu pai (in memoriam),  
meu maior incentivador desde o início, e que sempre me  
apoiou nos meus sonhos e projetos. Passarei adiante  
todos os seus conselhos e ensinamentos de um homem  
justo, íntegro e acima de tudo ético.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, que me deu forças para superar todos os obstáculos até aqui, me concedeu sabedoria e colocou as pessoas certas no meu caminho. Aos meus pais por todo empenho e suporte durante toda a trajetória até aqui, sem eles nada disso seria possível, eles são a minha inspiração para me tornar um ser humano melhor a cada dia. À minha querida irmã, que sempre me apoiou e me incentivou a alcançar todos os meus objetivos. Aos meus amigos de curso, agradeço por todos os momentos, aos quais agregaram muito para minha vida pessoal e profissional. À Falcon Engenharia, empresa ao qual estagiei durante um período, no qual teve influência direta quanto a escolha do tema deste trabalho, agradeço pelos valores e conhecimentos que me proporcionaram durante todo estágio. À Milplan Engenharia, agradeço o suporte durante toda a execução do trabalho. Ao engenheiro civil Arthur agradeço por toda ajuda, pela paciência e disponibilidade durante toda a execução do trabalho, sua ajuda foi essencial. À minha coordenadora Tatiana Rodrigues, por todo o empenho e paciência durante todo o curso desde a minha chegada à Unipac até a conclusão deste trabalho. Aos meus amigos que sempre me apoiaram e estiveram comigo nos momentos difíceis e a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma, mesmo que indiretamente.

Pequenas oportunidades são frequentemente o início de  
grandes empreendimentos.

Demóstenes.

## RESUMO

Com o avanço da tecnologia, as estruturas em aço vêm ganhando espaço no mercado, por ser um tipo de estrutura que gera bastantes vantagens em relação às convencionais, como: resistência e durabilidade, mais precisão, menor margem de erro no dimensionamento, aumento na agilidade da obra, possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção e possibilita diversos arranjos arquitetônicos. Todas essas vantagens fazem do aço uma excelente escolha, para criação de estruturas com novas concepções através da utilização do aço em forma de perfis, barras, tubos e chapas. Juntamente com a evolução dos materiais, a utilização de softwares para dimensionamento de estruturas se fez necessário, atualmente para cada situação de projeto, existem diversas opções de softwares que auxiliam nos processos de modelagens e análises estruturais. Este trabalho tem como objetivo o detalhamento de uma estrutura através do software Cypecad 3D, que será utilizada como elemento de sustentação, suportando uma determinada carga. Através deste detalhamento, será possível analisar o seu comportamento, as reações geradas na estrutura devido a carga sobre ela e os tipos de perfis a serem utilizados. A análise será feita com utilização do software Cypecad 3D, baseando-se na ABNT NBR 8800 (2008). Com a utilização de tabelas, imagens e dados relacionados a estrutura, será possível concluir se a mesma conseguirá suportar a carga, demonstrar as principais reações em cada um dos seus elementos e executar as verificações quanto ao limite de esbeltez dos perfis, a resistência à tração, compressão, torção e esforços fletores e cortantes, com isso, será possível concluir se a estrutura irá suportar a carga sem que ocorram deformações excessivas em cada um dos seus elementos, também será possível verificar a funcionalidade e eficiência do software Cypecad 3D, quanto ao desenvolvimento do detalhamento e eficiência na obtenção dos resultados.

Palavras-chave: aço, barras, resistência, detalhamento e estrutura.

## ABSTRACT

With the advance of technology, steel structures have been gaining space in the market, because it is a type of structure that generate so many advantages over conventional ones, such as: strength and durability, more precision, lower margin of error in the dimensioning, increase in the agility of the work, possibility of reuse of the material that is no longer necessary to the construction and allows several architectural arrangements. All these advantages make steel an excellent choice, for creating structures with new designs through the use of steel in the form of profiles, bars, tubes and plates. Together with the evolution of materials, the use of software for sizing structures was necessary, currently for each project situation, there are several software options that assist in the processes of modeling and structural analysis. This work aims to detail a structure through cypecad 3D software, it will be used as a support element, supporting a certain load. Through this detail, it will be possible to analyze its behavior, the reactions generated in the structure due to the load on it and the types of profiles to be used. The analysis will be done using the Cypecad 3D software, based on THE ABNT NBR 8800 (2008). With the use of tables, images and data related to structure, it will be possible to conclude whether it will be able to withstand the load, demonstrate the main reactions in each of its elements and perform the checks on the slenderness limit of the profiles, tensile strength, compression, twisting and bending and biting stresses, thus, it will be possible to conclude whether the structure will withstand the load without excessive deformities in each of its elements, it will also be possible to verify the functionality and efficiency of cypecad 3D software, as to the development of detail and efficiency in obtaining the results.

Key words: steel, bars, resistance, detailing and structure.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura metálica de suportaç�o sendo utilizada.....	17
Figura 2 - Estrutura em aço.....	20
Figura 3 - Casa do Comércio da Bahia em Salvador. ....	21
Figura 4 - Torre Eiffel, Paris. ....	22
Figura 5 - Classifica�o dos produtos siderúrgicos. ....	24
Figura 6 – Exemplos de perfis em chapas dobradas. ....	26
Figura 7 - Desenho da estrutura metálica. ....	37
Figura 8 - Desenho da Estrutura metálica.....	38
Figura 9 - Separa�o das barras por grupos.....	40
Figura 10 - Nós N1, N5, N10 e N12. ....	41
Figura 11 - Rea�o�es em Nós N1, N5, N10 e N12. ....	42
Figura 12 - Nós N3, N4, N7 e N8. ....	42
Figura 13 - Rea�o�es em Nós N3, N4, N7 e N8. ....	43
Figura 14 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável.....	44
Figura 15 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável nos pilares do grupo 1. ....	44
Figura 16 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável.....	45
Figura 17 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável nos pilares do grupo 1. ....	45
Figura 18 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável.....	46
Figura 19 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1. ....	46
Figura 20 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável.....	47
Figura 21 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1. ....	47
Figura 22 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável.....	48
Figura 23 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1. ....	48
Figura 24 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável das barras grupo 1.....	49
Figura 25 - Nós N3, N4, N7 e N8. ....	51

Figura 26 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável. ....	52
Figura 27 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 2. ....	52
Figura 28 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3. ....	55
Figura 29 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3. ....	56
Figura 30 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3. ....	57
Figura 31 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável grupo 3. ....	58
Figura 32 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável, barras grupo 4. ....	61
Figura 33 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável, barras grupo 4. ....	62
Figura 34 - Normas e padrões definidos em Cype 3D. ....	68
Figura 35 – Parâmetros iniciais. ....	69
Figura 36 - Lançamento de barra N1. ....	69
Figura 37 - Definição de altura para lançamento de viga de travamento. ....	70
Figura 38 - Lançamento de viga de travamento. ....	70
Figura 39 - Vista 3D. ....	71
Figura 40 - Definição dos eixos direção X e Y. ....	71
Figura 41 - Definição dos eixos e posições. ....	72
Figura 42 - Lançamento das vigas na longitudinal. ....	72
Figura 43 - Vista 3D, lançamento das vigas na longitudinal. ....	73
Figura 44 - Estrutura completa. ....	73
Figura 45 - Vista 3D de estrutura completa. ....	74
Figura 46 - Vista 3D parte superior da estrutura ....	74
Figura 47 - Definição de vinculações. ....	75
Figura 48 - Vinculações das quatro barras verticais. ....	75
Figura 49 - Introduzindo as sobrecargas sobre os nós. ....	76
Figura 50 - Adicionando sobrecarga. ....	76
Figura 51 - Sobrecarga na estrutura. ....	77
Figura 52 - Direção e sentido de aplicação da carga. ....	77
Figura 53 - Geração das cargas de peso próprio. ....	78
Figura 54 - Cargas de peso próprio. ....	78
Figura 55 - Verificação dos elementos. ....	79

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos aços.....	28
Tabela 2 - Classificações de aços para perfis ASTM.....	29
Tabela 3 - Tipos de peças.....	39
Tabela 4 - Nós.....	80
Tabela 5 - Cargas em nós.....	81
Tabela 6 - Coeficientes de ponderação.....	81
Tabela 7 - Ações variáveis sem sismo.....	81
Tabela 8 - Combinações de acordo com E.L.U Aço laminado.....	82
Tabela 9 - Combinações de ações de acordo com coeficientes para deslocamento.....	82
Tabela 10 - Perfil utilizado em estrutura de suportaçã.....	83
Tabela 11 - Materiais utilizados.....	84
Tabela 12 – Descrição.....	85
Tabela 13 - Tabela medição.....	86
Tabela 14 - Resumo de medição.....	86
Tabela 15 - Reações nos nós, por ações.....	87
Tabela 16 - Envoltentes dos esforços barra N1/N3.....	88
Tabela 17 - Envoltentes dos esforços barra N3/N2.....	89
Tabela 18 - Envoltentes dos esforços barra N3/N4.....	90
Tabela 19 - Envoltentes dos esforços barra N5/N4.....	91
Tabela 20 - Envoltentes dos esforços barra N4/N6.....	92
Tabela 21 - Envoltentes dos esforços barra N3/N7.....	93
Tabela 22 - Envoltentes dos esforços barra N4/N8.....	94
Tabela 23 - Envoltentes dos esforços barra N10/N7.....	95
Tabela 24 - Envoltentes dos esforços barra N7/N9.....	96
Tabela 25 - Envoltentes dos esforços barra N12/N8.....	97
Tabela 26 - Envoltentes dos esforços barra N8/N11.....	98
Tabela 27 - Envoltentes dos esforços barra N7/N8.....	99
Tabela 28 - Verificação de resistência.....	100
Tabela 29 - Resumo das verificações.....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos;
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso;
NBR	Norma Brasileira;
ASTM	American Society for Testing and Materials;
ELU	Estado-limite último
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
MSR	Mobile Sizing Rigging.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E_a$  – módulo de elasticidade do aço;

$\nu$  – coeficiente de poisson;

$\beta$  – coeficiente de dilatação térmica;

$\rho_a$  – massa específica do aço;

$\lambda$  – índice de esbeltez;

$f_y$  – Limite de escoamento do aço;

$f_u$  – Limite de resistência à tração do aço;

$M_{sd}$  – Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável;

$M_{rd}$  – Momento fletor resistente de cálculo, desfavorável;

$L_K$  – Comprimento de encurvadura

$C_b$  – Factor de modificação para o momento crítico

$N_{c,Sd}$  – Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{c,Rd}$  – Força axial resistente de cálculo de compressão

$V_{Sd}$  – Esforço cortante solicitante de cálculo.

$V_{Rd}$  – É a força cortante resistente de cálculo.

$\chi$  – Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$Q$  – Fator de redução total associado à flambagem local.

$A_g$  – Área bruta da seção transversal da barra.

$f_y$  – Resistência ao escoamento do aço.

$\gamma_{a1}$  – Coeficiente de segurança do material

$K_x \cdot L_x$  – Comprimento de flambagem por flexão, em relação ao eixo X.

$K_y \cdot L_y$  – Comprimento de flambagem por flexão, em relação ao eixo Y.

$r_x, r_y$  – Raios de giração, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$\Delta$  – Delta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>18</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	18
1.1.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Estruturas metálicas</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Vantagens das Estruturas metálicas .....	20
2.1.2 Desvantagens das Estruturas metálicas. ....	20
<b>2.2 Exemplos de obras que utilizaram o aço como estrutura</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3 Produtos siderúrgicos</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 Tipos de Produtos siderúrgicos .....	23
<b>2.4. Principais processos de fabricação</b> .....	<b>24</b>
2.4.1 Soldagem .....	24
2.4.2 Usinagem .....	24
<b>2.5 Perfis de aço</b> .....	<b>25</b>
2.5.1 Perfis formados a frio .....	25
2.5.2 Perfis formados a quente .....	26
<b>2.6 Propriedades dos aços</b> .....	<b>27</b>
2.6.1 Constantes físicas dos aços estruturais .....	28
<b>2.7 Classificação dos aços para perfis de elementos estruturais série ASTM.</b> ..	<b>28</b>
2.7.1 Aços – carbono. ....	28
<b>2.8 Projeto estrutural e Normas</b> .....	<b>29</b>
2.8.1 Entidades normativas para o projeto e cálculo de estruturas metálicas .....	29
2.8.2 Carregamentos.....	30
2.8.3 Combinações de ações.....	30
2.8.4 Projeto.....	31
<b>2.9 Estados Limites</b> .....	<b>31</b>
2.9.1 Estados limites últimos .....	31
2.9.2 Estados limites de utilização .....	32
2.9.3 Limitação do índice de esbeltez .....	32
2.9.4 Resistência à compressão .....	33
2.9.5 Resistência à flexão .....	33

2.9.6 Força axial resistente de cálculo .....	33
2.9.7 Esforço cortante .....	34
2.9.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados .....	34
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Etapas iniciais .....</b>	<b>36</b>
3.1.1 Situações do projeto .....	36
3.1.2 Determinação dos Perfis a serem utilizados na estrutura .....	36
3.1.3 Desenho da estrutura com utilização do software Autocad .....	37
<b>3.2 Etapa final .....</b>	<b>38</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Divisão dos tipos de Peças .....</b>	<b>39</b>
4.1.1 Separação das barras de acordo com sua utilização. ....	39
<b>4.2 Análises do grupo 1 .....</b>	<b>41</b>
4.2.1 Limitação do índice de esbeltez .....	43
4.2.2 Resistência à tração .....	43
4.2.3 Resistência à compressão .....	43
4.2.4 Resistência à flexão eixo X .....	45
4.2.5 Resistência à flexão eixo Y .....	46
4.2.6 Resistência ao esforço transversal X .....	47
4.2.7 Resistência ao esforço transversal Y .....	48
4.2.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados .....	49
4.2.9 Resistência à torção .....	49
4.2.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante ...	50
<b>4.3 Análises do grupo 2 .....</b>	<b>50</b>
4.3.1 Limitação do índice de esbeltez .....	51
4.3.2 Resistência à tração .....	51
4.3.3 Resistência à compressão .....	51
4.3.4 Resistência à flexão eixo X .....	52
4.3.5 Resistência à flexão eixo Y .....	53
4.3.6 Resistência ao esforço transversal X .....	53
4.3.7 Resistência ao esforço transversal Y .....	53
4.3.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados .....	53
4.3.9 Resistência à torção .....	53
4.3.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante ...	53

4.3.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção .....	54
<b>4.4 Análises do grupo 3 .....</b>	<b>54</b>
4.4.1 Limitação do índice de esbeltez .....	54
4.4.2 Resistência à tração .....	54
4.4.3 Resistência à compressão .....	54
4.4.4 Resistência à flexão eixo X .....	55
4.4.5 Resistência à flexão eixo Y .....	56
4.4.6 Resistência ao esforço transversal X .....	56
4.4.7 Resistência ao esforço transversal Y .....	56
4.4.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados .....	57
4.4.9 Resistência à torção .....	58
4.4.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante ...	58
4.4.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção .....	58
<b>4.5 Análises do grupo 4. ....</b>	<b>59</b>
4.5.1 Limitação do índice de esbeltez .....	59
4.5.2 Resistência à tração .....	59
4.5.3 Resistência à compressão .....	59
4.5.4 Resistência a flexão eixo X .....	59
4.5.5 Resistência à flexão eixo Y .....	60
4.5.6 Resistência ao esforço transversal X .....	60
4.5.7 Resistência ao esforço transversal Y .....	60
4.5.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados .....	61
4.5.9 Resistência à torção .....	62
4.5.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante ...	62
4.5.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção .....	62
<b>4.6 Resumo das análises .....</b>	<b>63</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a constante busca por inovações, surgem novas estratégias nos sistemas estruturais e construtivos, dentre os quais se podem destacar o surgimento das estruturas metálicas, sistema no qual se diferencia pela utilização de perfis de aço, visando aproveitar as características e vantagens do elemento (H.Bellei, O.Pinho, & O.Pinho, 2008).

A partir de 1750 surgiram os primeiros indicadores de utilização das estruturas metálicas em escala industrial. No Brasil o início de sua fabricação foi no ano de 1812. Com o surgimento das grandes siderúrgicas a partir de 1946, como exemplo a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, que alavancou o grande avanço na fabricação de perfis em larga escala (Pinheiro, 2005).

Em meados do século XIX, devido aos processos de industrialização que experimentavam os países mais desenvolvidos pela revolução industrial, tais como Inglaterra, França e Alemanha, a utilização do ferro em escala industrial ganhou força, com isso, desenvolveram-se progressos na elaboração e conformação deste metal. Nos meados do século XVIII se laminavam pranchas de ferro na Inglaterra; em 1830, trilhos para estradas de ferro; em 1854 primeiramente na França, os perfis de seção “I” de ferro forjável, que se tornaria a peça fundamental da construção em aço (H.Bellei, O.Pinho, & O.Pinho, 2008).

Devido às características dos elementos metálicos, é possível destacar diversas vantagens quando utilizados nos modelos de construções, tais como: resistência e durabilidade, mais precisão e menor margem de erro no dimensionamento, versatilidade arquitetônica, redução das cargas de fundação, rapidez, dentre outras.

A globalização do mercado, a dinâmica de evolução científica e de inovações tecnológicas, impôs mudanças na formação de engenheiros. O mercado tem buscado cada vez mais pessoas que se enquadrem nos novos padrões de tecnologias na indústria da construção, nos quais abrangem o uso de sistemas estruturais mais eficientes e econômicos, como as estruturas em aço e mistas, que vem cada vez mais

tornando-se uma alternativa eficaz e viável. (Velasco, Lima, Andrade, Velasco, & Silva, 2014).

O sistema Truckless, mais conhecido no português como “sem caminhão”, é um sistema onde não se utilizam caminhões para o transporte do minério para os britadores fixos, em vez disso, são utilizadas correias transportadoras e o britador é móvel. Este sistema possibilita uma redução de 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou 118 mil de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano. Este sistema atualmente é utilizado pela Empresa Vale no S11D mina Canaã dos Carajás (Vale, 2015).

Uma empresa especializada em montagem e manutenção no ramo industrial iniciou um projeto de montagem eletromecânica de melhorias estruturais e instalação dos novos britadores Abon em substituição aos atuais britadores de dois sistemas móveis MSR (Mobile Sizing Rigging). De acordo com o planejamento, notou-se a necessidade de instalação de uma estrutura de sustentação na parte traseira do MRS durante a remoção da sapata rígida do mesmo, pois será preciso elevar toda a estrutura do alimentador, conforme Figura 1.

Figura 1 - Estrutura metálica de suportação sendo utilizada.



Fonte: Própria (2021).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho consiste em detalhar a estrutura de sustentação através do software Cypecad 3D.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Entender sobre a origem do aço e sua importância para a construção civil;
- Elaboração da estrutura no software Cypecad 3D, baseando-se na NBR 8800 (ABNT, 2008) e normas correlatas;
- Analisar e demonstrar o comportamento da estrutura gerado pelas forças atuantes.
- Através de tabelas, imagens, e dentre outros meios necessários demonstrar as forças atuantes na estrutura e suas reações.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Estruturas metálicas

De acordo com Santos (2019), dentre os tipos de materiais de engenharia, destacam-se os materiais metálicos como os mais importantes, devido a sua vasta possibilidade de propriedades e de aplicações. São encontrados em diversas áreas no cotidiano da sociedade, em aplicações como parafusos, fios elétricos, estruturas de construção civil, automóveis, aeronaves etc.

De acordo com Pfeil (Estruturas de Aço, 2008), o aço, o ferro fundido e o ferro forjado destacam-se como forma mais usuais de metais ferrosos, sendo o aço o mais importante dos três na atualidade. De acordo com suas aplicações, os aços podem ser classificados em diversas categorias, cada qual com suas características. Tem-se como exemplo os aços para estruturas, onde são requeridas propriedades de boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre a tensão resistente e a de escoamento.

Segundo H.Bellei (2008) uma obra com estruturas metálicas é o resultado de um sistema industrializado, no qual possui várias etapas que se iniciam no projeto arquitetônico, na construção civil ou no projeto básico na indústria, continua no projeto estrutural definitivo, passa pelo detalhamento do projeto (desenho de oficina), fabricação, limpeza e pintura, seguido pelo transporte, montagem e proteção contra o fogo se necessária.

As estruturas em aço cada vez mais vem ganhando espaço na engenharia civil por possuir características únicas que em determinados projetos fazem toda a diferença. Em Chaves (2007), tem se o respaldo das estruturas em aço, que contempla ainda outras características deste sistema construtivo:

Dentre os diversos aspectos relacionados à construção metálica, destacam-se a maior resistência mecânica do aço quando comparada às dos outros materiais, a eficiência de uma construção industrializada, a flexibilidade das soluções arquitetônicas e estruturais, a facilidade de montagem e desmontagem, além da facilidade de reforço e ampliação (Chaves, 2007, pág.1).

Com o constante avanço da ciência das construções e da metalurgia, as estruturas metálicas vêm ganhando espaço como um verdadeiro trunfo da tecnologia, devido suas características que permitem sua utilização de diversas formas funcionais e arrojadas. No Brasil é possível perceber essa aplicação na Ponte Rio-Niterói, a Figura 2 mostra a estrutura da ponte com vãos laterais de 200 m e vão central de 300 m, recorde mundial em viga reta (Pfeil, Estruturas de Aço, 2008).

Figura 2 - Estrutura em aço.



Fonte: Pfeil, Estruturas de Aço (2008).

### 2.1.1 Vantagens das Estruturas metálicas

De acordo com H.Bellei (2008, pág 23), as principais vantagens do aço são:

- Alta resistência do aço em comparação com outros materiais;
- O aço é um material homogêneo de produção controlada;
- As estruturas são produzidas em fábricas por processos industrializados seriados, cujo efeito de escala favorece a menores prazos e menores custos;
- Os elementos das estruturas metálicas podem ser desmontados e substituídos com facilidade e permitem também reforço quando necessário;
- A possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção;
- Menor prazo de execução se comparado com outros materiais.

### 2.1.2 Desvantagens das Estruturas metálicas.

Segundo Pinheiro (2005, pág.16), pode-se destacar em relação as estruturas metálicas as seguintes desvantagens:

- Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
- Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido o contato com o ar atmosférico;
- Necessidade de mão de obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- Limitação de fornecimento de perfis estruturais.

## 2.2 Exemplos de obras que utilizaram o aço como estrutura

De acordo com H.Bellei (2008), as estruturas metálicas podem ser usadas em quase todos os tipos de construções civis, industriais e viárias. Existem vários exemplos de construções em aço, como o edifício Casa do Comércio da Bahia em Salvador, Figura 3.

Figura 3 - Casa do Comércio da Bahia em Salvador.



Fonte: Thelma (2015).

A Torre Eiffel em Paris, Figura 4, que projetada há séculos foi um importante marco e novidade para a época. Com cerca de 18.000 peças e uma altura de 300 metros, a torre chama atenção pelo aspecto inovador, construída com toneladas de aço (Rabelo & Júnior, 2019).

Figura 4 - Torre Eiffel, Paris.



Fonte: JP (2017).

### **2.3 Produtos siderúrgicos**

Um produto metálico pode ter diversas formas, alguns com geometria simples, como de fios condutores elétricos, e outros como geometrias complexas, como do bloco de um motor de automóvel. Suas dimensões e acabamentos podem variar rigorosamente, de acordo com a necessidade de cada projeto (Kiminami, 2013).

Industrialmente, os produtos siderúrgicos são classificados de acordo com o teor de carbono em sua composição, dando origem a duas grandes famílias: os aços, com teor de carbono entre 0,05% até 2,20%, que podem ser trabalhados por deformação a quente e a frio para obtenção das mais variadas formas e dimensões; e os ferros fundidos, com teor de carbono entre 2,20% até 6,67%, que não são passíveis de deformação, cujos produtos finais só podem ser obtidos pelo processo de fundição (Pinedo, 2021).

Ainda segundo Pinedo (2021), os aços possuem aplicações abrangentes em segmentos industriais como: construção civil, automotivo, aeronáutico e aeroespacial, petróleo e gás, químico, farmacêutico, biomédico, entre outros. Essa variedade de aplicações se deve à possibilidade de se obter diferentes microestruturas após ciclos

térmicos específicos de aquecimento e resfriamento, ou seja, após os tratamentos térmicos.

Segundo Santos (2019), no processo de seleção de materiais para as aplicações tecnológicas é crucial o conhecimento de suas propriedades, pois as mesmas influenciarão em fatores importantes no desempenho de qualquer produto, em fatores de segurança e econômicos.

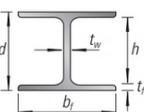
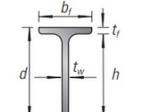
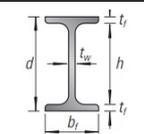
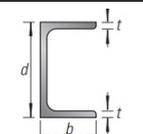
De acordo com Kiminami, Castro, & Oliveira (2013), para um determinado produto metálico existem variadas propriedades específicas como:

- Propriedades mecânicas: resistência mecânica, dureza, tenacidade, resistência à fadiga, resistência à fluência, módulo de elasticidade e capacidade de amortecimento;
- Propriedades não mecânicas: térmicas, óticas, magnéticas e elétricas;
- Propriedades estéticas: aparência e textura;
- Propriedades de superfície: resistência à corrosão, oxidação, fricção, abrasão, desgaste;
- Propriedades de produção: facilidade de fabricação, de união, de acabamento e de montagem;
- Propriedade ou atributos econômicos: preço e disponibilidade do material e de processos.

### 2.3.1 Tipos de Produtos siderúrgicos

De acordo com Pinheiro (2005, pág.17), existem varias classificações genéricas para os produtos siderúrgicos, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Classificação dos produtos siderúrgicos.

CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS SIDERÚRGICOS						
CLASSIFICAÇÃO	NOME	VISTA FRONTAL	OBSERVAÇÕES	NOME	VISTA FRONTAL	OBSERVAÇÕES
PERFIL	PERFIL H		Largura da mesa: bf Espessura da mesa: tf Espessura da alma: tw Altura da alma: h Altura do Perfil: d	PERFIL T		Largura da mesa: bf Espessura da mesa: tf Espessura da alma: tw Altura da alma: h Altura do Perfil: d
	PERFIL I OU DUPLO TÊ		Largura da mesa: bf Espessura da mesa: tf Espessura da alma: tw Altura da alma: h Altura do Perfil: d	PERFIL U, OU CANAL		Largura da aba: b Espessura da aba: t Altura do Perfil: d
BARRAS	BARRA REDONDA		medidas variáveis em comprimento e largura	BARRA CHATA		medidas variáveis em comprimento e largura
TUBO	TUBO CIRCULAR		medidas variáveis em comprimento e largura	TUBO RETANGULAR OU QUADRADO		medidas variáveis em comprimento e largura
CHAPAS	CHAPAS EM BOBINA		medidas variáveis em comprimento e largura	CHAPAS FINAS OU GROSSAS		medidas variáveis em comprimento e largura

Fonte: Pinheiro (2005).

## 2.4. Principais processos de fabricação

### 2.4.1 Soldagem

De acordo com Kiminami, Castro, & Oliveira (2013), a soldagem é um processo de fabricação onde duas ou mais partes metálicas, de ligas similares ou não (dissimilares), são unidas permanentemente. O processo de soldagem pode ser executado de diversas maneiras, tendo como principal objetivo a fusão das partes a serem unidas, no estado sólido ou ainda por fusão somente de um metal de adição (brasagem e solda branda). A soldagem, além de ser utilizada na produção de produtos, é muito importante como processo de manutenção e reparo, objetivando o prolongamento da vida útil dos componentes metálicos.

### 2.4.2 Usinagem

Segundo H.Bellei (2008), o processo de usinagem tem como objetivo a conformação de um determinado elemento através de ferramentas de corte, com intuito de remover o material até que o remanescente tenha a forma da peça desejada. Dentre os

processos de usinagem, destacam-se como principais o torneamento, furação, fresamento e aplainamento. A usinagem é aplicada a uma grande variedade de materiais, gerando qualquer geometria regular, tais como superfície plana, cilindros e orifícios redondos.

## **2.5 Perfis de aço**

Os perfis de aço podem ser divididos em três grupos. Um grupo é constituído de perfis laminados a quente, outro comporta perfis formados pela soldagem de chapas (perfis soldados), e o terceiro grupo, considerado menor, mas de relevância importante, é composto por perfis fabricados a partir do dobramento ou perfilagem de chapas de aço, conhecidos como perfis formados a frio (Vieira, 2010).

### **2.5.1 Perfis formados a frio**

Dependendo do modelo da estrutura, a utilização dos perfis soldados a frio pode acarretar uma eficácia econômica em relação aos perfis de aço soldados ou laminados à quente devido a diferença de valores entre esses dois elementos, isso ocorre principalmente devido à alta relação inércia/peso que os perfis formados a frio possuem, quando se comparados com os perfis clássicos. Os perfis formados a frio ainda possibilitam uma maior variedade de fabricação da seção transversal (Paulino, 2009).

Ainda segundo Paulino (2009), dentro deste cenário:

A utilização dos perfis formados a frio vem aumentando em larga escala, sendo utilizados tanto na construção mecânica quanto na construção civil como, na construção de torres de transmissão, chassis de automóveis, estrutura de silos e outras estruturas industriais, estrutura de depósitos e edifícios residenciais (Paulino, 2009, p. 1).

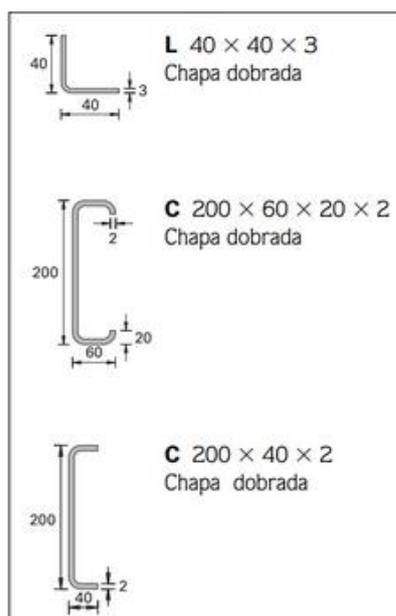
De acordo com Chodraui (2006), vale ressaltar que os perfis de aço formados a frio possuem características peculiares, como por exemplo:

- Pode-se obter estruturas mais econômicas para pequenos vãos (maior relação inércia/peso), sendo que no Brasil uma grande quantidade de obras se enquadra nesta categoria;

- Configurações não usuais da seção transversal podem ser utilizadas quando necessário, devido à facilidade de dobramento das chapas;
- Apresentam elevadas relações largura-espessura, o que exige considerações sobre a flambagem local e distorcional, além da resistência pós-flambagem;
- Elevada possibilidade de interação entre os modos de instabilidade;
- A distribuição das tensões residuais, proveniente do efeito do trabalho a frio, difere daquelas causadas pelo resfriamento nos perfis laminados;
- As ligações devem ser cuidadosamente analisadas devido à pequena espessura das chapas.

Em Pinheiro (2005), os perfis conformados a frio são designados como: tipo, altura, aba, dobra, espessura. Na sua designação pode ser acrescentado “chapa dobrada” de acordo com Figura 6, para diferenciar dos perfis laminados.

Figura 6 – Exemplos de perfis em chapas dobradas.



Fonte: Pinheiro (2005).

### 2.5.2 Perfis formados a quente

Segundo Pinheiro (2005), no Brasil os perfis laminados são designados como: código literal, altura (mm), peso (Kg/m). O Quadro 1 apresenta alguns exemplos de códigos literais.

Quadro 1 - Exemplos de códigos literais.

Tipos	Especificações
L	Cantoneira de abas iguais ou desiguais
I	Perfil de seção transversal parecida com I
H	Perfil de seção transversal parecida com H
U	Perfil de seção transversal parecida com U
T	Perfil de seção transversal parecida com T

Fonte: Pinheiro (2005).

No geral, disparidades entre seções laminadas a quente e frias podem ser observadas nas propriedades dos materiais, imperfeições geométricas, tensões residuais, geometria, bem como o comportamento estrutural geral e capacidade de carga das seções produzidas (Gardner, Saari, & Wang, 2010).

## 2.6 Propriedades dos aços

Em Pinheiro (2005), observa-se a descrição de algumas destas propriedades em relação aos produtos metálicos:

- Ductibilidade: é a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas;
- Fragilidade: é o oposto da ductibilidade. Os aços podem ter características de elementos frágeis em baixas temperaturas ambientes;
- Resiliência: é a capacidade do material de absorver energia mecânica em regime elástico;
- Tenacidade: é a capacidade do material de absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas;
- Dureza: resistência ao risco ou abrasão;
- Fadiga: resistência a carregamentos repetitivos.

De acordo com H.Bellei (2008), a resistência, rigidez e dureza dos elementos nas estruturas devem ser adequadas de modo a permitir a melhor funcionabilidade durante a vida útil da estrutura. O projeto também deve prover uma resistência maior do que a especificada e recomendada, ou seja, acima das que seriam necessárias para resistir às cargas de serviço, a estrutura deve resistir a uma possibilidade de um excesso de carga (solicitação).

### 2.6.1 Constantes físicas dos aços estruturais

Segundo a NBR 8800:2008, para efeitos de cálculo adotam-se os seguintes valores de propriedades mecânicas, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos aços.

Módulo de elasticidade	$E = E_a = 200\ 000\ \text{MPa}$
Coefficiente de Poisson	$\nu_a = 0,3$
Módulo de elasticidade transversal	$G = 77\ 000\ \text{MPa}$
Coefficiente de dilatação térmica	$\beta_a = 1,2 \times 10^{-5}\text{C}^{-1}$
Massa específica	$\rho_a = 7\ 850\text{kg/m}^3$

Fonte: NBR 8800 (2000, pág.13).

## 2.7 Classificação dos aços para perfis de elementos estruturais série ASTM

### 2.7.1 Aços – carbono

De acordo com Pinheiro (2005), tem-se algumas das classificações de aços para perfis de elementos estruturais série ASTM, Tabela 2.

Tabela 2 - Classificações de aços para perfis ASTM.

Tipos	Descrição
A36	São usados em perfis, chapas e barras, para construção de edifícios pontes e estruturas pesadas.
A570	<p>Empregado principalmente para perfis de chapa dobrada, devido à sua maleabilidade.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Grau 33: <math>f_y = 230</math> MPa;</li> <li>➤ Grau 40: <math>f_y = 280</math> MPa;</li> <li>➤ Grau 45: <math>f_y = 310</math> MPa;</li> <li>➤ <math>f_u = 360</math> MPa <math>f_u = 380</math>;</li> <li>➤ MPa <math>f_u = 410</math> MPa;</li> </ul>
A500	<p>Material empregado na fabricação de tubos retangulares ou redondos, com ou sem costura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tubo redondo Grau A: <math>f_y = 232</math> MPa; <math>f_u = 320</math> MPa;</li> <li>➤ Tubo redondo Grau B: <math>f_y = 296</math> MPa; <math>f_u = 408</math> Mpa;</li> <li>➤ Tubo quadrado ou retangular Grau A: <math>f_y = 274</math> MPa; <math>f_u = 320</math> MPa;</li> <li>➤ Tubo quadrado ou retangular Grau B: <math>f_y = 323</math> MPa; <math>f_u = 408</math> MPa.</li> </ul>
A501	<p>Empregado na fabricação de tubos pesados, material com a mesma resistência do aço A36.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tubo redondo, quadrado ou retangular: <math>f_y = 250</math> MPa; <math>f_u = 408</math> Mpa.</li> </ul>

Fonte: Pinheiro (2005).

## 2.8 Projeto estrutural e Normas

### 2.8.1 Entidades normativas para o projeto e cálculo de estruturas metálicas

De acordo com Pinheiro (2005), tem-se que:

Entidades normativas são associações representativas de classe, ou organismos oficiais, que determinam os procedimentos a serem seguidos para a execução de uma determinada atividade. No caso de projetos e obras em estruturas metálicas, tem-se normalizadas as características mecânicas e químicas dos materiais, a metodologia para o cálculo estrutural e o detalhamento em nível de projeto executivo (Pinheiro, 2005, pág.19).

Ainda segundo Pinheiro (2005), no Brasil as unidades a serem adotadas são as do SI (Sistema Internacional). Nos desenhos as medidas lineares são todas em milímetros, não havendo necessidade de explicitar este fato.

### 2.8.2 Carregamentos

De acordo com Pinheiro (2005), as ações podem ser definidas como as cargas que atuam nas estruturas. Existem normas apropriadas para estipular as ações de modo a verificar sua atuação nas estruturas e suas consequências. As ações podem ser classificadas em:

- Permanentes (G): Peso próprio da estrutura, de revestimentos, pisos, acabamentos, equipamentos etc.
- Variáveis (Q): Sobrecargas de ocupação da edificação, mobília, divisórias, vento em coberturas, empuxo de terra, variação de temperatura etc.
- Excepcionais (E): Explosões, choque de veículos, abalo sísmico etc.

### 2.8.3 Combinações de ações

De acordo com Pfeil (2009), temos os seguintes tipos de combinações de ações para verificações nos estados limites últimos:

- Combinação normal: combinação que inclui todas as ações decorrentes do uso previsto da estrutura;
- Combinação de construção: combinação que considera ações que podem promover algum estado limite último na fase de construção da estrutura;
- Combinação especial: combinação que inclui ações variáveis especiais, cujos efeitos têm magnitude maior que os efeitos das ações de uma combinação normal;
- Combinação excepcional: combinação que inclui ações excepcionais, as quais podem produzir efeitos catastróficos, tais como explosões, choques de veículos, incêndios e sismos.

#### 2.8.4 Projeto

Todos os fatores devem ser tratados de maneira integrada em um projeto estrutural, com isso todos os fatores que possam influenciar na estrutura devem ser considerados, como ações do vento, flexão, compressão, flexo-compressão, entre outros.

De acordo com Adorna (2017), as estruturas devem ser projetadas de forma que resistam aos carregamentos nos quais estão submetidas, sem apresentarem riscos à segurança e à funcionabilidade do edifício. O projetista deverá ser capaz de determinar todas as ações que atuarão constantemente ou excepcionalmente sobre a estrutura, ao longo de toda sua vida útil.

### 2.9 Estados Limites

De acordo com Pfeil (2009), quando a estrutura deixa de satisfazer um de seus objetivos, como garantir a segurança estrutural evitando-se o colapso da estrutura, ou bom desempenho da estrutura evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos locais, isso irá acarretar a ocorrência de seu estado limite.

Ainda segundo Pfeil (2009) um estado limite pode ser dividido em:

- Estados limites últimos;
- Estados limites de utilização.

#### 2.9.1 Estados limites últimos

De acordo com Pfeil (2009), os estados limites últimos estão associados à ocorrência de cargas excessivas, gerando grandes impactos negativos na estrutura, como:

- Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção;
- Ruptura de uma ligação ou seção;
- Flambagem em regime elástico ou não;
- Ruptura por fadiga.

### 2.9.2 Estados limites de utilização

Ainda segundo Pfeil (2009), os estados limites de utilização (associados a cargas em serviço) incluem deformações excessivas e vibrações excessivas. De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), tem-se que:

Item 11.1. A ocorrência de um estado-limite de serviço pode prejudicar a aparência, a possibilidade de manutenção, a durabilidade, a funcionalidade e o conforto dos ocupantes de um edifício, bem como pode causar danos a equipamentos e materiais de acabamento vinculados ao edifício.

Item 11.2.1. Os valores-limites a serem impostos às respostas da estrutura e que garantem sua plena utilização devem ser escolhidos levando-se em conta as funções previstas para a estrutura e para os materiais a ela vinculados (ABNT NBR 8800, 2008, pág.99).

### 2.9.3 Limitação do índice de esbeltez

De acordo com Pinheiro (2005), estão sujeitas aos estados limites de flambagem por torção ou flexo-torção:

- As barras comprimidas cuja seção transversal seja assimétrica ou tenha apenas um eixo de simetria;
- As barras cuja seção tenha  $C_w = 0$  (ex: seção cruciforme);
- As barras com grandes comprimentos livre à torção;
- As barras compostas de elementos com valores elevados das relações  $b/t$ .

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3.4, o índice de esbeltez das barras comprimidas não deve ser superior a 200. A Equação 1 mostra a relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração.

Onde:

$\lambda$ : Índice de esbeltez:

$$\lambda: \frac{K \times L}{r} \quad \text{Eq. (1)}$$

$K_x \cdot L_x$ : Comprimento de flambagem por flexão, em relação ao eixo X.

$K_y \cdot L_y$ : Comprimento de flambagem por flexão, em relação ao eixo Y.

$r_x, r_y$ : Raios de giração, em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

#### 2.9.4 Resistência à compressão

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3, para resistência à compressão, adota-se a Equação 2:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : é a força axial de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Rd}$ : é a força axial de compressão resistente de cálculo.

#### 2.9.5 Resistência à flexão

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.2, para resistência à flexão, adota-se a Equação 3:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{rd}} \leq 1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

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

$M_{rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo, desfavorável.

#### 2.9.6 Força axial resistente de cálculo

De acordo com ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3.2, para a determinação da força axial resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , de uma barra, associada aos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou por flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela seguinte Equação 4:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot \mathcal{F}_y}{\gamma_{a1}} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$\chi$ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$Q$ : Fator de redução total associado à flambagem local.

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

$f_y$ : Resistência ao escoamento do aço.

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de segurança do material

### 2.9.7 Esforço cortante

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.3, para determinação do esforço cortante, tem-se a seguinte Equação 5:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

$V_{Sd}$ : É a força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Rd}$ : É a força cortante resistente de cálculo.

### 2.9.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.5.1.2, para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, deve ser obedecida a limitação fornecida pelas seguintes expressões de interações na Equação 6:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1 \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

$N_{c,sd}$ : Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

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

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

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Etapas iniciais

Inicialmente, através de pesquisas bibliográficas e em livros, buscou-se compreender melhor as principais características dos aços de modo a facilitar seu entendimento e a forma como o mesmo pode ser utilizado em diversas áreas da construção em geral, e compreender melhor os processos envolvidos para elaboração das estruturas em aço.

Em seguida, foi realizada visita em campo para coletar as medidas necessárias de modo que a estrutura fique posicionada de acordo com a necessidade do projeto em relação ao posicionamento da aplicação das cargas. A estrutura deverá suportar uma carga de 1608 kN em cada um de seus 4 apoios de sustentação (o peso que a estrutura deverá suportar foi informado por uma empresa terceirizada especializada em projetos) totalizando assim uma carga de 6342 kN, conforme a Tabela 5 no anexo A.

#### 3.1.1 Situações do projeto

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes e combinações a utilizar serão de acordo com as prescrições normativas da ABNT NBR 8800 (2008). Definidos os critérios para as combinações de ações de acordo com E.L.U Aço laminado e deslocamentos, as combinações de ações serão geradas através do software Cypecad 3D, uma vez que todas as informações estiverem corretas e ajustadas no programa de acordo com a ABNT NBR 8800 (2008). Os nomes das ações a serem geradas são: Peso Próprio (PP), sobrecarga de utilização (SOBRE.1) e carga de vento (V1), para as eventuais combinações vide anexo A.

#### 3.1.2 Determinação dos Perfis a serem utilizados na estrutura

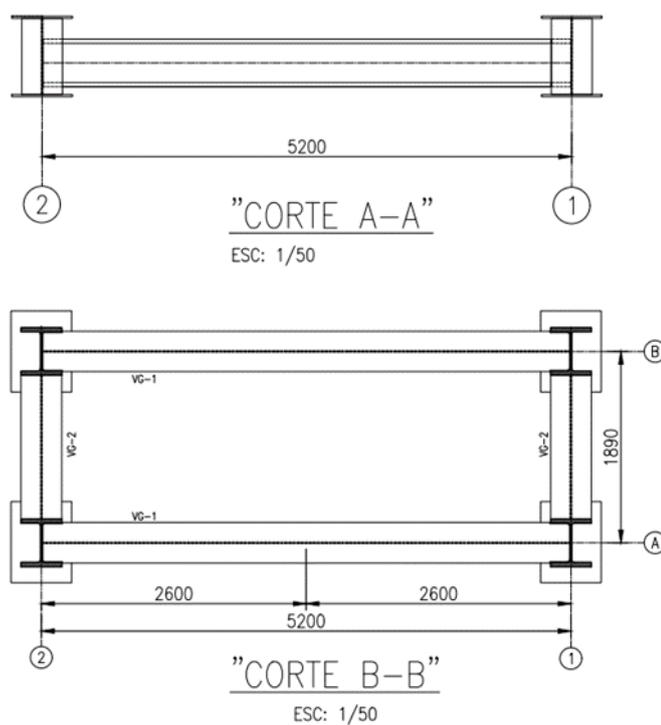
Para escolha dos perfis, foram utilizados perfis soldados (470 x 400 x 41 x 15cm), os mesmos já se encontravam disponíveis na obra, com isso, ocasionou-se um ganho de tempo para execução das atividades, evitando possíveis problemas logísticos. As

características mecânicas dos elementos devem atender à todas as necessidades do projeto. Para a descrição dos materiais utilizados, tipos de peças e quantitativo de materiais, vide anexo B.

### 3.1.3 Desenho da estrutura com utilização do software Autocad

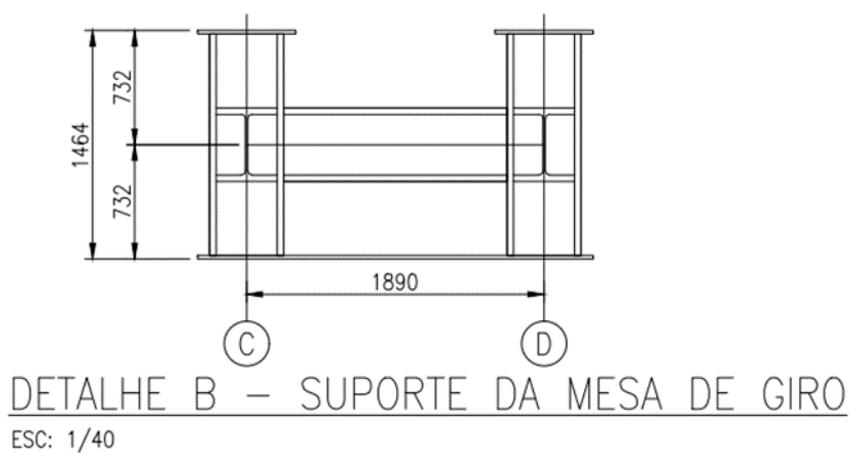
Posteriormente, foi realizado o desenho da estrutura com utilização do software Autocad de acordo com as Figuras 7 e 8. A elaboração do detalhamento é essencial para melhor entendimento da estrutura durante a sua montagem.

Figura 7 - Desenho da estrutura metálica.



Fonte: Própria (2021).

Figura 8 - Desenho da Estrutura metálica.



Fonte: Própria (2021).

### 3.2 Etapa final

Com o desenho em Autocad da estrutura de suportação pronta, os tipos de perfis definidos e os valores definidos referentes as cargas atuantes na estrutura, iniciou-se a elabora o da estrutura no software Cypecad 3D, conforme os dados no Apêndice A.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Divisão dos tipos de peças

A análise dos resultados será feita de forma individualmente em cada elemento da estrutura comparando os resultados obtidos com os parâmetros definidos pela norma ABNT NBR 8800 (2008). A divisão dos elementos se dará por meio dos nós, conforme Tabela 3. A estrutura é constituída por 8 barras (Perfis soldados 470 x 400 x 41 x 15), para Tabela de nós, vide anexo A.

Tabela 3 - Tipos de peças.

Tipos de peças	
Ref.	Peças
1	N1/N2/N3 – Barra 1
2	N4/N5/N6 – Barra 2
3	N7/N9/N10 – Barra 3
4	N8/N11/N12 – Barra 4
5	N3/N4 – Barra 5
6	N3/N7 – Barra 6
7	N4/N8 – Barra 7
8	N7/N8 – Barra 8

Fonte: Própria (2021).

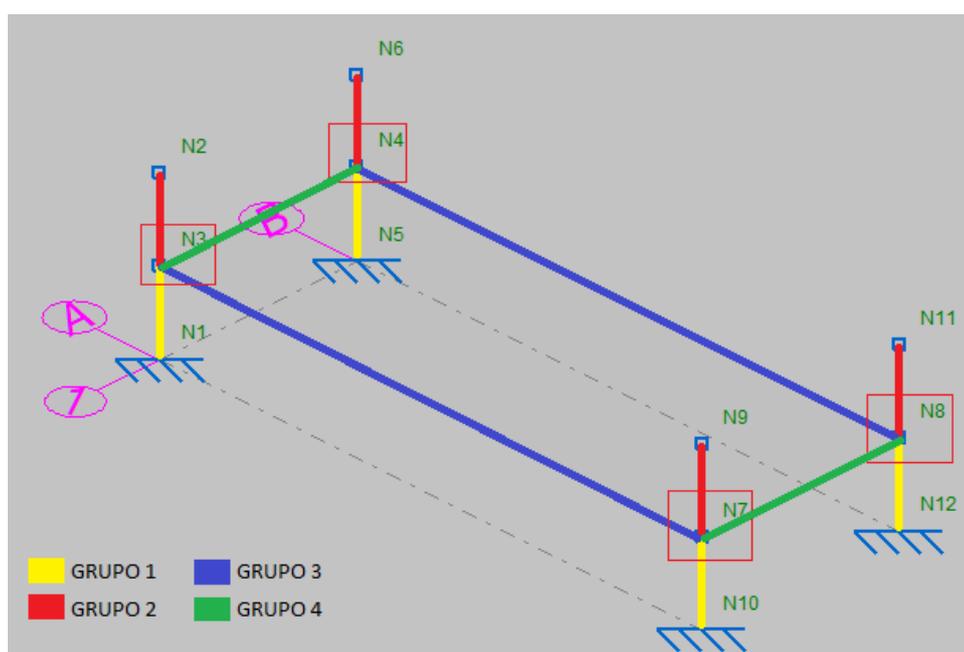
#### 4.1.1 Separação das barras de acordo com sua utilização

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008) são considerados dois tipos de contenção: relativa e nodal. A contenção relativa controla o movimento de um ponto contido em relação aos pontos contidos adjacentes, ao passo que a contenção nodal controla especificamente o movimento do ponto contido, sem interação com os pontos contidos adjacentes. Com isso, um pilar isolado pode ser contido em pontos intermediários ao longo de seu comprimento por contenções relativas ou nodais.

Se tratando de uma estrutura simétrica com os mesmos perfis e com cargas pontuais, de modo à facilitar a análise dos dados, pode-se dividir e separar as barras em 4 grupos de acordo com sua utilização na estrutura e com o posicionamento dos nós, desta maneira é possível obter melhor organização, essa divisão é importante, pois para cada grupo haverá valores diferentes em relação ao Limite do índice de esbeltez, resistência à tração, resistência à compressão, resistência à flexão, resistência ao esforço transversal, resistência ao esforço axial, resistência ao esforço de torção e os esforços dos momentos de torção, força axial, momento fletor e cortante.

No grupo 1 representado pela cor amarela, constarão as barras inferiores: N1/N3, N5/N4, N10/N7 e N12/N8, estas barras estão vinculadas ocasionando diferentes reações em comparação com as demais. No grupo 2 representado pela cor vermelha, constarão as barras superiores: N3/N2, N4/N6, N7/N9 e N8/N11, estas barras sofrerão diferentes deformações em relação às demais, devido estarem na parte superior onde serão aplicadas as sobrecargas. No grupo 3 representado pela cor azul, constarão as barras na longitudinal (vigas) N3/N7 e N4/N8, estas barras receberão principalmente as cargas de peso próprio, ocasionando assim diferentes reações em comparação com as demais, o grupo 4 será composto pelas barras N3/N4 e N7/N8, conforme Figura 9.

Figura 9 - Separação das barras por grupos.



Fonte: Própria (2021).

## 4.2 Análises do grupo 1

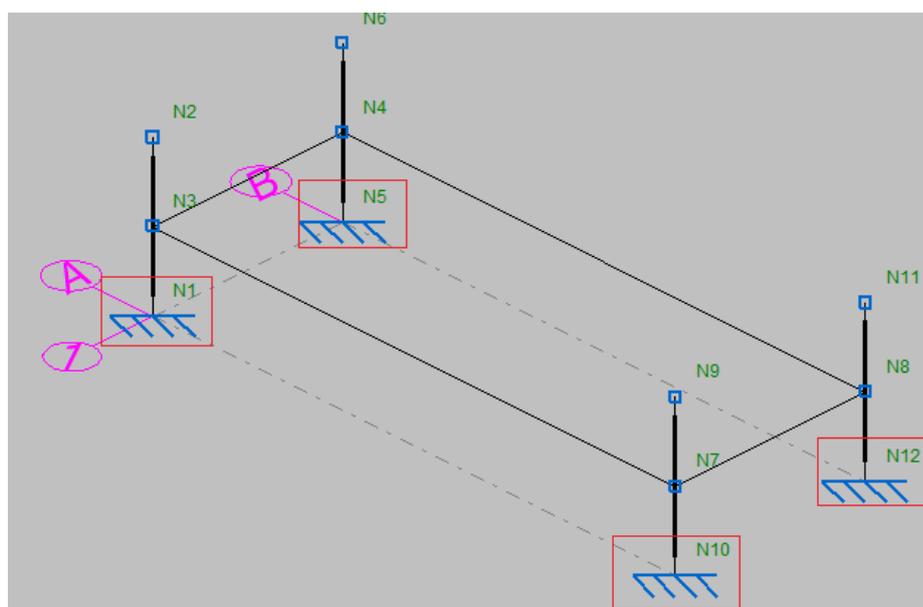
Para os métodos de análise nota-se que as barras 1, 2, 3 e 4, Tabela 3, constituintes dos grupos 1 e 2, se subdividem em duas barras cada devido as influências dos nós N3, N4, N7, N8 contidas nas mesmas, conforme Figura 9. Nesta etapa, serão analisadas somente as barras do grupo 1.

Com isso, tem-se no grupo 1:

- Barra N1/N3. Devido à influência do nó N3;
- Barra N5/N4. Devido à influência do nó N4;
- Barra N10/N7. Devido à influência do nó N7;
- Barra N12/N8. Devido à influência do nó N8.

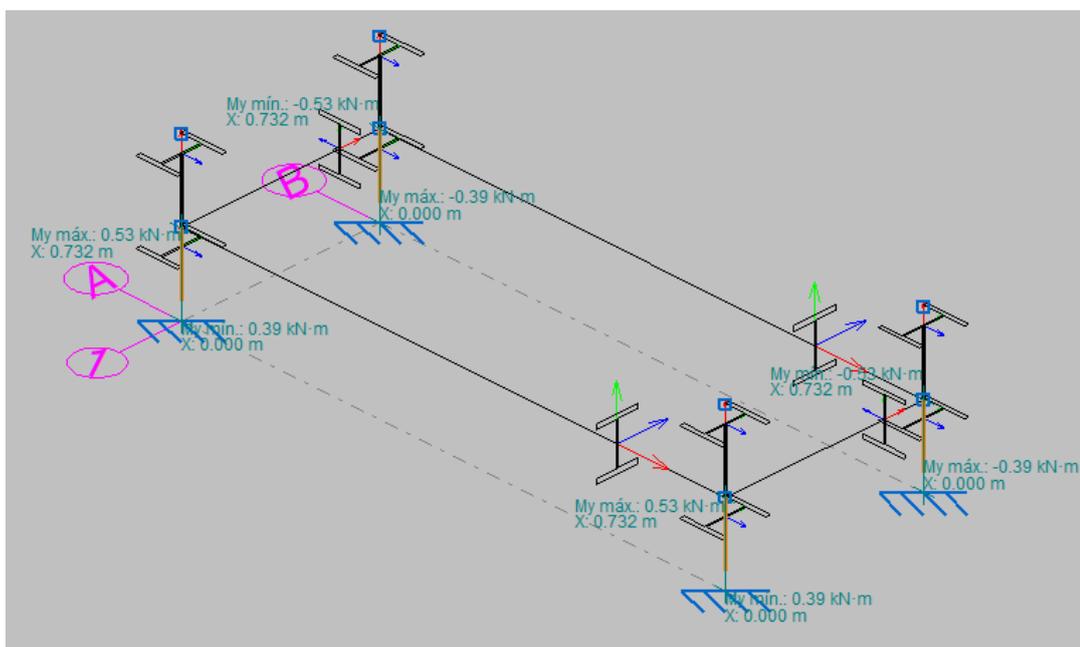
Durante a resistência à compressão, os esforços atuantes de cálculos desfavoráveis, ou seja, onde haverá maiores tensões, devido a atuação das cargas, produz-se nos nós N1, N5, N10, N12 para as combinações de ações 1.5·PP+1.5·SOBRE.1, conforme Figuras 10 e 11. Para reações nos nós por ações vide anexo C.

Figura 10 - Nós N1, N5, N10 e N12.



Fonte: Própria (2021).

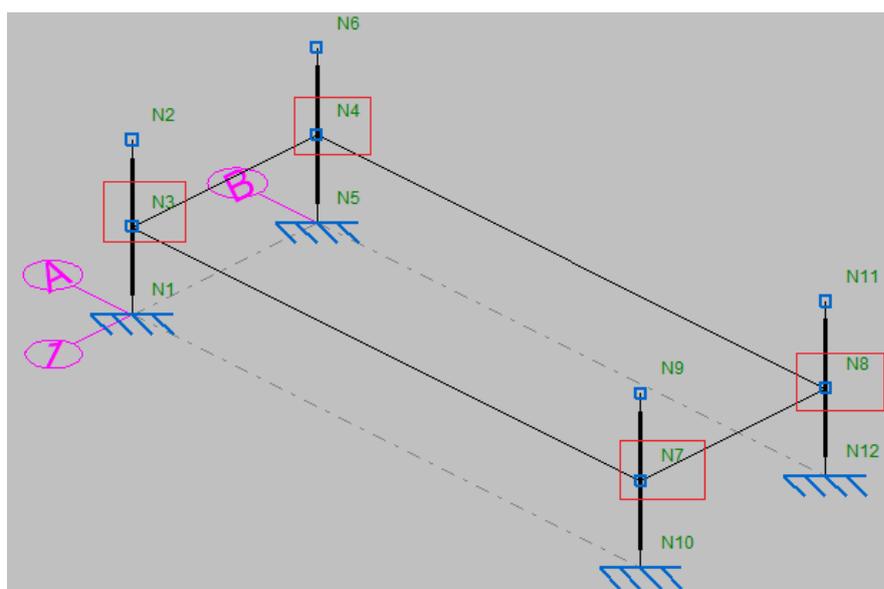
Figura 11 - Reações em Nós N1, N5, N10 e N12.



Fonte: Própria (2021).

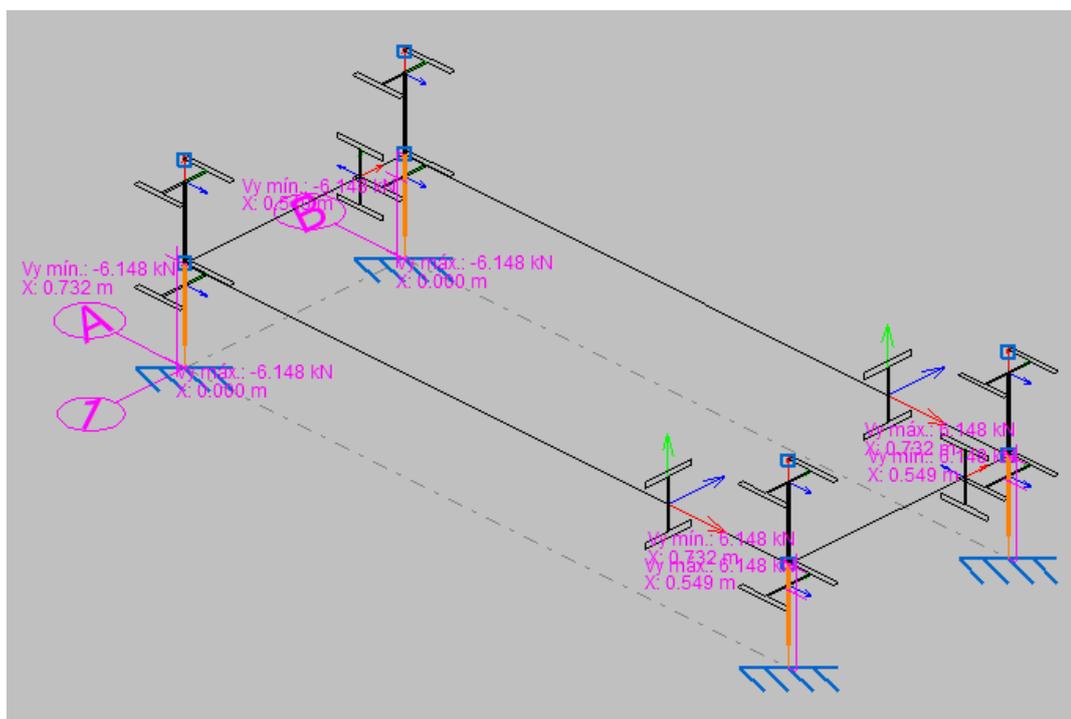
Durante a resistência à flexão nos eixos X e Y e à resistência ao esforço axial e flexão combinados, os esforços atuantes de cálculos desfavoráveis, ou seja, onde haverá maiores tensões, produz-se nos nós N3, N4, N7 N8, conforme Figuras 12 e 13. Para reações nos nós por ações vide anexo C.

Figura 12 - Nós N3, N4, N7 e N8.



Fonte: Própria (2021).

Figura 13 - Reações em Nós N3, N4, N7 e N8.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.1 Limitação do índice de esbeltez

A esbelteza da barra comprimida, tomada como a maior relação entre o comprimento de encurvadura e o raio de rotação correspondente, não deve ser superior a 200 de acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3.4. O valor encontrado foi de  $\lambda = 6.9$  atendendo as especificações da norma.

#### 4.2.2 Resistência à tração

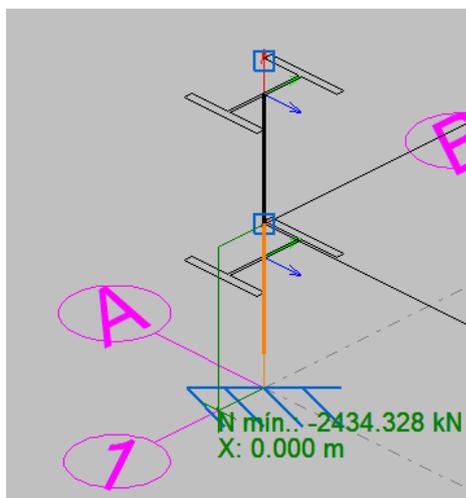
A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração, ou seja, não existe cargas axiais de tração no sentido longitudinal das barras, devido a aplicação axial de compressão causada pela sobrecarga (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.2).

#### 4.2.3 Resistência à compressão

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3, o valor de  $x$  em função ao índice de resistência à compressão não pode ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.278$ , atendendo as especificações da norma. Foi encontrada uma força axial de

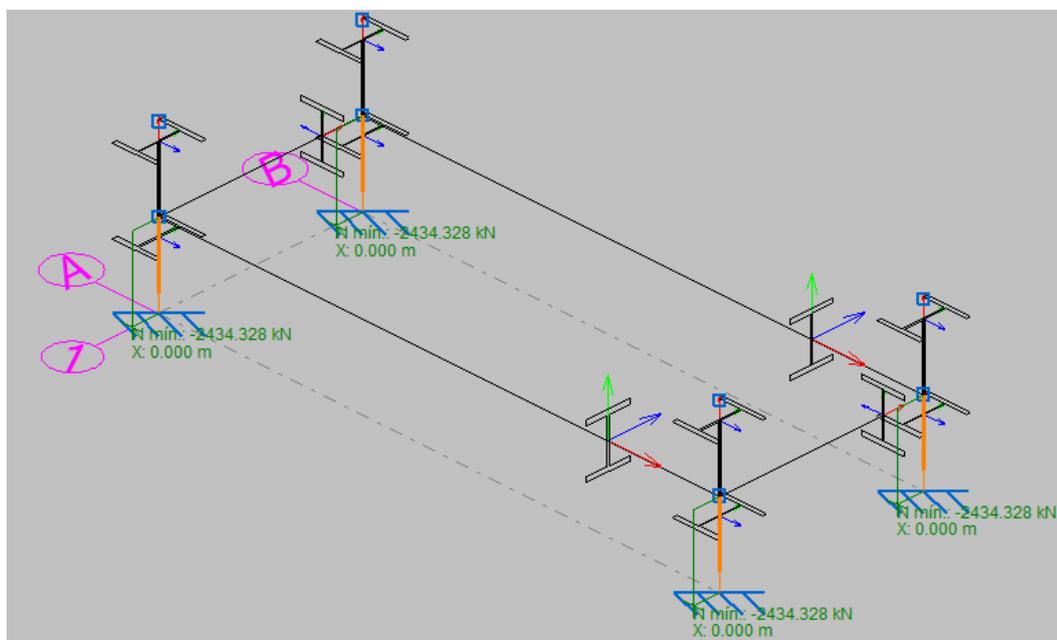
compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd} = 8755.29$ . É possível visualizar as forças axiais de compressão solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $N_{c,Sd} = 2434.33$  kN, atuante nas barras do grupo 1, de acordo com as Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021).

Figura 15 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável nos pilares do grupo 1.

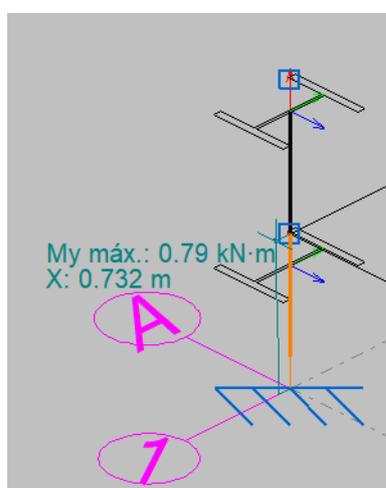


Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.4 Resistência à flexão eixo X

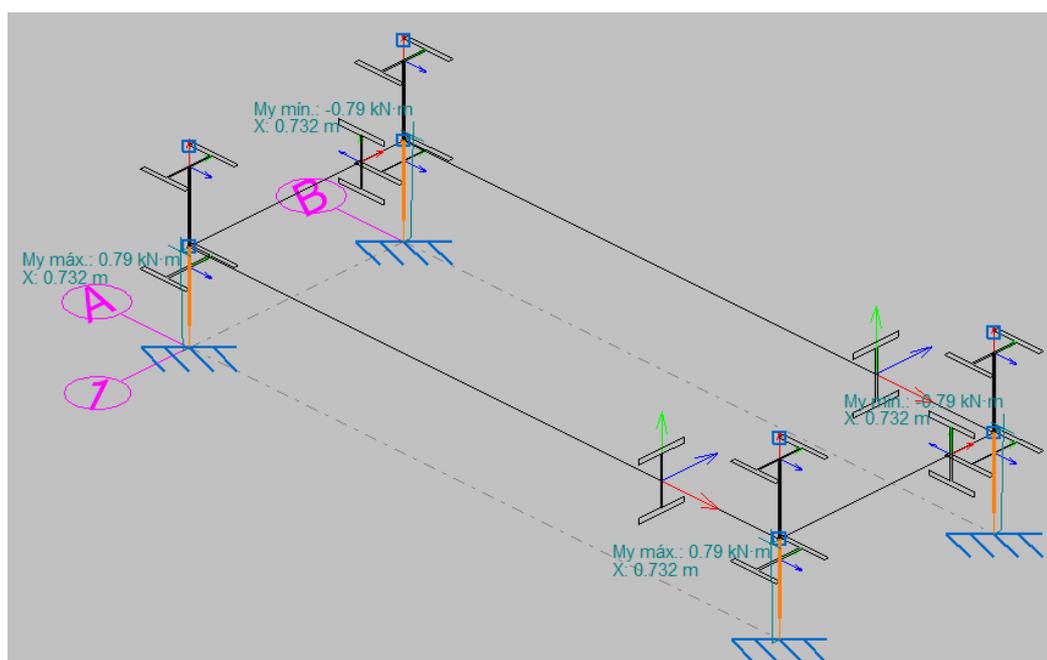
Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.2, o valor para o momento fletor solicitante de cálculo desfavorável não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo as especificações da norma. É possível visualizar o valor referente ao momento fletor solicitante de cálculo desfavorável,  $M_{sd+} = 0.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , atuante nas barras do grupo 1, de acordo com as Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021).

Figura 17 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável nos pilares do grupo 1.

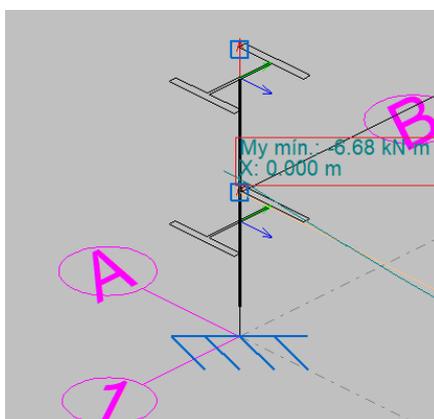


Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.5 Resistência à flexão eixo Y

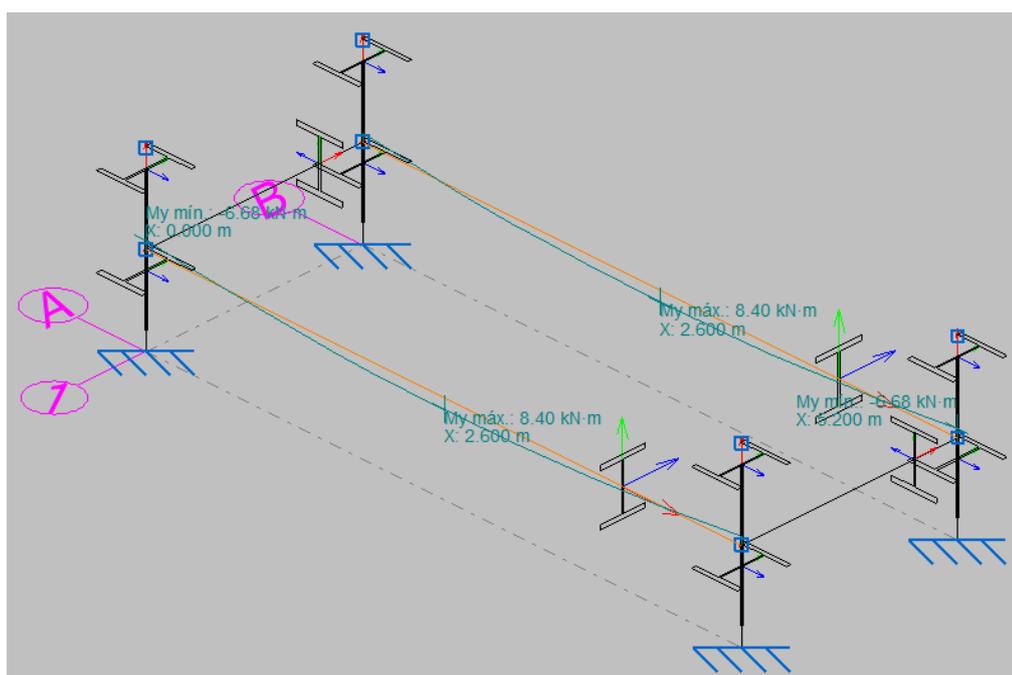
Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.2, o valor para o momento fletor solicitante de cálculo desfavorável não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.009$ , atendendo as especificações da norma. Para o momento fletor resistente de cálculo desfavorável temos,  $M_{Rd} = 745.64 \text{ kN}\cdot\text{m}$ . É possível visualizar o valor referente ao momento fletor solicitante de cálculo desfavorável,  $M_{Sd+} = 6.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , atuante nas barras do grupo 1, de acordo com as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021).

Figura 19 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1.

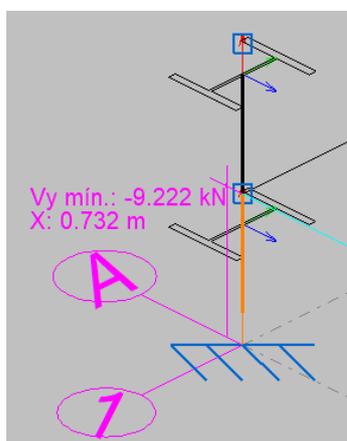


Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.6 Resistência ao esforço transversal X

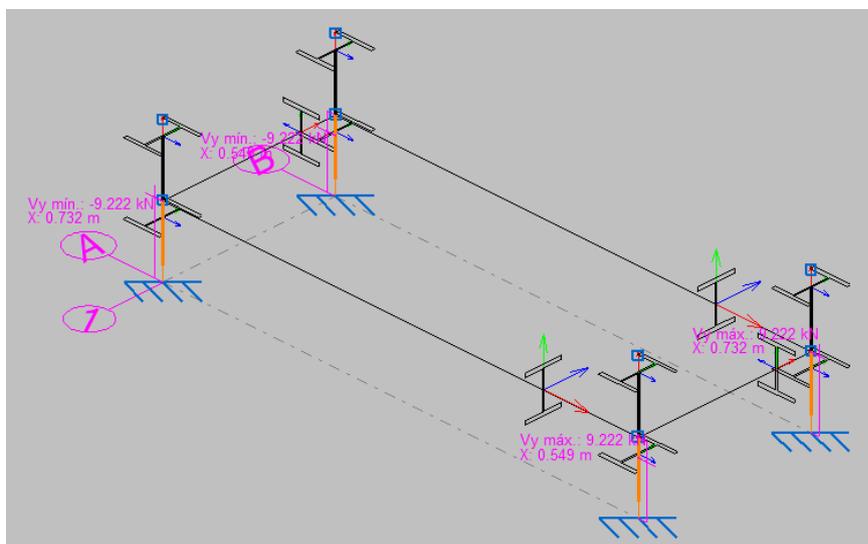
Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.3, o valor resultante obtido para esforço cortante solicitante de cálculo não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.002$ , atendendo aos padrões da norma. O esforço atuante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.5·PP. Para os esforços cortantes resistentes de cálculos desfavoráveis temos,  $V_{Rd} = 4472.73$  kN. É possível visualizar os esforços cortantes solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $V_{Sd} = 9.22$  kN, nas barras do grupo 1, de acordo com as Figuras 20 e 21.

Figura 20 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021).

Figura 21 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1.

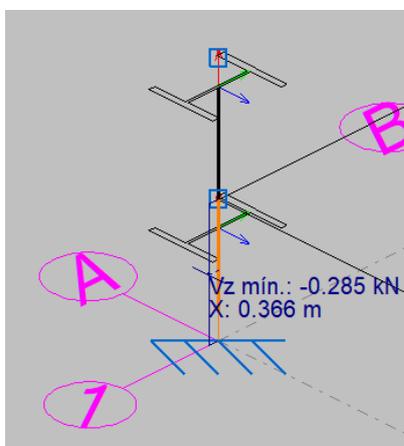


Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.7 Resistência ao esforço transversal Y

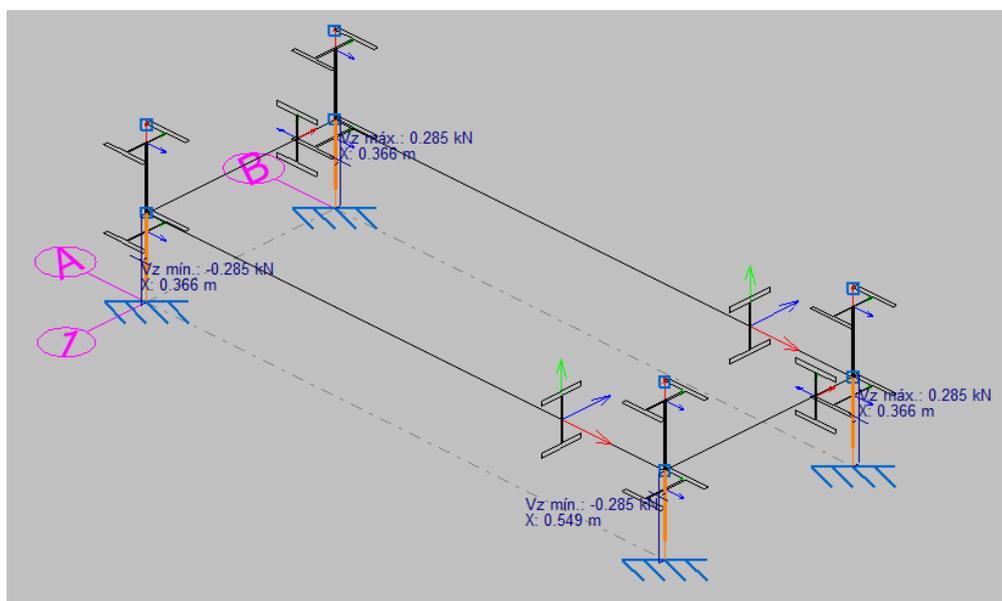
Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.3, o valor resultante obtido para esforço cortante solicitante de cálculo não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo aos padrões da norma. Para os esforços cortantes resistentes de cálculos desfavoráveis temos,  $V_{Rd} = 961,36 \text{ kN}$ . É possível visualizar os esforços cortantes solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $V_{Sd} = 0,29 \text{ kN}$ , nas barras do grupo 1, de acordo com as Figuras 22 e 23.

Figura 22 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021)

Figura 23 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 1.

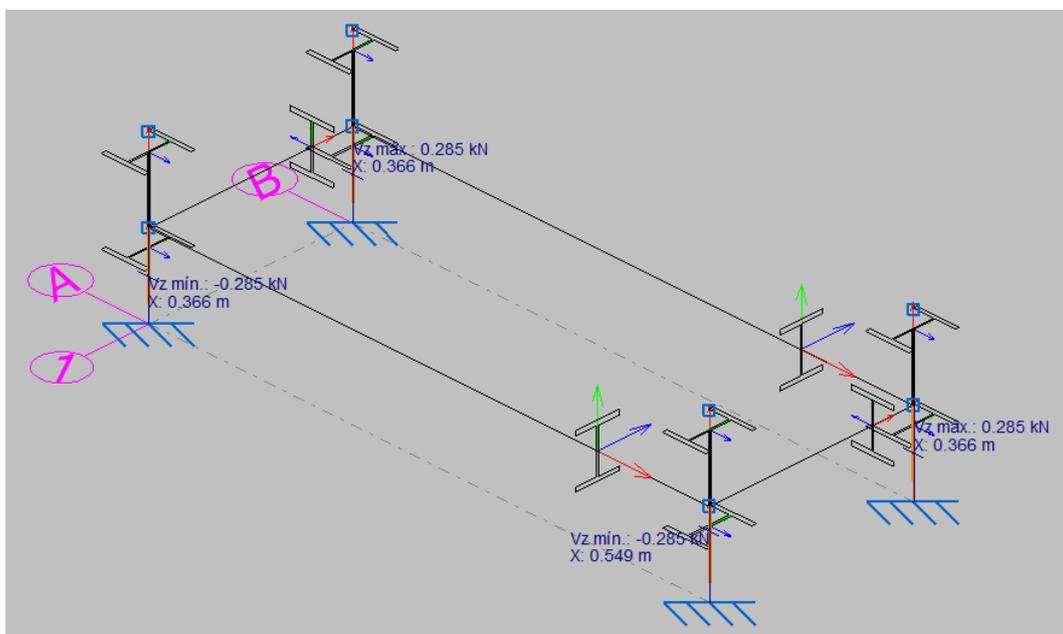


Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.5.1.2, o valor resultante de cálculo para a resistência ao esforço axial e flexão combinados, não deve ser superior a 1. Aplicando os seguintes valores,  $N_{c,Sd} = 2431.06$  kN,  $M_{x,Sd+} = 0.79$  kN,  $M_{y,Sd+} = 6.68$  kN·m,  $N_{c,Rd} = 8755.29$  kN,  $M_{x,Rd} = 1727.30$  kN·m e  $M_{y,Rd} = 745.64$  kN·m na fórmula, o valor obtido foi de  $\eta = 0.286$ , atendendo aos padrões da norma. É possível visualizar as forças axiais de compressão solicitantes de cálculos desfavoráveis em relação às barras do grupo 1, de acordo com Figura 24.

Figura 24 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável das barras grupo 1.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.2.9 Resistência à torção

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor, pois o sentido da força é aplicado somente em uma direção no eixo z, sentido longitudinal das barras (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.1).

#### 4.2.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.2).

### 4.3 Análises do grupo 2

Para os próximos métodos de análise nota-se que as barras 1, 2, 3 e 4, Tabela 3, constituintes dos grupos 1 e 2, se subdividem em duas barras cada devido as influências dos nós N3, N4, N7, N8 contidas nas mesmas, conforme Figura 9. Nesta etapa, serão analisadas somente as barras do grupo 2.

Com isso, tem-se no grupo 2:

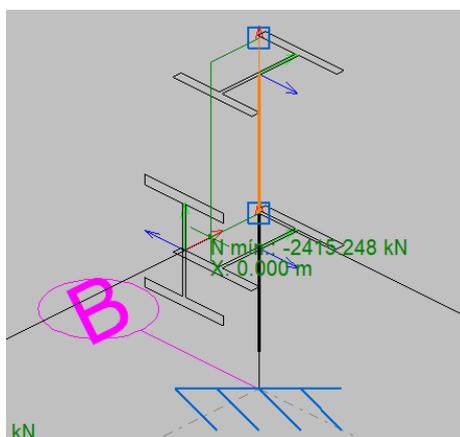
- Barra N3/N2. Devido à influência do nó N3;
- Barra N4/N6. Devido à influência do nó N4;
- Barra N7/N9. Devido à influência do nó N7;
- Barra N8/N11. Devido à influência do nó N8.

Durante a resistência à compressão, os esforços atuantes de cálculos desfavoráveis, ou seja, onde haverá maiores tensões, produz-se nos nós N3, N4, N7 e N8, conforme Figura 25. Para reações nos nós por ações vide Anexo C.



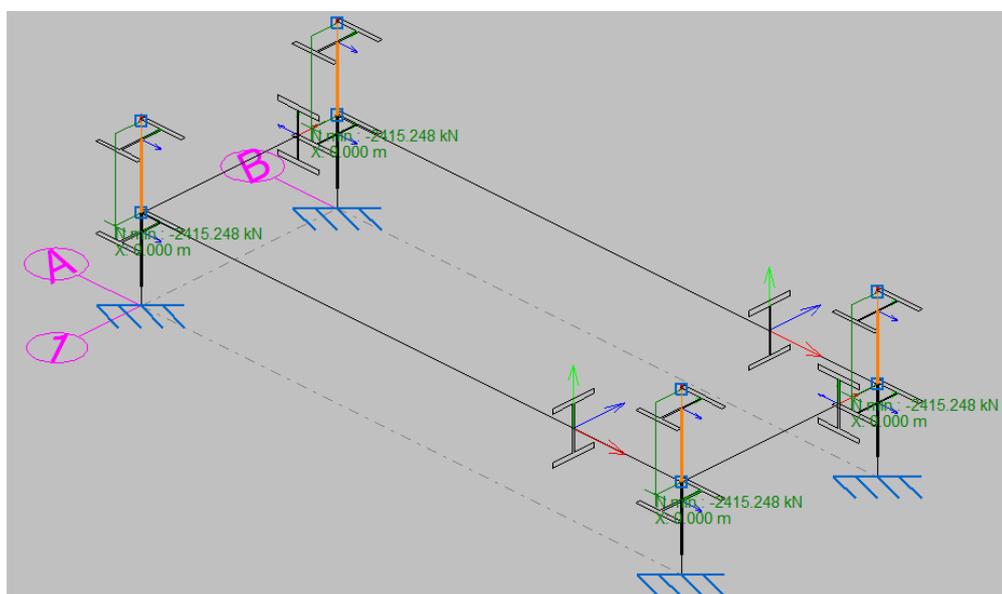
a força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável,  $N_{c,S_d} = 2415.25 \text{ kN}$ , atuante nas barras do grupo 2, de acordo com as Figuras 26 e 27.

Figura 26 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável.



Fonte: Própria (2021).

Figura 27 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável nas barras do grupo 2.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.3.4 Resistência à flexão eixo X

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.2).

#### 4.3.5 Resistência à flexão eixo Y

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.2).

#### 4.3.6 Resistência ao esforço transversal X

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.3).

#### 4.3.7 Resistência ao esforço transversal Y

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.3).

#### 4.3.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.1.2).

#### 4.3.9 Resistência à torção

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.1).

#### 4.3.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária, (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.2).

#### 4.3.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.3).

### 4.4 Análises do grupo 3

Para os próximos métodos de análises, serão consideradas somente a barra 7 (N4/N8) e barra 8 (N7/N8), descritas na Tabela 3. Estas barras constituem o grupo 3, devido suas características e funções na estrutura, como o travamento da estrutura entre os pilares. As mesmas possuem um comprimento de 5,20 m, sendo o maior dentre as barras que constituem a estrutura.

#### 4.4.1 Limitação do índice de esbeltez

A esbelteza da barra comprimida, tomada como a maior relação entre o comprimento de encurvadura e o raio de rotação correspondente, não deve ser superior a 200 de acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3.4. O valor encontrado foi de  $\lambda = 48.9$  atendendo as especificações da norma.

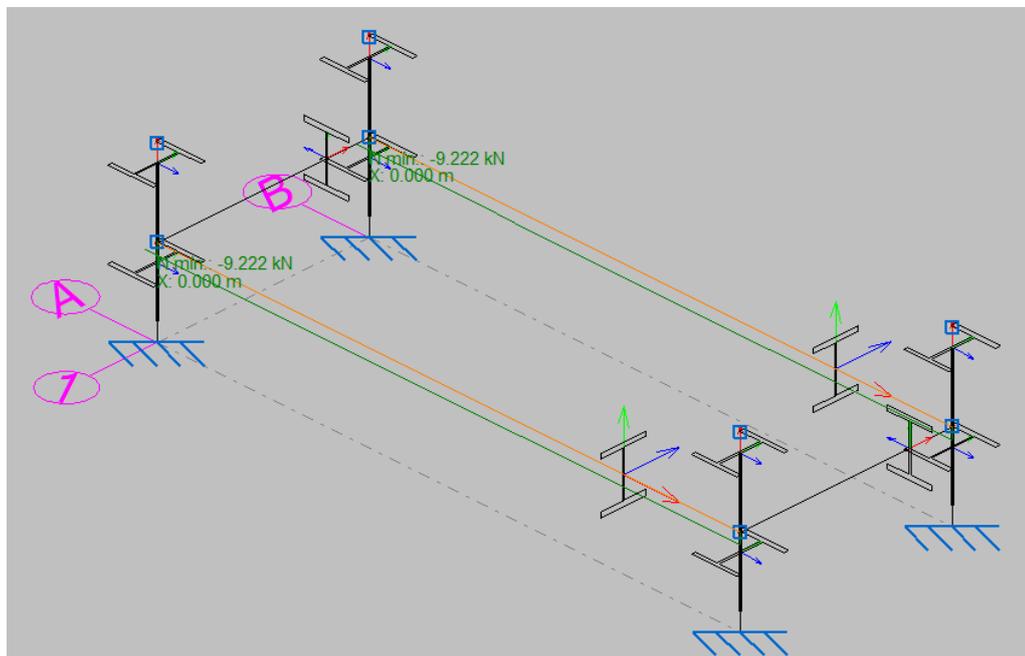
#### 4.4.2 Resistência à tração

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração, ou seja, não existe cargas axiais de tração no sentido longitudinal das barras, devido a aplicação axial de compressão causada pela sobrecarga (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.2).

#### 4.4.3 Resistência à compressão

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3, o valor de  $\chi$  em função ao índice de resistência à compressão não pode ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo as especificações da norma. Para a força axial de compressão resistente de cálculo desfavorável, foi encontrado o valor de,  $N_{c,Rd} = 7733.93$  kN. É possível visualizar a força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável,  $N_{c,Sd} = 9.22$  kN, atuante nas barras do grupo 3, de acordo com a Figura 28.

Figura 28 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3.

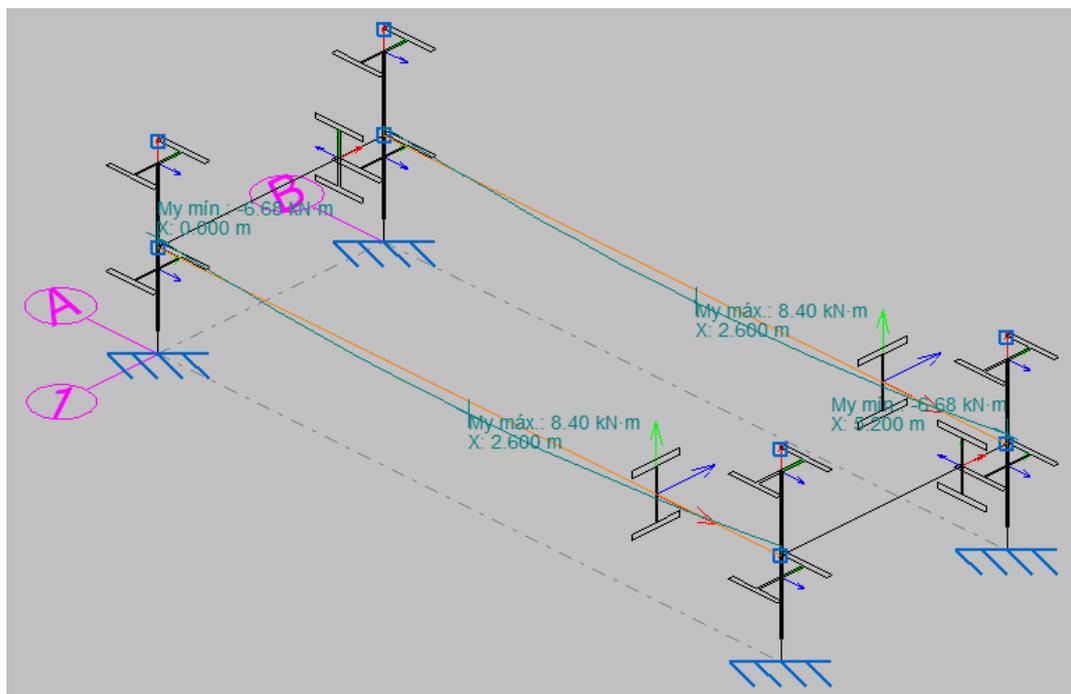


Fonte: Própria (2021).

#### 4.4.4 Resistência à flexão eixo X

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.2, o valor para o momento fletor solicitante de cálculo desfavorável não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo as especificações da norma. É possível visualizar os valores referentes aos momentos fletores solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $M_{sd+} = 8.40$  kN·m, atuantes nas barras do grupo 3, de acordo com a Figura 29.

Figura 29 - Momento fletor solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.4.5 Resistência à flexão eixo Y

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.2).

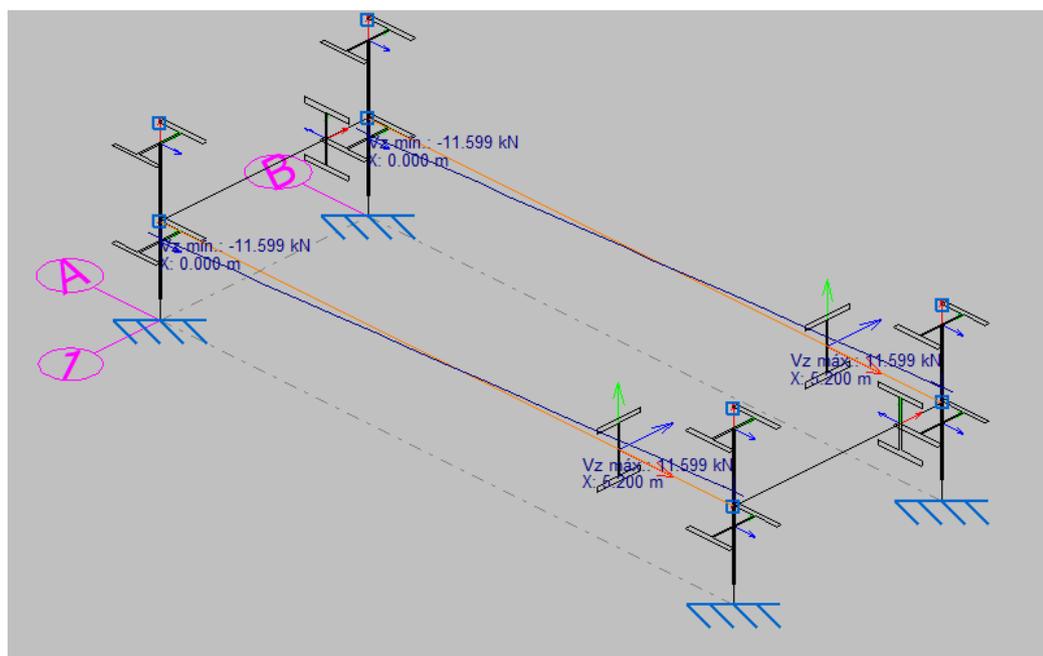
#### 4.4.6 Resistência ao esforço transversal X

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.3).

#### 4.4.7 Resistência ao esforço transversal Y

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.3, o valor resultante obtido para esforço cortante solicitante de cálculo não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0,012$ , atendendo aos padrões da norma. Para os esforços cortantes resistentes de cálculos desfavoráveis temos,  $V_{Rd} = 961,36 \text{ kN}$ . É possível visualizar os esforços cortantes solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $V_{Sd} = 11,60 \text{ kN}$ , nas barras do grupo 3, de acordo com a Figura 30.

Figura 30 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável barras grupo 3.

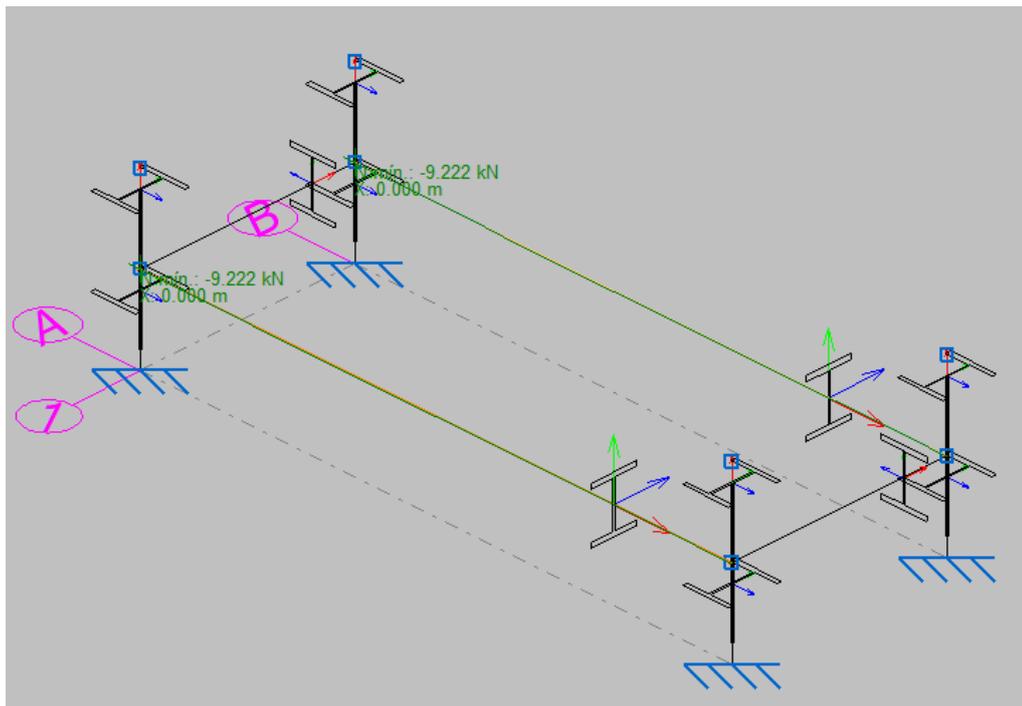


Fonte: Própria (2021).

#### 4.4.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.5.1.2, o valor resultante de cálculo para a resistência ao esforço axial e flexão combinados, não deve ser superior a 1. Aplicando os seguintes valores,  $N_{c,Sd} = 9.22$ , kN,  $M_{x,Sd+} = 8.40$  kN,  $M_{y,Sd+} = 0.00$  kN·m,  $N_{c,Rd} = 7733.93$  kN,  $M_{x,Rd} = 1727.30$  kN·m e  $M_{y,Rd} = 745.64$  kN·m na fórmula, o valor obtido foi de  $\eta = 0.005$ , atendendo aos padrões da norma. É possível visualizar as forças axiais de compressão solicitantes de cálculos desfavoráveis em relação às barras do grupo 3, de acordo com Figura 31.

Figura 31 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável grupo 3.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.4.9 Resistência à torção

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.1).

#### 4.4.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.2).

#### 4.4.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.3).

## 4.5 Análises do grupo 4

Neste grupo constituem-se a barra 8 (N3/N4) e a barra 5 (N7/N8), Tabela 3, estas barras possuem a função de travamento da estrutura entre os pilares, de modo a evitar os seus deslocamentos, com isso, ocasiona-se esforços nestas barras, que serão analisados a seguir.

### 4.5.1 Limitação do índice de esbeltez

A esbelteza da barra comprimida, tomada como a maior relação entre o comprimento de encurvadura e o raio de rotação correspondente, não deve ser superior a 200 de acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3.4. O valor encontrado foi de  $\lambda = 17.8$  atendendo as especificações da norma.

### 4.5.2 Resistência à tração

A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração, ou seja, não existe cargas axiais de tração no sentido longitudinal das barras, devido a aplicação axial de compressão causada pela sobrecarga (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.2).

### 4.5.3 Resistência à compressão

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.3, o valor de  $\eta$  em função ao índice de resistência à compressão não pode ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo as especificações da norma. Para a força axial de compressão resistente de cálculo desfavorável, foi encontrado o valor de,  $N_{c,Rd} = 8631.76$  kN. Para a força a força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável, foi encontrado,  $N_{c,Sd} = 0.29$  kN, atuante nas barras do grupo 4.

### 4.5.4 Resistência a flexão eixo X

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.2, o valor para o momento fletor solicitante de cálculo desfavorável não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.001$ , atendendo as especificações da norma. Para a resistência ao momento

fletor solicitante de cálculo desfavorável, foi encontrado o valor de,  $M_{Sd+} = 1.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , atuante nas barras do grupo 4.

#### 4.5.5 Resistência à flexão eixo Y

A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.4.2).

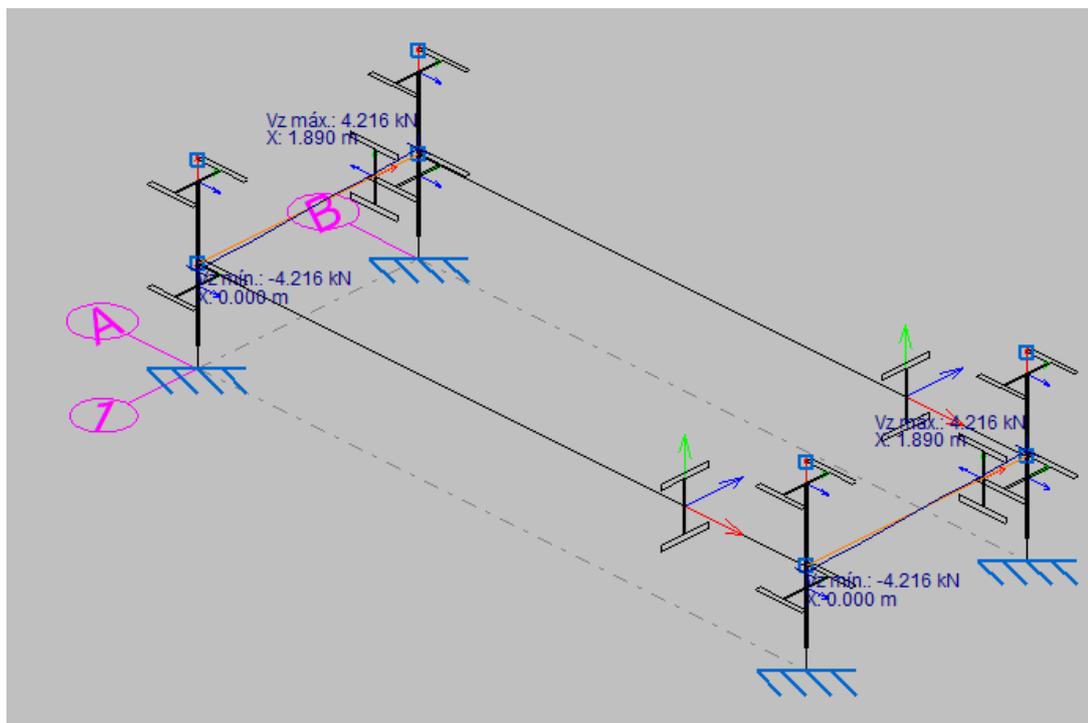
#### 4.5.6 Resistência ao esforço transversal X

A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.

#### 4.5.7 Resistência ao esforço transversal Y

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.4.3, o valor resultante obtido para esforço cortante solicitante de cálculo não deve ser superior a 1. O valor obtido foi de  $\eta = 0.004$ , atendendo aos padrões da norma. Para os esforços cortantes resistentes de cálculo temos,  $V_{Rd} = 961,36 \text{ kN}$ . É possível visualizar as forças axiais de compressão solicitantes de cálculos desfavoráveis,  $V_{Sd} = 4.22 \text{ kN}$ , nas barras do grupo 4, de acordo com a Figura 32.

Figura 32 - Esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável, barras grupo 4.

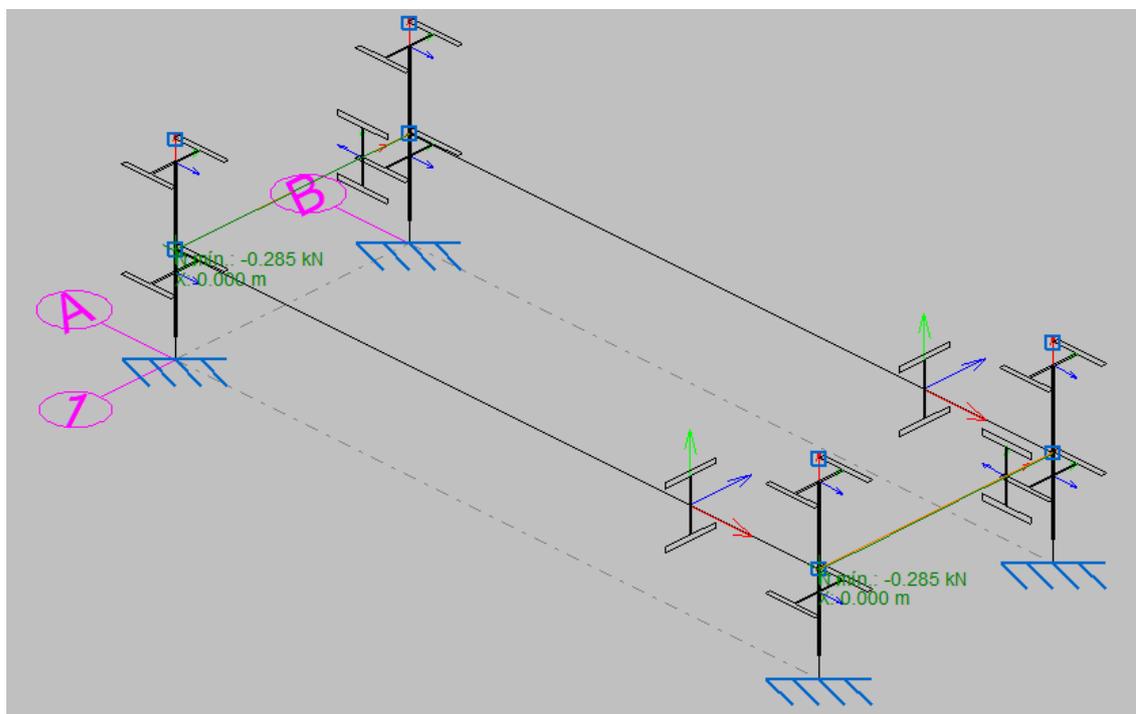


Fonte: Própria (2021).

#### 4.5.8 Resistência ao esforço axial e flexão combinados

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), artigo 5.5.1.2, o valor resultante de cálculo para a resistência ao esforço axial e flexão combinados, não deve ser superior a 1. Aplicando os seguintes valores,  $N_{c,Sd} = 0,29 \text{ kN}$ ,  $M_{x,Sd+} = 1,20 \text{ kN}$ ,  $N_{c,Rd} = 8631,76 \text{ kN}$ ,  $M_{x,Rd} = 1727,30 \text{ kN}\cdot\text{m}$  e  $M_{y,Rd} = 745,64 \text{ kN}\cdot\text{m}$  na fórmula, o valor obtido foi de  $\eta = 0,001$ , atendendo aos padrões da norma. É possível visualizar as forças axiais de compressão solicitantes de cálculos desfavoráveis em relação às barras do grupo 4, de acordo com Figura 33.

Figura 33 - Força axial de compressão solicitante de cálculo desfavorável, barras grupo 4.



Fonte: Própria (2021).

#### 4.5.9 Resistência à torção

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.1).

#### 4.5.10 Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.2).

#### 4.5.11 Resistência a interações de esforços e momento de torção

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária (ABNT NBR 8800:2008, artigo 5.5.2.3).

#### **4.6 Resumo das análises**

De forma geral todas as verificações tiveram êxito quanto à verificação das resistências aos esforços causados em relação as cargas na estrutura. Para mais detalhes em relação aos valores das envolventes dos esforços por barras, vide anexo D. Para mais detalhes quanto a verificação de resistência dos elementos e Tabela resumo, vide anexo E.

## 5 CONCLUSÕES

A crescente utilização do aço na construção civil é um reflexo de suas vantagens em relação a outros materiais existentes no mercado. Atualmente o aço pode ser empregado de diversas maneiras, cumprindo funções estruturais como também funções estéticas, essa versatilidade faz com que a busca e utilização deste material se torne cada vez mais comuns nos variados modelos de construções na atualidade. Optar pela utilização dos aços nos modelos de construções podem gerar diversos fatores importantes como em relação à economia, rapidez na execução da obra dentre outros.

Para a execução de um dimensionamento de uma estrutura, existem vários fatores que são condicionantes para o cálculo, é de suma importância durante o processo de planejamento verificar qual a real necessidade de utilização da estrutura, ou seja, sua finalidade de aplicação, o local ao qual a mesma estará inserida e os materiais que serão utilizados. Um planejamento adequado é essencial para que todas as etapas e processos de construção estejam mapeados a fim de evitar erros e eventuais imprevistos.

Com a crescente evolução da tecnologia, a utilização de softwares para dimensionamentos de estruturas se tornou mais abrangente. Atualmente, para cada situação de projeto, existem diversas opções de softwares que auxiliam nos processos de modelagens e análises estruturais. O Cypecad 3D se mostrou uma ferramenta importante durante a execução do projeto, pois a utilização deste software permite maior produtividade e confiabilidade nos resultados.

O Cypecad é uma ferramenta confiável, pois segue todas as prescrições e verificações da (ABNT NBR 8800, 2008) e normas correlatas, além de possuir uma gama de opções de perfis e elementos de construção e uma fácil visualização da estrutura em modo 3D. O programa apresentou eficiência durante a obtenção dos resultados. Possui uma boa interface o que proporciona facilidade durante sua execução, não possui complexidade durante execução dos comandos, se tornando assim uma boa para dimensionamento e análise de variados modelos de estruturas.

A análise dos resultados teve embasamento no estudo da literatura e nas normas técnicas em relação ao dimensionamento de estruturas com elementos metálicos. Com o Cypecad 3D, é possível gerar relatórios precisos de todas as barras e nós constituintes da estrutura quanto aos diversos esforços atuando sobre os mesmos. A estrutura demonstrou compatibilidade com os parâmetros e prescrições em relação à ABNT NBR 8800 (2008), todas as verificações quanto ao limite de esbeltez dos perfis, resistência à tração, compressão, torção e esforços fletores e cortantes foram atendidas, portanto pode se concluir que a estrutura suportará a carga sem que ocorra deformações excessivas em cada um dos seus elementos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 8800. (2008). Em *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios* (p. 237). Rio de Janeiro.
- Adorna, D. d. (2017). *Estruturas*. Porto Alegre : SAGAH.
- Chaves, M. R. (12 de 03 de 2007). *Dissertação Mestrado*. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil: Autor. Fonte: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6037/1/DISSERTA%2087%20Avalia%20a%20DesempenhoSolu%20a%20b5es%20.pdf>
- Chodraui, G. M. (2006). Análise Teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão . *Tese de Doutorado*. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Frantz, J. L. (12 de 2011). Dimensionamento de pavilhão industrial com estrutura em aço. Santa Cruz do Sul. Fonte: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1126/1/Josiane%20Luiza%20Frantz.pdf>
- Fusco, P. B., & Onishi, M. (2017). *Introdução à engenharia de estruturas de concreto*. São Paulo: Cengage Learning.
- Gardner, L., Saari, N., & Wang, F. (2010). Comparative experimental study of hot-rolled and cold formed rectangular hollow sections . Londres, Inglaterra .
- H.Bellei, I., O.Pinho, F., & O.Pinho, M. (2008). *Edifícios de múltiplos andares em aço*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Pini Ltda.
- JP, T. (04 de Junho de 2017). *Travel.JP*. Acesso em 26 de 10 de 2021, disponível em Travel.JP: <https://4travel.jp/travelogue/11251475>
- Kiminami, C. S., Castro, W. B., & Oliveira, M. F. (2013). *Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Bluncher. Fonte: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521206835/pageid/4>
- Paulino, L. T. (2009). Trabalho de Diplomação. *Estudo de resistência a flambagem em perfis formados a frio*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Pfeil, W. (2008). *Estruturas de Aço*. Rio de Janeiro: LTC.
- Pfeil, W. (2009). *Estruturas de aço* (Vol. 9). Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. Fonte:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2818-7/cfi/6/2!/4/2/2@0:0>

- Pinedo, C. E. (2021). *Tratamentos Térmicos e superficiais dos aços*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda.
- Pinheiro, A. C. (2005). *Estruturas Metálicas*. São Paulo: Bluncher. Fonte: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215325/pageid/4>
- Rabelo, J. M., & Júnior, N. M. (02 de Dezembro de 2019). Dimensionamento de galpão em estrutura metálica pelo Software CYPECAD 3D. *Trabalho de conclusão de curso*. Goianésia, Goias, Brasil.
- Santos, G. A. (2019). *Tecnologia dos materiais metálicos*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Saraiva Educação. Fonte: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532523/cfi/1!/4/4@0.00:0.00>
- Thelma. (30 de Setembro de 2015). *Arquitetando na Net*. Fonte: Blogger: <https://arquitetandonanet.blogspot.com/2015/09/edificio-casa-do-comercio-salvador-bahia.html>
- Vale. (07 de 08 de 2015). *Vale Brasil*. Acesso em 20 de 05 de 2021, disponível em Vale: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/comeca-montagem-sistema-truckless-s11d.aspx>
- Velasco, P. C., Lima, L. R., Andrade, S. A., Velasco, M. M., & Silva, L. A. (2014). *Modelagem de estruturas de aço e mistas*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda.
- Vieira, G. S. (2010). Análise experimental de vigas de seção "I" compostas de perfis formados a frio com emendas soldadas, submetidas à flexão simples. *Dissertação de Mestrado*. Goiânia, Goiás, Brasil.

## APÊNDICE A

### Elaboração da estrutura com utilização do software Cypecad 3D

1) De imediato foram definidas as Normas e padrões a serem utilizados. Para elaboração da estrutura, foram utilizadas as normas (ABNT NBR 8800, 2008) de acordo com a Figura 34.

Figura 34 - Normas e padrões definidos em Cype 3D.

The screenshot shows the 'Normas e padrões' configuration window in Cypecad 3D. The window is titled 'Obra vazia' and contains the following sections:

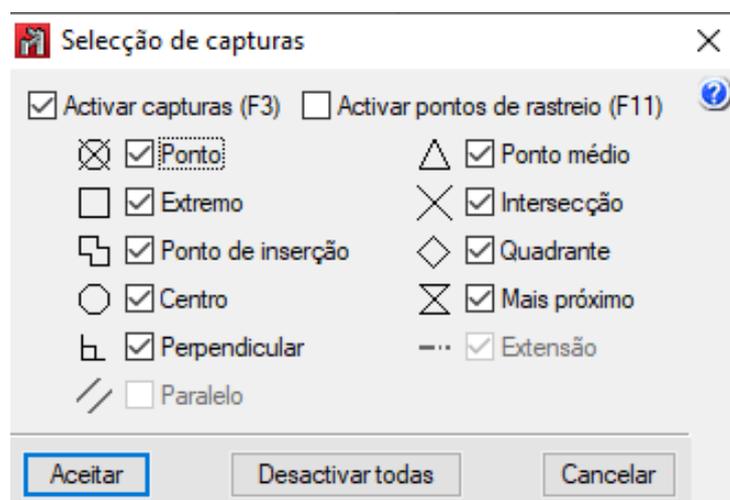
- Normas:** A text field containing 'ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, Eurocódigo 5 e Eurocódigo 9'.
- Perfis:** A list of material profiles with dropdown menus:
  - Aço laminado: A-36 250Mpa
  - Aço enformado: CF-26
  - Madeira: Serrada, procedente de coníferas ou ...
  - Alumínio: EN AW-5083 - F
  - Betão: C20, em geral
- Betão armado:** A list of reinforced concrete parameters:
  - Betão para pilares: C20, em geral
  - Betão para vigas de laje: C20, em geral
  - Betão para elementos de fundação: C20, em geral
  - Aço de varões: CA-50 e CA-60
  - Características do agregado: Granito (15 mm), 30 mm
- Recobrimentos:** A button labeled 'Recobrimentos'.
- Desperdícios de aço:** A button labeled 'Desperdícios de aço'.
- Acções:** A section with a checkbox 'Com sismo dinâmico' (unchecked) and several buttons: 'Resistência ao fogo', 'Estados limite (combinações)', 'Acções adicionais', 'Fundação', and 'Processo construtivo'.
- Terreno de fundação:** A section with a checkbox 'Verificar deslizamento de sapatas' (unchecked) and several input fields:
  - Aderência (a'): 0.000 MPa
  - Ângulo de atrito terreno-sapata (d'): 25.00 graus
  - Combinações fundamentais: 0.200 MPa
  - Combinações sísmicas e acidentais: 0.300 MPa
- Ambiente:** A section with two buttons: 'Vigas' (CAA I) and 'Maciços' (CAA I).

At the bottom of the window, there are buttons for 'Cancelar', '< Anterior', 'Seguinte >', and 'Terminar'.

Fonte: Própria (2021).

2) Em seguida foram definidos os parâmetros do software visando facilitar a execução do detalhamento no Cypecad 3D, de acordo com a Figura 35.

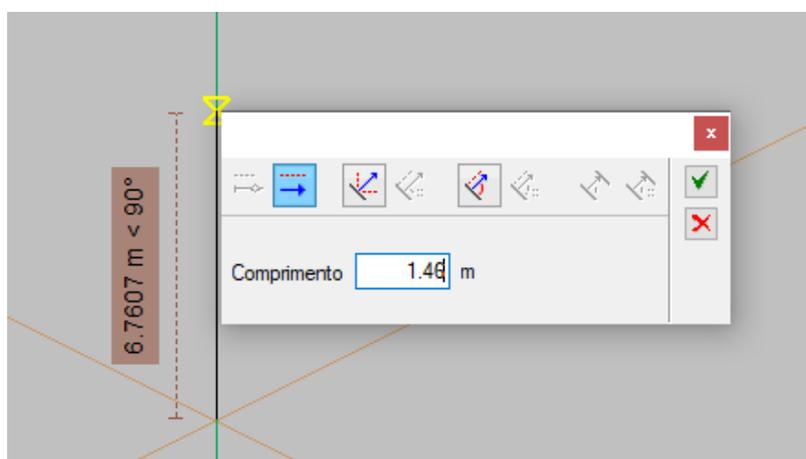
Figura 35 – Parâmetros iniciais.



Fonte: Própria, com auxílio do Cypecad 3D (2021).

3) Em seguida, deu-se início ao lançamento das barras na vertical, com perfis 470 x 400 x 41 x 15cm com altura de 1,46m, conforme mostra Figura 36.

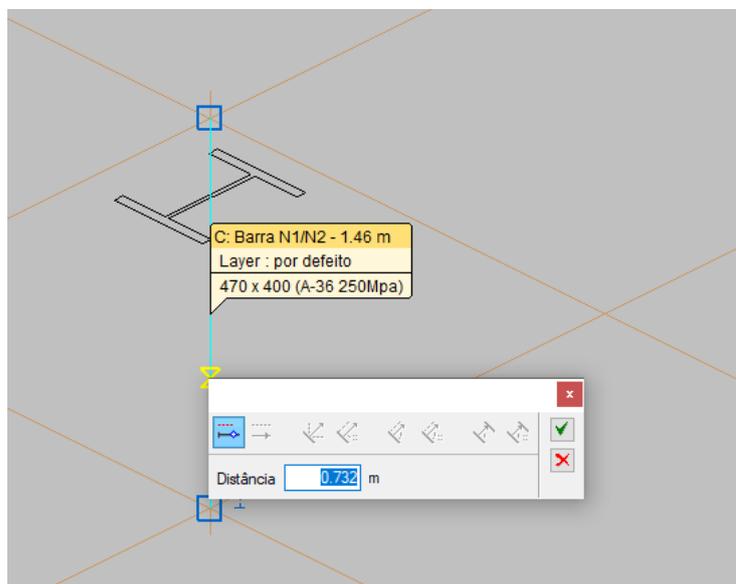
Figura 36 - Lançamento de barra N1.



Fonte: Própria (2021).

4) Após o lançamento da primeira barra na vertical, define-se uma altura de 0,732m, ou seja, a metade da altura referente a barra 1, de acordo com Figura 37. A partir daí, inicia-se o lançamento das vigas de travamento no sentido horizontal.

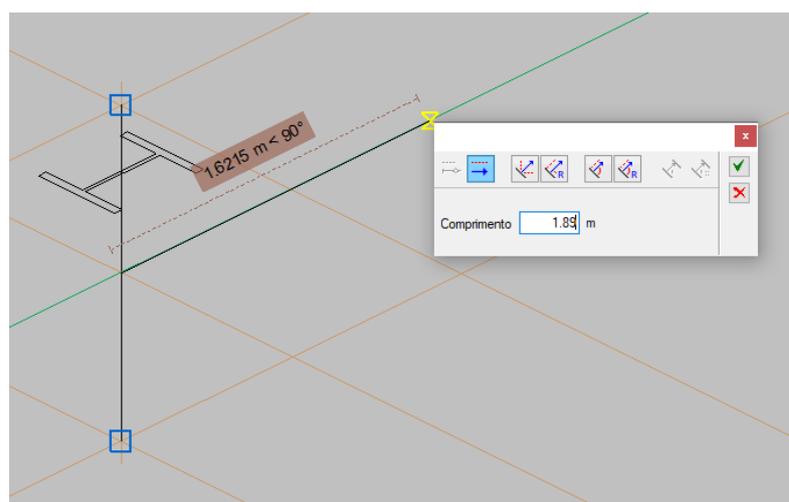
Figura 37 - Definição de altura para lançamento de viga de travamento.



Fonte: Própria (2021).

5) Com a altura de 0,732m definida em relação à barra 1, inicia-se o lançamento da 1ª viga de travamento na horizontal com comprimento de 1,89m, Figura 38. Todos os comprimentos sempre respeitando as dimensões do projeto.

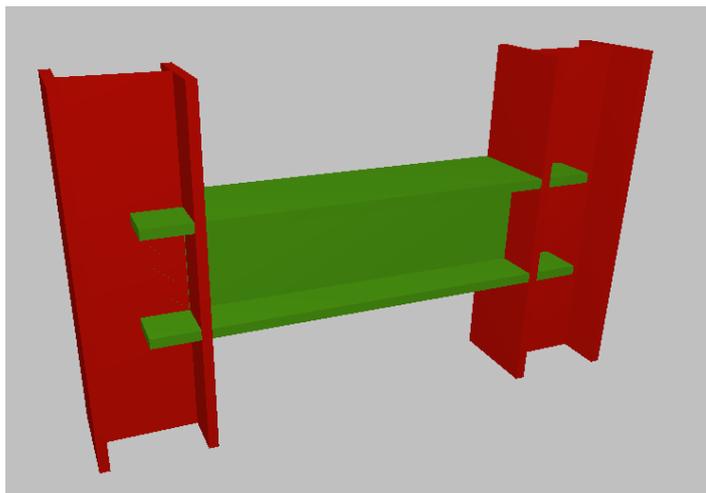
Figura 38 - Lançamento de viga de travamento.



Fonte: Própria (2021).

6) Após concluídos os processos anteriores, é realizado a cópia da barra N1 na vertical, a mesma é posicionada ao lado oposto da viga de travamento na horizontal, de acordo com Figura 39.

Figura 39 - Vista 3D.



Fonte: Própria (2021).

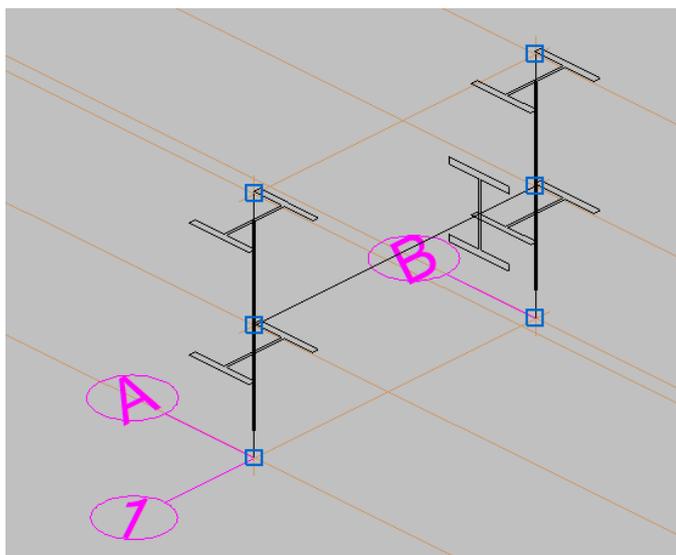
7) É de suma importância a definição dos eixos de referência na estrutura. Nesta etapa, definem-se os eixos da estrutura, de modo a facilitar durante o processo de montagem a identificação de cada elemento e sua posição. Inicialmente foram definidos os eixos A e B na direção Y, seguidos da posição 1 e 2 na direção x, conforme Figuras 40 e 41.

Figura 40 - Definição dos eixos direção X e Y.

Linhas na direção X			Linhas na direção Y		
Etiqueta	Coordenada	Posição da etiqueta	Etiqueta	Coordenada	Posição da etiqueta
1	0.000	Origem	A	0.000	Origem
2	5.200	Origem	B	1.890	Origem

Fonte: Própria (2021).

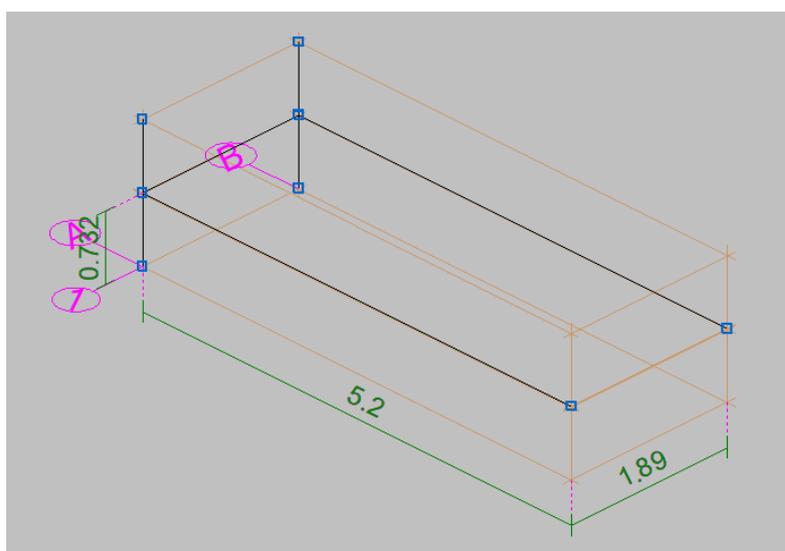
Figura 41 - Definição dos eixos e posições.



Fonte: Própria (2021).

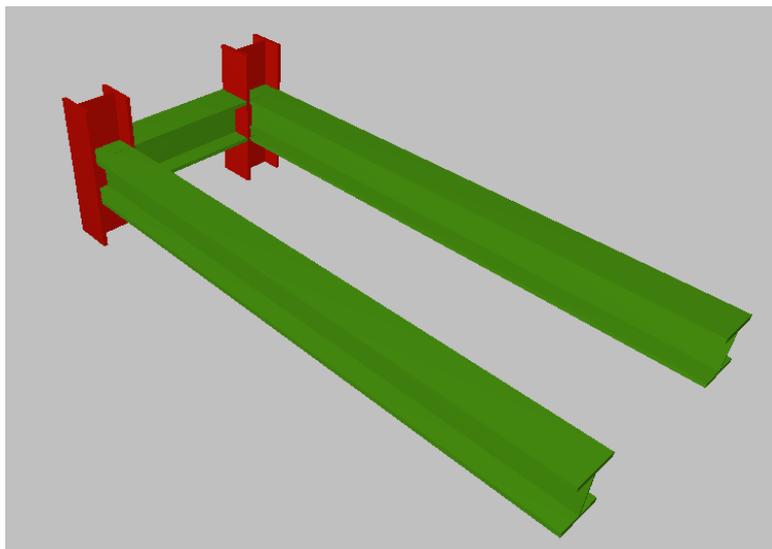
8) Após a definição dos eixos, a próxima etapa constitui-se no lançamento das vigas na longitudinal, ou seja, no sentido horizontal. As mesmas serão posicionadas a uma altura de 0,735m em relação aos eixos A e B, com comprimento de 5,2m, conforme Figuras 42 e 43.

Figura 42 - Lançamento das vigas na longitudinal.



Fonte: Própria (2021).

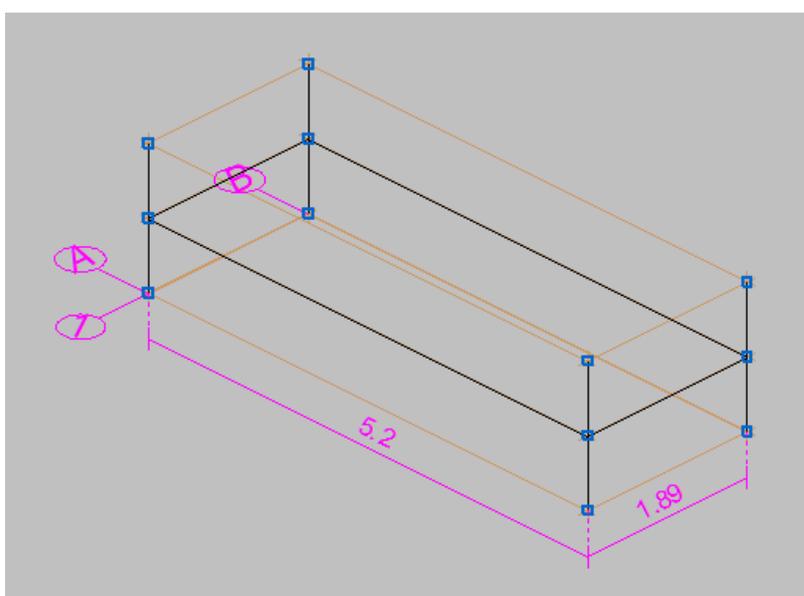
Figura 43 - Vista 3D, lançamento das vigas na longitudinal.



Fonte: Própria (2021).

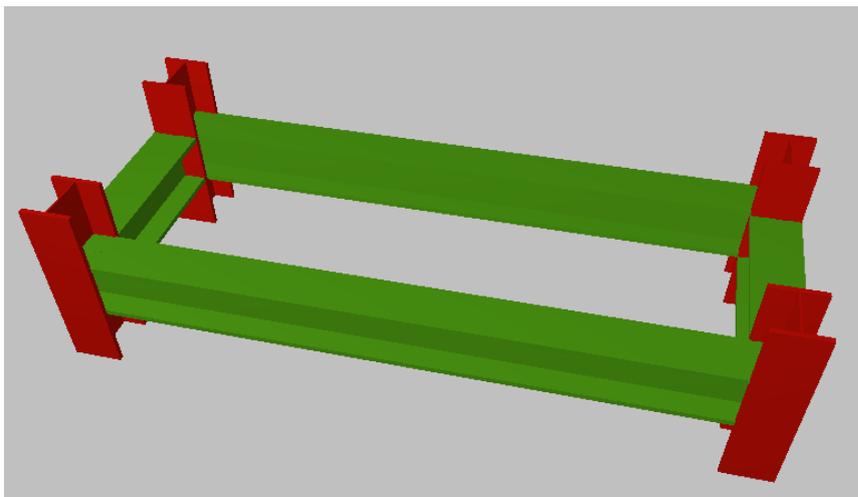
9) Devido a simetria da estrutura, em sequência, foi efetuado a cópia dos eixos A e B juntamente com a viga de travamento para uma distância de 5,2m no sentido longitudinal para a outra extremidade da estrutura, conforme Figuras 44, 45 e 46, concluindo o fechamento dos perfis constituintes da estrutura.

Figura 44 - Estrutura completa.



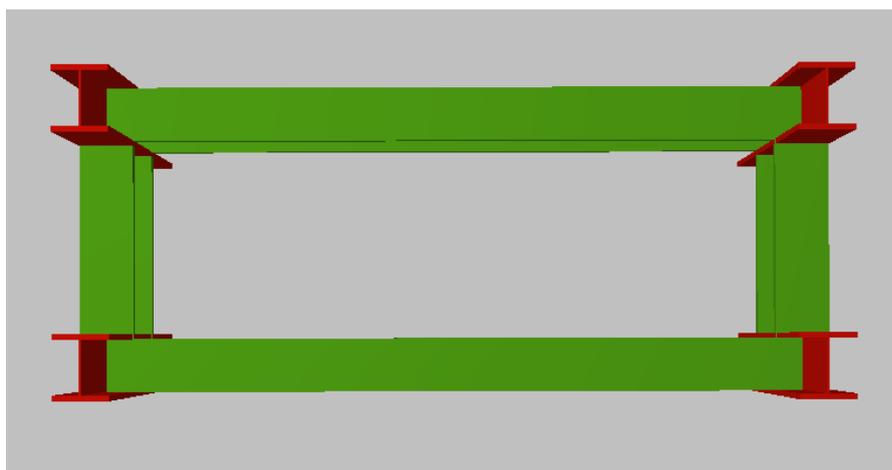
Fonte: Própria (2021).

Figura 45 - Vista 3D de estrutura completa.



Fonte: Própria (2021).

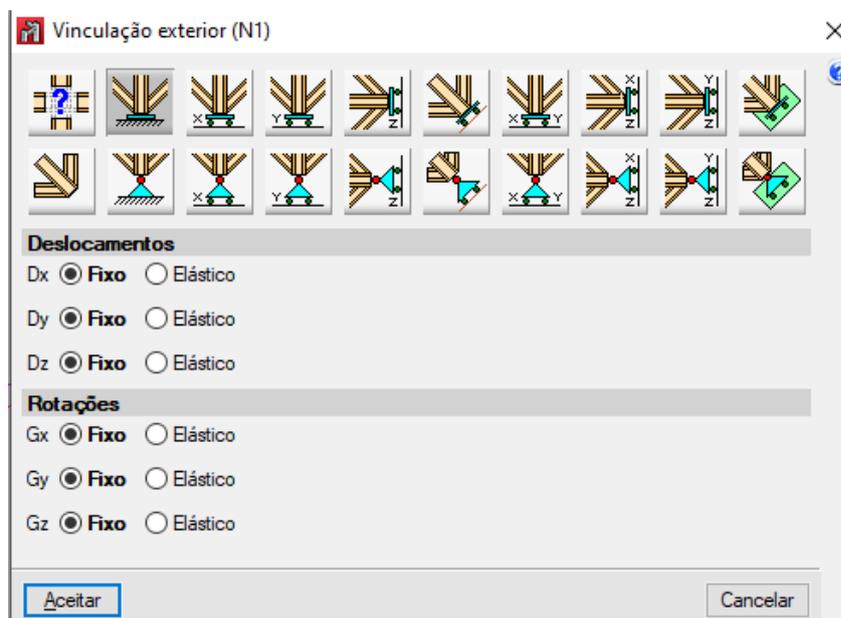
Figura 46 - Vista 3D parte superior da estrutura.



Fonte: Própria (2021).

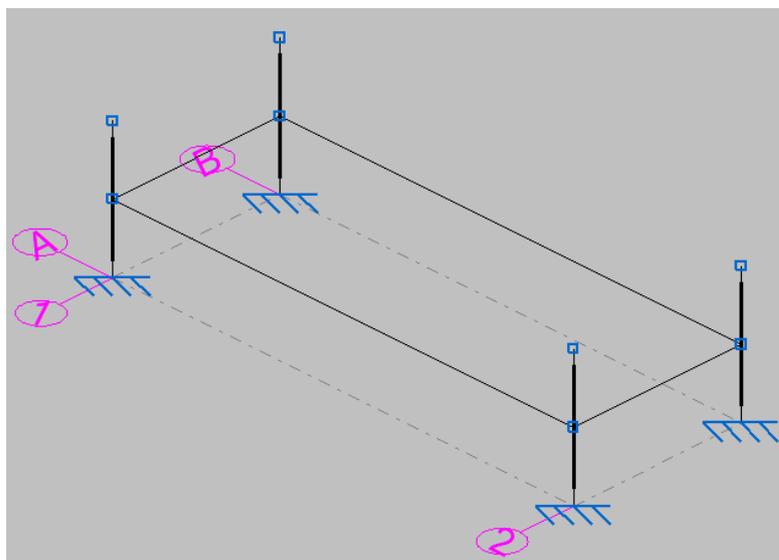
10) Para próximo passo, será efetuado o engastamento das barras verticais, de modo a limitar seus movimentos em todas as direções, conforme Figuras 47 e 48, esta etapa é fundamental, pois de acordo com a necessidade do projeto, a estrutura deverá permanecer fixa.

Figura 47 - Definição de vinculações.



Fonte: Própria (2021).

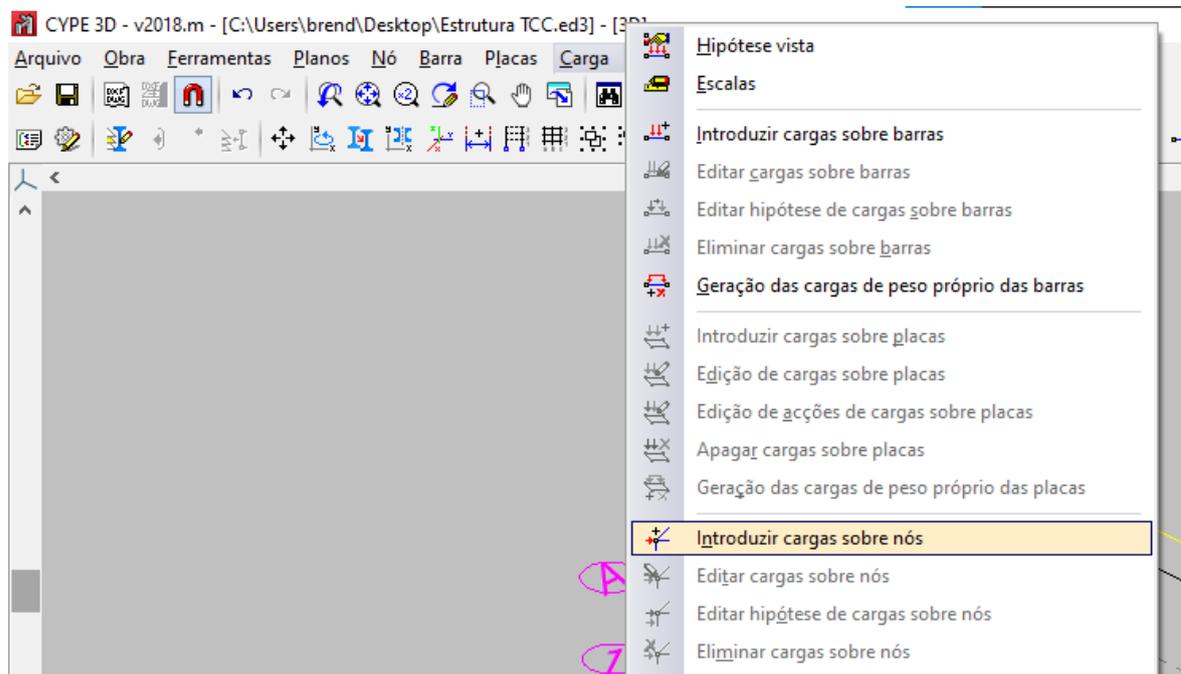
Figura 48 - Vinculações das quatro barras verticais.



Fonte: Própria (2021).

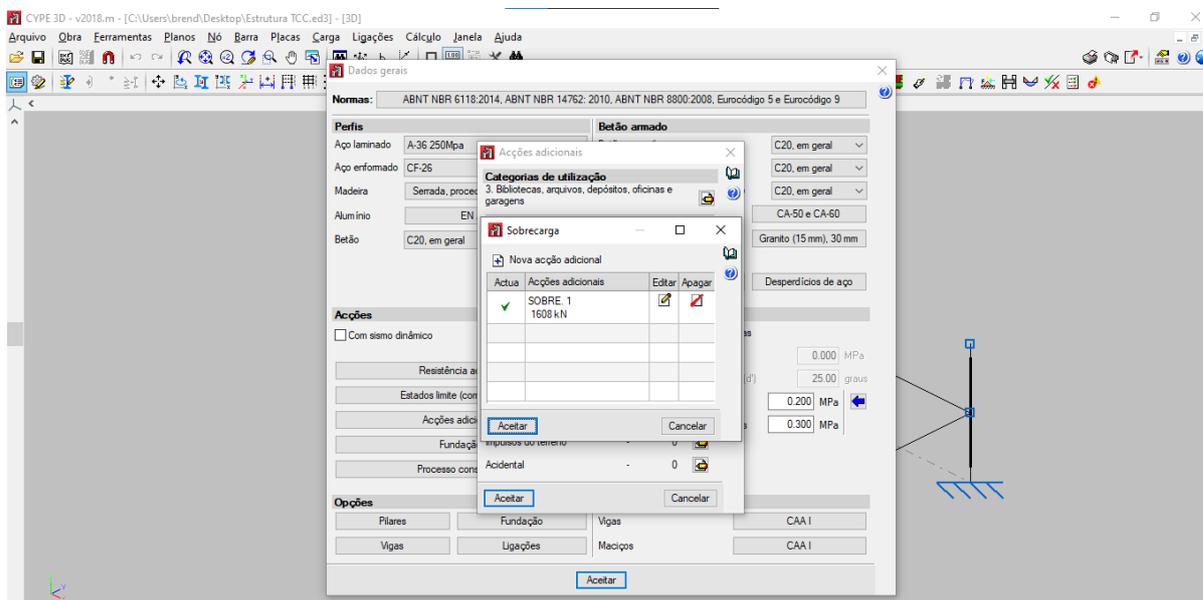
11) Esta etapa consiste na introdução das sobrecargas atuantes sobre a estrutura. A estrutura deverá suportar uma sobrecarga de 3216 kN. Com isso as cargas introduzidas serão de 1608 kN (valor de carga já majorado) em cada um dos nós N2, N6, N9 e N11, ou seja, o dobro,  $1608 \times 4 = 6432$  kN, conforme Figuras 49, 50 e 51. A definição da sobrecarga que a estrutura deverá suportar foi determinada por uma empresa terceirizada.

Figura 49 - Introduzindo as sobrecargas sobre os nós.



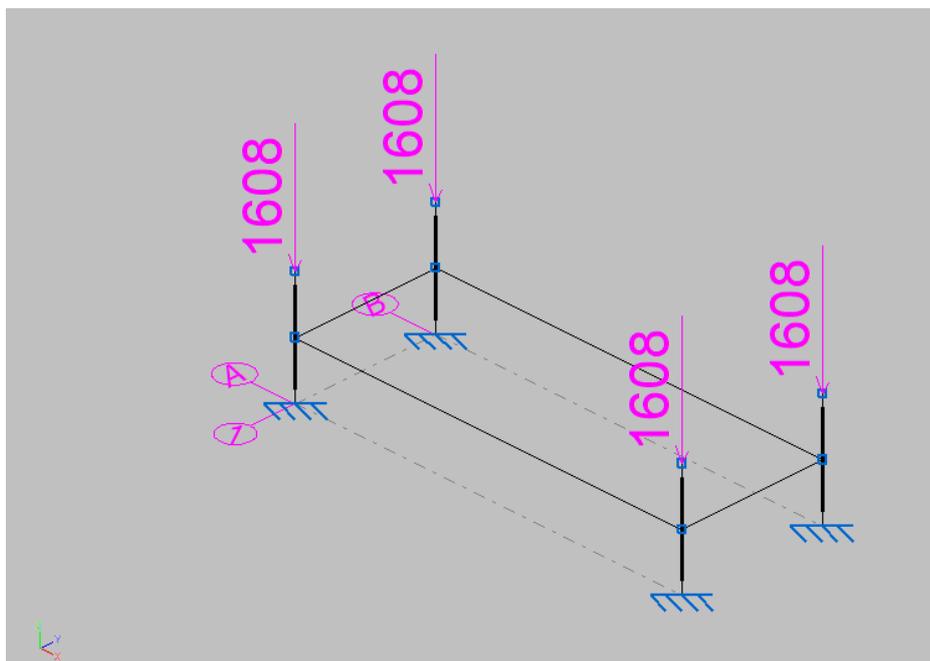
Fonte: Própria (2021).

Figura 50 - Adicionando sobrecarga.



Fonte: Própria (2021).

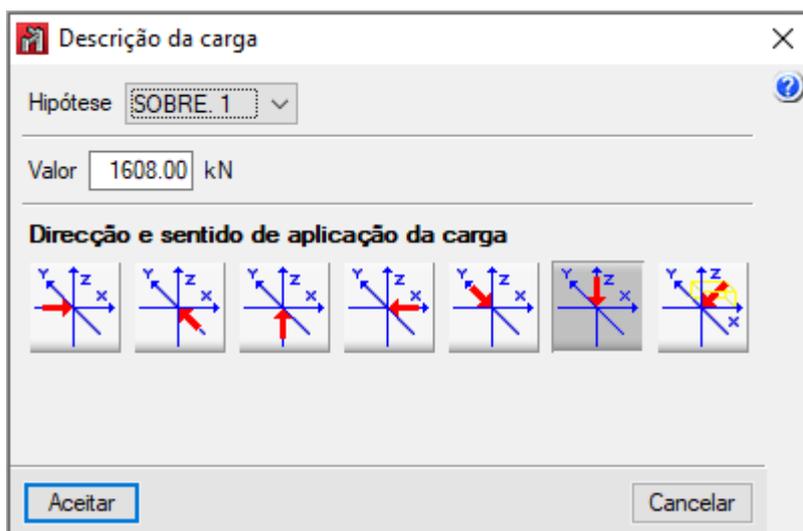
Figura 51 - Sobrecarga na estrutura.



Fonte: Própria (2021).

12) A carga será aplicada no sentido horizontal, do eixo z, conforme Figura 52. É de grande importância especificar o sentido que será aplicado a carga, pois de acordo com o sentido têm-se diferentes reações na estrutura.

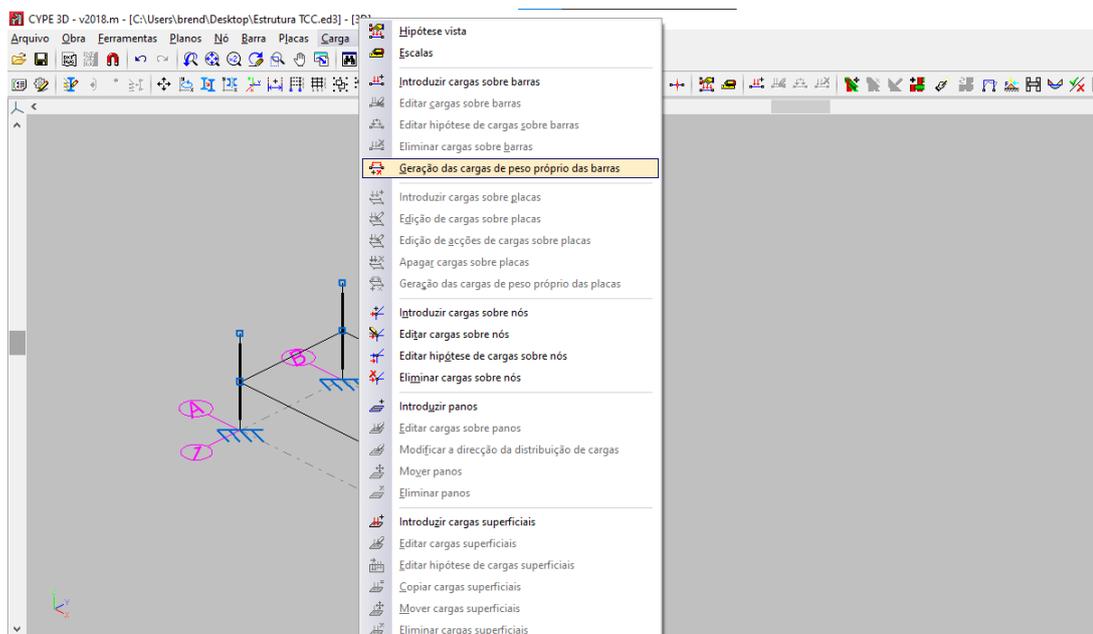
Figura 52 - Direção e sentido de aplicação da carga.



Fonte: Própria (2021).

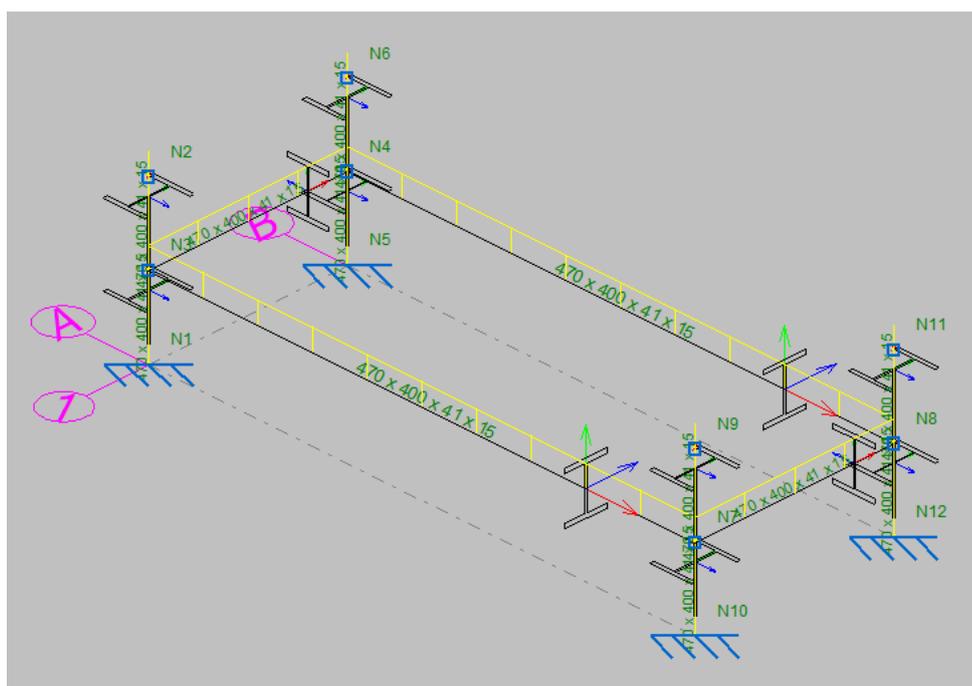
13) O próximo passo se consiste no lançamento das cargas de peso próprio em cor amarela geradas automaticamente pelo Cypecad, de acordo com peso específico dos perfis, Figuras 53 e 54.

Figura 53 - Geração das cargas de peso próprio.



Fonte: Própria (2021).

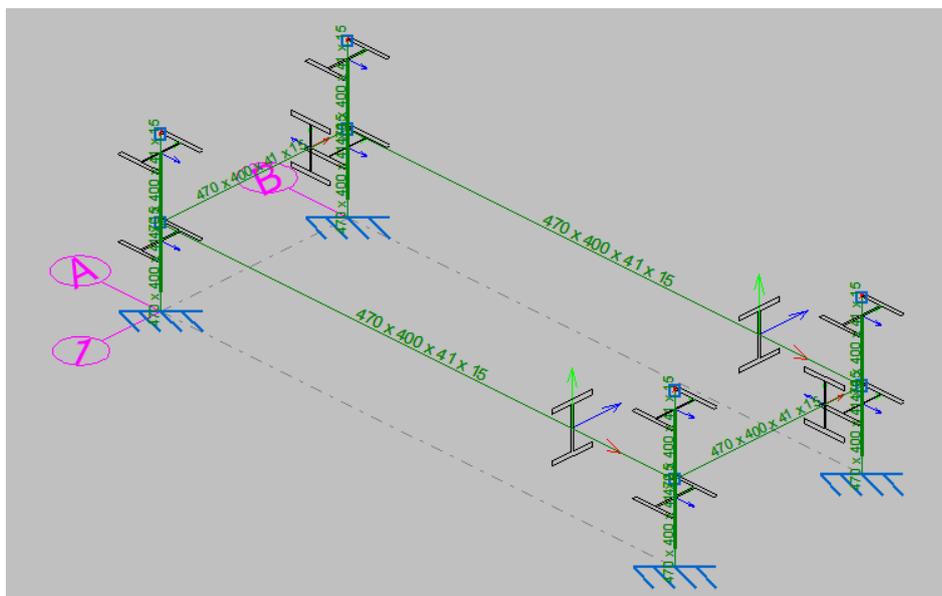
Figura 54 - Cargas de peso próprio.



Fonte: Própria (2021).

14) Finalizados os processos anteriores, faz-se a verificação de todos os elementos da estrutura. Após a verificação, são desenhados em vermelho ou amarelo os elementos que não cumprem alguma verificação e em verde os elementos que atendem a todos os parâmetros e requisitos pré-estabelecidos, Figura 55. Caso algum elemento apareça em cor vermelha ou amarela, será necessário que se realize o redimensionamento destes elementos.

Figura 55 - Verificação dos elementos.



Fonte: Própria (2021).

## ANEXOS

### Anexo A

- Referências:

$\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ : Deslocamentos prescritos em eixos globais.

$\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ : Rotações prescritas em eixos globais.

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

Tabela 4 - Nós.

Nós										
Referência	Coordenadas			Vinculação exterior						Vinculação interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Encastrado
N2	0.000	0.000	1.460	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N3	0.000	0.000	0.732	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N4	0.000	1.890	0.732	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N5	0.000	1.890	0.000	X	X	X	X	X	X	Encastrado
N6	0.000	1.890	1.460	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N7	5.200	0.000	0.732	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N8	5.200	1.890	0.732	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N9	5.200	0.000	1.460	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N10	5.200	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Encastrado
N11	5.200	1.890	1.460	-	-	-	-	-	-	Encastrado
N12	5.200	1.890	0.000	X	X	X	X	X	X	Encastrado

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 5 - Cargas em nós.

Cargas em nós					
Referência	Hipótese	Cargas concentradas (kN)	Direção		
			X	Y	Z
N2	SOBRE. 1	1608.00	0.000	0.000	-1.000
N6	SOBRE. 1	1608.00	0.000	0.000	-1.000
N9	SOBRE. 1	1608.00	0.000	0.000	-1.000
N11	SOBRE. 1	1608.00	0.000	0.000	-1.000

Fonte: Própria (2021).

Tabela 6 - Coeficientes de ponderação.

Normal				
	Coeficientes parciais ( $\gamma$ )		Coeficientes ( $\psi$ )	
	Favorável	Desfavorável	Principal ( $\psi_p$ )	Acompanhamento ( $\psi_a$ )
Permanente (G)	1.000	1.500	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.800
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

Fonte: (ABNT NBR 8800, 2008).

Tabela 7 - Ações variáveis sem sismo.

Ações variáveis sem sismo		
	Coeficientes parciais ( $\gamma$ )	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Vento (Q)	0.000	1.000

Fonte: (ABNT NBR 8800, 2008).

Tabela 8 - Combinações de acordo com E.L.U Aço laminado.

Comb.	PP	SOBRE. 1	V 1
1	1.000		
2	1.500		
3	1.000	1.500	
4	1.500	1.500	
5	1.000		1.400
6	1.500		1.400
7	1.000	1.200	1.400
8	1.500	1.200	1.400
9	1.000	1.500	0.840
10	1.500	1.500	0.840

Fonte: Própria (2021).

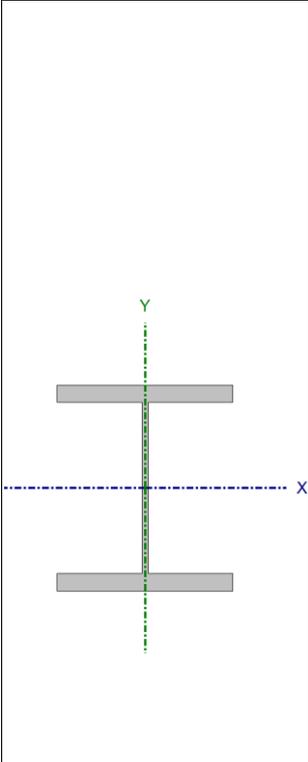
Tabela 9 - Combinações de ações de acordo com coeficientes para deslocamento.

Comb.	PP	SOBRE. 1	V 1
1	1.000		
2	1.000	1.000	
3	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000

Fonte: Própria (2021).

## Anexo B

Tabela 10 - Perfil utilizado em estrutura de suportação.

Perfil: 470 x 400 x 41 x 15						
Material: Aço (A-36 250Mpa)						
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas		
	Inicial	Final		�rea (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N1	N3	0.732	386.20	158674.48	43744.25
Notas: (1) Inércia relativamente ao eixo indicado (2) Momento de inércia � torção uniforme						
	Encurvadura		Encurvadura lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Banzo sup.	Banzo inf.		
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00		
$L_K$	0.732	0.732	0.000	0.000		
$C_b$	-		1.000			
Anotação: $\beta$ : Coeficiente de encurvadura $L_K$ : Comprimento de encurvadura (m) $C_b$ : Factor de modificação para o momento crítico						

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 11 - Materiais utilizados.

Materiais utilizados							
Material		E	n	G	f <sub>y</sub>	a.t	γ
Tipo	Designação	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m <sup>3</sup> )
Aço laminado	A-36 250Mpa	200000.00	0.300	77000.00	250.00	0.000012	77.01
<p><i>Anotação:</i></p> <p><i>E: Módulo de elasticidade</i></p> <p><i>n: Módulo de poisson</i></p> <p><i>G: Módulo de corte</i></p> <p><i>f<sub>y</sub>: Limite elástico</i></p> <p><i>a.t: Coeficiente de dilatação</i></p> <p><i>γ: Peso específico</i></p>							

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 12 – Descrição.

Descrição							
Material		Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil	Comprimento (m)	b <sub>xy</sub>	b <sub>xz</sub>
Tipo	Designação						
Aço laminado	A-36 250Mpa	N1/N3	N1/N2	470 x 400 x 41 x 15	0.732	1.00	1.00
		N3/N2	N1/N2	470 x 400 x 41 x 15	0.728	1.00	1.00
		N3/N4	N3/N4	470 x 400 x 41 x 15	1.890	1.00	1.00
		N5/N4	N5/N6	470 x 400 x 41 x 15	0.732	1.00	1.00
		N4/N6	N5/N6	470 x 400 x 41 x 15	0.728	1.00	1.00
		N3/N7	N3/N7	470 x 400 x 41 x 15	5.200	1.00	1.00
		N4/N8	N4/N8	470 x 400 x 41 x 15	5.200	1.00	1.00
		N10/N7	N10/N9	470 x 400 x 41 x 15	0.732	1.00	1.00
		N7/N9	N10/N9	470 x 400 x 41 x 15	0.728	1.00	1.00
		N12/N8	N12/N11	470 x 400 x 41 x 15	0.732	1.00	1.00
		N8/N11	N12/N11	470 x 400 x 41 x 15	0.728	1.00	1.00
		N7/N8	N7/N8	470 x 400 x 41 x 15	1.890	1.00	1.00
<p>Anotação:</p> <p>Ni: Nó inicial</p> <p>Nf: Nó final</p> <p>b<sub>xy</sub>: Coeficiente de encurvadura no plano 'XY'</p> <p>b<sub>xz</sub>: Coeficiente de encurvadura no plano 'XZ'</p>							

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 13 - Tabela medição.

Tabela de medição						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil	Comprimento (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Tipo	Designação					
Aço laminado	A-36 250Mpa	N1/N2	470 x 400 x 41 x 15	1.460	0.056	442.62
		N3/N4	470 x 400 x 41 x 15	1.890	0.073	572.99
		N5/N6	470 x 400 x 41 x 15	1.460	0.056	442.62
		N3/N7	470 x 400 x 41 x 15	5.200	0.201	1576.47
		N4/N8	470 x 400 x 41 x 15	5.200	0.201	1576.47
		N10/N9	470 x 400 x 41 x 15	1.460	0.056	442.62
		N12/N11	470 x 400 x 41 x 15	1.460	0.056	442.62
		N7/N8	470 x 400 x 41 x 15	1.890	0.073	572.99
<p><i>Anotação:</i>  <i>Ni: Nó inicial</i>  <i>Nf: Nó final</i></p>						

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 14 - Resumo de medição.

Resumo de medição												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Série (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-36 250Mpa	Perfil 470 x 400	470 x 400 x 41 x 15	20.020			0.773			6069.40		
					20.020			0.773		6069.40		
						20.020		0.773		6069.40		

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018)

## Anexo C

- *Reações*

Referências:

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

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

Tabela 15 - Reações nos nós, por ações.

Reações nos nós, por ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Peso próprio	6.148	0.190	14.885	0.39	0.05	0.00
	SOBRE. 1	0.000	0.000	1608.000	0.00	0.00	0.00
	V 1	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
N5	Peso próprio	6.148	-0.190	14.885	-0.39	0.05	0.00
	SOBRE. 1	0.000	0.000	1608.000	0.00	0.00	0.00
	V 1	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
N10	Peso próprio	-6.148	0.190	14.885	0.39	-0.05	0.00
	SOBRE. 1	0.000	0.000	1608.000	0.00	0.00	0.00
	V 1	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
N12	Peso próprio	-6.148	-0.190	14.885	-0.39	-0.05	0.00
	SOBRE. 1	0.000	0.000	1608.000	0.00	0.00	0.00
	V 1	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

## Anexo D

- *Esforços*

Tabela 16 - Envoltentes dos esforços barra N1/N3.

Envoltentes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.183 m	0.366 m	0.549 m	0.732 m
N1/N3	Aço laminado	$N_{\text{mín}}$	-2434.328	-2433.511	-2432.695	-2431.879	-2431.062
		$N_{\text{máx}}$	-14.885	-14.341	-13.797	-13.252	-12.708
		$V_{y\text{mín}}$	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222
		$V_{y\text{máx}}$	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148
		$V_{z\text{mín}}$	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285
		$V_{z\text{máx}}$	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190
		$M_{t\text{mín}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\text{máx}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\text{mín}}$	0.39	0.42	0.46	0.49	0.53
		$M_{y\text{máx}}$	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79
		$M_{z\text{mín}}$	-0.07	1.08	2.20	3.33	4.45
		$M_{z\text{máx}}$	-0.05	1.62	3.30	4.99	6.68

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 17 - Envolventes dos esforços barra N3/N2.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.182 m	0.364 m	0.546 m	0.728 m
N3/N2	Aço laminado	$N_{\min}$	-2415.248	-2414.436	-2413.624	-2412.812	-2412.000
		$N_{\max}$	-2.165	-1.624	-1.083	-0.541	0.000
		$V_{y\min}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\max}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\min}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\max}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$M_{t\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 18 - Envolventes dos esforços barra N3/N4.

Envolventes dos esforços em barras												
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.00 m	0.189 m	0.567 m	0.756 m	0.945 m	1.134 m	1.512 m	1.701 m	1.890 m	
N3/N4	Aço laminado	$N_{\text{mín}}$	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285
		$N_{\text{máx}}$	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190
		$V_{y\text{mín}}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\text{máx}}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\text{mín}}$	-4.216	-3.373	-1.686	-0.843	0.000	0.562	1.686	2.248	2.810	2.810
		$V_{z\text{máx}}$	-2.810	-2.248	-1.124	-0.562	0.000	0.843	2.529	3.373	4.216	4.216
		$M_{t\text{mín}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\text{máx}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\text{mín}}$	-0.79	-0.08	0.59	0.75	0.80	0.75	0.32	-0.08	-0.79	-0.79
		$M_{y\text{máx}}$	-0.53	-0.05	0.88	1.12	1.20	1.12	0.48	-0.05	-0.53	-0.53
		$M_{z\text{mín}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\text{máx}}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 19 - Envoltentes dos esforços barra N5/N4.

Envoltentes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.183 m	0.366 m	0.549 m	0.732 m
N5/N4	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2434.328	-2433.511	-2432.695	-2431.879	-2431.062
		N <sub>máx</sub>	-14.885	-14.341	-13.797	-13.252	-12.708
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	-0.59	-0.64	-0.69	-0.74	-0.79
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	-0.39	-0.42	-0.46	-0.49	-0.53
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	-0.07	1.08	2.20	3.33	4.45
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	-0.05	1.62	3.30	4.99	6.68

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 20 - Envolventes dos esforços barra N4/N6.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.182 m	0.364 m	0.546 m	0.728 m
N4/N6	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2415.248	-2414.436	-2413.624	-2412.812	-2412.000
		N <sub>máx</sub>	-2.165	-1.624	-1.083	-0.541	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 21 - Envoltentes dos esforços barra N3/N7.

Envoltentes dos esforços em barras												
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.000 m	0.650 m	1.300 m	1.950 m	2.600 m	3.250 m	3.900 m	4.550 m	5.200 m	
N3/N7	Aço laminado	$N_{\min}$	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222
		$N_{\max}$	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148
		$V_{y\min}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\max}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\min}$	-11.599	-8.699	-5.799	-2.900	0.000	1.933	3.866	5.799	7.733	
		$V_{z\max}$	-7.733	-5.799	-3.866	-1.933	0.000	2.900	5.799	8.699	11.599	
		$M_{t\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\min}$	-6.68	-0.08	3.09	4.97	5.60	4.97	3.09	-0.08	-6.68	
		$M_{y\max}$	-4.45	-0.05	4.63	7.46	8.40	7.46	4.63	-0.05	-4.45	
		$M_{z\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 22 - Envolventes dos esforços barra N4/N8.

Envolventes dos esforços em barras												
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.000 m	0.650 m	1.300 m	1.950 m	2.600 m	3.250 m	3.900 m	4.550 m	5.200 m	
N4/N8	Aço laminado	$N_{\min}$	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222	-9.222
		$N_{\max}$	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148	-6.148
		$V_{y\min}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\max}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\min}$	-11.599	-8.699	-5.799	-2.900	0.000	1.933	3.866	5.799	7.733	
		$V_{z\max}$	-7.733	-5.799	-3.866	-1.933	0.000	2.900	5.799	8.699	11.599	
		$M_{t\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\min}$	-6.68	-0.08	3.09	4.97	5.60	4.97	3.09	-0.08	-6.68	
		$M_{y\max}$	-4.45	-0.05	4.63	7.46	8.40	7.46	4.63	-0.05	-4.45	
		$M_{z\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 23 - Envolventes dos esforços barra N10/N7.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.183 m	0.366 m	0.549 m	0.732 m
N10/N7	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2434.328	-2433.511	-2432.695	-2431.879	-2431.062
		N <sub>máx</sub>	-14.885	-14.341	-13.797	-13.252	-12.708
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	6.148	6.148	6.148	6.148	6.148
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	9.222	9.222	9.222	9.222	9.222
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.39	0.42	0.46	0.49	0.53
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.05	-1.62	-3.30	-4.99	-6.68
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.07	-1.08	-2.20	-3.33	-4.45

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 24 - Envolventes dos esforços barra N7/N9.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.182 m	0.364 m	0.546 m	0.728 m
N7/N9	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2415.248	-2414.436	-2413.624	-2412.812	-2412.000
		N <sub>máx</sub>	-2.165	-1.624	-1.083	-0.541	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 25 - Envolventes dos esforços barra N12/N8.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.183 m	0.366 m	0.549 m	0.732 m
N12/N8	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2434.328	-2433.511	-2432.695	-2431.879	-2431.062
		N <sub>máx</sub>	-14.885	-14.341	-13.797	-13.252	-12.708
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	6.148	6.148	6.148	6.148	6.148
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	9.222	9.222	9.222	9.222	9.222
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	-0.59	-0.64	-0.69	-0.74	-0.79
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	-0.39	-0.42	-0.46	-0.49	-0.53
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.05	-1.62	-3.30	-4.99	-6.68
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.07	-1.08	-2.20	-3.33	-4.45

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 26 - Envolventes dos esforços barra N8/N11.

Envolventes dos esforços em barras							
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra				
			0.000 m	0.182 m	0.364 m	0.546 m	0.728 m
N8/N11	Aço laminado	N <sub>mín</sub>	-2415.248	-2414.436	-2413.624	-2412.812	-2412.000
		N <sub>máx</sub>	-2.165	-1.624	-1.083	-0.541	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M <sub>t</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>t</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>y</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>mín</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		M <sub>z</sub> <sub>máx</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 27 - Envoltentes dos esforços barra N7/N8.

Envoltentes dos esforços em barras												
Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.000 m	0.189 m	0.567 m	0.756 m	0.945 m	1.134 m	1.512 m	1.701 m	1.890 m	
N7/N8	Aço laminado	$N_{\min}$	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285	-0.285
		$N_{\max}$	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190	-0.190
		$V_{y\min}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{y\max}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$V_{z\min}$	-4.216	-3.373	-1.686	-0.843	0.000	0.562	1.686	2.248	2.810	
		$V_{z\max}$	-2.810	-2.248	-1.124	-0.562	0.000	0.843	2.529	3.373	4.216	
		$M_{t\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{t\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{y\min}$	-0.79	-0.08	0.59	0.75	0.80	0.75	0.32	-0.08	-0.79	
		$M_{y\max}$	-0.53	-0.05	0.88	1.12	1.20	1.12	0.48	-0.05	-0.53	
		$M_{z\min}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		$M_{z\max}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

## Anexo E

Tabela 28 - Verificação de resistência.

Verificação de resistência										
Barra	h (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N3	28.60	0.732	-2431.062	-9.222	-0.285	0.00	0.79	6.68	G	Verificado
N3/N2	27.59	0.000	-2415.248	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verificado
N3/N4	0.44	0.000	-0.285	0.000	-4.216	0.00	-0.79	0.00	G	Verificado
N5/N4	28.60	0.732	-2431.062	-9.222	0.285	0.00	-0.79	6.68	G	Verificado
N4/N6	27.59	0.000	-2415.248	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verificado
N3/N7	1.21	0.000	-9.222	0.000	-11.599	0.00	-6.68	0.00	G	Verificado
N4/N8	1.21	0.000	-9.222	0.000	-11.599	0.00	-6.68	0.00	G	Verificado
N10/N7	28.60	0.732	-2431.062	9.222	-0.285	0.00	0.79	-6.68	G	Verificado
N7/N9	27.59	0.000	-2415.248	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verificado
N12/N8	28.60	0.732	-2431.062	9.222	0.285	0.00	-0.79	-6.68	G	Verificado
N8/N11	27.59	0.000	-2415.248	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Verificado
N7/N8	0.44	0.000	-0.285	0.000	-4.216	0.00	-0.79	0.00	G	Verificado

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).

Tabela 29 - Resumo das verificações

Barras	Resumo das verificações										Estado
	$\lambda$	$N_t$	$N_c$	$M_x$	$M_y$	$V_x$	$V_y$	$NM_xM_y$	T	NMVT	
Grupo 1	$\lambda \leq 200.0$ $\lambda = 6.9$ Verificado	N.P. <sup>(1)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.278$	x: 0.732 m $\eta < 1$ $\eta = 0.001$	x: 0.732 m $\eta < 1$ $\eta = 0.009$	$\eta < 1$ $\eta = 0.002$	$\eta < 1$ $\eta = 0.001$	x: 0.732 m $\eta < 1$ $\eta = 0.286$	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	<b>VERIFICADO</b>  $\eta = 0.286$
	Grupo 2	$\lambda \leq 200.0$ $\lambda = 6.8$ Verificado	N.P. <sup>(1)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.276$	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>
Grupo 3		$\lambda \leq 200.0$ $\lambda = 48.9$ Verificado	N.P. <sup>(1)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.001$	x: 2.6 m $\eta < 1$ $\eta = 0.001$	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.012$	x: 2.6 m $\eta < 1$ $\eta = 0.005$	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>
	Grupo 4	$\lambda \leq 200.0$ $\lambda = 17.8$ Verificado	N.P. <sup>(1)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.001$	x: 0.945 m $\eta < 1$ $\eta = 0.001$	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	$\eta < 1$ $\eta = 0.004$	x: 0.094 m $\eta < 1$ $\eta = 0.001$	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>
<i>Anotação:</i>											
<i>l: Limitação do índice de esbeltez</i>											
<i>N<sub>t</sub>: Resistência à tração</i>											
<i>N<sub>c</sub>: Resistência à compressão</i>											
<i>M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X</i>											
<i>M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y</i>											
<i>V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço transversal X</i>											
<i>V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço transversal Y</i>											
<i>NM<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência ao esforço axial e flexão combinados</i>											
<i>T: Resistência à torção</i>											
<i>NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante</i>											
<i>s t f: Resistência a interações de esforços e momento de torção</i>											
<i>x: Distância à origem da barra</i>											
<i>h: Coeficiente de aproveitamento (%)</i>											
<i>N.P.: Não procede</i>											
<i>Verificações que não são necessárias (N.P.):</i>											
<sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração.											
<sup>(2)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.											
<sup>(3)</sup> Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.											
<sup>(4)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento fletor.											
<sup>(5)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe esforço transversal.											
<sup>(6)</sup> Não existe interação entre o esforço axial e momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.											
<sup>(7)</sup> Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.											

Fonte: Própria, com auxílio do software Cypecad 3D (2018).