



2023

## DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE LIGAÇÕES METÁLICAS

Pedro Henrique Duré Vieira <sup>a</sup>; Christiane Areias Trindade <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [pedro\\_dure@ufms.br](mailto:pedro_dure@ufms.br)

<sup>b</sup> Professora Orientadora, Doutora, [christiane.trindade@ufms.br](mailto:christiane.trindade@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

### RESUMO

O uso de estrutura metálica apresenta certas particularidades, o material já é produzido com dimensões predefinidas, tornando, portanto, necessário realizar conexões, seja através de soldagem ou por meio de parafusos, a fim de garantir a continuidade das peças, conforme especificado no projeto estrutural. Desde o ano de 2021, a nova lei de licitações, Lei nº 14.133/2021, já prevê em seu texto que a Modelagem de Informação da Construção (Building Information Modelling - BIM) será preferencialmente adotada para o planejamento de novas obras públicas. Portanto, compreender e desenvolver projetos com essa tecnologia inovadora tornou-se a nova norma no setor. O objetivo deste trabalho consiste na elaboração de detalhes de ligações metálicas por meio da utilização de softwares de desenho que incorporam a tecnologia BIM. O enfoque principal recai sobre um comparativo entre as ligações soldadas e parafusadas e como o seu uso altera as peças necessárias para uma mesma edificação. O estudo detalha as principais conexões, analisa as peculiaridades de cada método e chega à conclusão de que cada abordagem apresenta vantagens específicas, dependendo das características singulares do projeto em questão.

**Palavras-chave:** Detalhamento. Dimensionamento. Estrutura Metálica.

### ABSTRACT

The use of metal structures presents certain particularities; the material is already produced with predefined dimensions, making it necessary to establish connections, either through welding or by means of screws, in order to ensure the continuity of the pieces, as specified in the structural project. Since the year 2021, the new public procurement law, Law No. 14,133/2021, already stipulates in its text that Building Information Modeling (BIM) will preferably be adopted for the planning of new public works. Therefore, understanding and developing projects with this innovative technology has become the new norm in the sector. The objective of this work is the elaboration of details of metal connections through the use of drawing software that incorporates BIM technology. The main focus is on a comparison between welded and bolted connections and how their use alters the necessary pieces for the same building. The study details the main connections, analyzes the peculiarities of each method, and concludes that each approach presents specific advantages depending on the unique characteristics of the project in question.

**Keywords:** Detailing. Design. Steel Structure.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de estruturas metálicas na construção civil, tem início em meados século XVIII, e inicialmente, o material era utilizado na forma de ferro fundido. Em 1779, foi inaugurada na Inglaterra a primeira ponte metálica, localizada no assentamento de Coalbrookdale, possuindo um vão de 30 metros atravessando o rio Severn, e essa construção foi o início da popularização do uso material, que ocorreria entre 1780 e 1820. Durante os anos de 1850 a 1880,

houve uma substituição do uso ferro fundido pelo ferro forjado, devido a sua maior resistência a corrosão, aumentando assim, a segurança das estruturas (PFEIL, 2021).

O uso do aço como material de construção, inicia-se em 1856, quando Henry Bessemer, inventa um tipo de forno que, remove as impurezas do aço, possibilitando, assim, a fabricação do material em larga escala (PFEIL, 2021).

Atualmente, a fabricação do aço é altamente industrializada e controlada, e é possível encontrar no

mercado diversos tipos de aço, tais como: MR-250, AR-350, AR-350 COR e AR-415, conforme a NBR 7007 (ABNT, 2020). Uma das principais diferenças do uso de aço, comparado ao uso do concreto armado, é o fato das peças terem suas dimensões pré-definidas, sendo, geralmente, fabricadas em peças de 6 ou 12 metros. Essa característica, faz com que seja necessária a avaliação da continuidade das peças, sendo necessário realizar a locação e dimensionar todas as emendas da estrutura.

A NBR 8800 (ABNT, 2008), prevê em seu texto, duas possibilidades de ligações na estrutura, podendo elas serem soldadas ou parafusadas, cabendo ao responsável técnico a escolha de cada situação. O detalhamento das ligações é de grande importância para garantir que os vínculos da estrutura se comportem conforme projetado e com ajuda de softwares de desenho, é possível criar projeções tridimensionais para a melhor compreensão desses componentes.

A atual lei de licitações e contratos, aprovada em 2021, a Lei nº 14.133 (BRASIL, 2021), prevê, expressamente, que será preferencialmente adotada a Modelagem de Informação da Construção (Building Information Modelling – BIM). Portanto, produzir e entender os detalhes de ligação com essa nova tecnologia, vem se tornando cada vez mais essencial para a vida profissional dos engenheiros.

## 1.1 Objetivo

O propósito desse trabalho consiste em dimensionar e detalhar, com o auxílio de softwares de desenho, e usando tecnologia BIM, os detalhes de ligações parafusadas ou soldadas em estruturas metálicas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A NBR 8800 (ABNT, 2008), traz em no item 6.2, as generalidades para o trabalho com ligações soldadas, e é interessante ressaltar que a norma foi escrita considerando quase todas as disposições da AWS (*American Welding Society*). Neste item, estão apresentadas as disposições aplicáveis para o cálculo da força de resistência das soldas, tipo penetração ou filete, além das dimensões mínimas do filete de solda e dos espaçamentos necessários. Além disso, apresenta ainda um quadro mostrando a compatibilidade entre os tipos de solda em relação ao tipo de metal-base.

Já os itens 6.3 e 6.5 da mesma norma, apresentam, respectivamente, as generalidades para o trabalho com ligações parafusadas e os requisitos para dimensionar os elementos de ligação, apresentando as equações necessárias para a verificação da força de resistência dessas peças. As especificações para os dois tipos de ligação serão apresentadas nos itens a seguir.

### 2.1 Ligações Soldadas

De acordo com Pfeil (2021), a ligação por solda é definida como a união por coalescência, obtida por fusão das partes adjacentes. As soldas podem ser classificadas em dois tipos: solda de filete, quando o material da solda é depositado nas faces laterais dos elementos ou solda de penetração, total ou parcial, na qual o metal da solda é colocado entre as peças ou em chanfros.

#### 2.1.1 Dimensionamento

A dimensão mínima e máxima da perna da solda, é dada em função da menor espessura dos materiais envolvidos na ligação e ao tipo de solda realizada. Nos quadros 1 e 2, a seguir, mostram os valores mínimos permitidos.

Quadro 1 – Espessura mínima da garganta efetiva em solda de penetração parcial. Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Espessura mínima da garganta efetiva (mm)
$t \leq 6,35$	3
$6,35 < t \leq 12,50$	5
$12,50 < t \leq 19,00$	6
$19,00 < t \leq 37,50$	8
$37,50 < t \leq 57,00$	10
$57,00 < t \leq 152,00$	13
$t > 152,00$	16

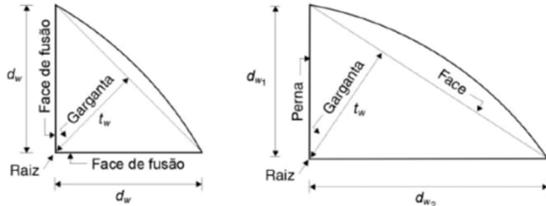
Quadro 2 – Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete. Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete (mm)
$t \leq 6,35$	3
$6,35 < t \leq 12,50$	5
$12,50 < t \leq 19,00$	6
$t > 19,00$	8

É importante ressaltar que durante os cálculos dos esforços resistentes, não é considerado a

espessura da perna, e sim a medida da raiz à face plana da solda, denominada garganta, que equivale a 70% da espessura da perna.

Figura 1 – Filete de solda, seção real e seção teórica.  
Fonte: PFEIL, 2021



O tamanho máximo da perna de solda, é definido pela NBR 8800 (ABNT, 2008), conforme o quadro 3.

Quadro 3 – Espessura máxima da perna de solda filete.  
Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Espessura do metal-base (mm)	Tamanho máximo da perna da solda de filete (mm)
$t < 6,35$	t
$t \geq 6,35$	t - 1,5mm

De acordo com o item 6.2.6.2.3 da NBR 8800 (ABNT, 2008), o comprimento mínimo do cordão de solda deve atender três critérios: tem de ser maior que 40mm; tem que ser maior que 4 vezes a espessura da perna de solda; e no caso de par de soldas longitudinais, maior que a distância entre elas. Não há um valor máximo para o cordão, porém, se o comprimento for maior que cem vezes a espessura do filete, é necessário calcular um coeficiente de redução para a cálculo do comprimento equivalente do cordão, conforme as equações (1) e (2).

$$l = \beta L \tag{1}$$

Onde:

- l: comprimento equivalente [mm];
- $\beta$ : coeficiente de redução;
- L: comprimento do cordão.

$$\beta = 1,2 - 0,002 \frac{L}{b} \tag{2}$$

Onde:

- $\beta$ : coeficiente de redução;
- b: espessura do filete [mm];
- L: comprimento do cordão[mm].

### 2.1.1 Esforço Resistentes

A resistência de solda por filete é calculada através os esforços de cisalhamento, e isso é valido tanto para a ruptura no metal da solda quanto para a ruptura no metal base, conforme as equações (3) e (4).

$$R_{ds} = \frac{0,7 b l 0,6 f_w}{\gamma_{w2}} \tag{3}$$

Onde:

- $R_{ds}$ : força resistente da solda [kN];
- b: espessura filete de solda [cm];
- l: comprimento efetivo de solda [cm];
- $f_w$ : resistência última da solda [kN/cm<sup>2</sup>];
- $\gamma_{w2}$ : fator de segurança (1,35).

$$R_d = \frac{Ag 0,6 F_y}{\gamma_{a1}} \tag{4}$$

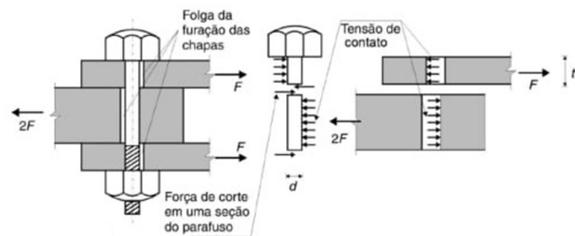
Onde:

- $R_d$ : força resistente do metal base [kN];
- Ag: área bruta cisalhada [cm<sup>2</sup>];
- $F_y$ : tensão de escoamento do aço [kN/cm<sup>2</sup>];
- $\gamma_{a1}$ : fator de segurança (1,10).

### 2.2 Ligações Parafusadas

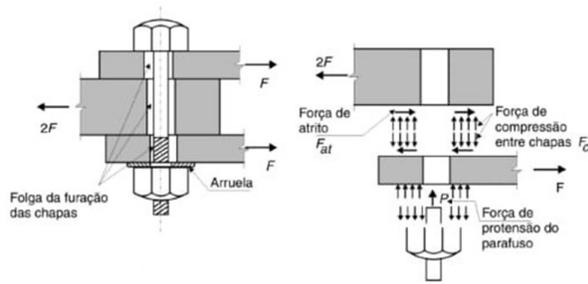
As ligações feitas por conectores metálicos podem ser classificadas de duas maneiras diferentes. A primeira delas, e mais utilizada, é a ligação tipo apoio, na qual podem ser utilizadas parafusos comuns ou de alta resistência. Este tipo de ligação considera apenas o contato entre o conector e a chapa como forma de transferência das forças, conforme mostra a figura 2.

Figura 2 – Ligação tipo apoio. Fonte: PFEIL, 2021



O outro tipo de conexão utilizado, é a através de atrito, na qual considera-se o atrito que ocorre entre as chapas, neste caso é necessário a utilização somente de parafusos de alta resistência, visto que eles têm que ser protendidos até um torque específico, o que causa um efeito de tração no parafuso, e compressão nas chapas, como mostra a figura 3.

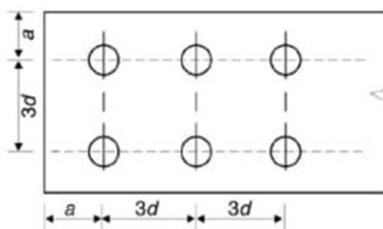
Figura 3 – Ligação tipo atrito. Fonte: PFEIL, 2021



### 2.2.1 Dimensionamento

Antes de estabelecer a quantidade de parafusos requerida e sua disposição na estrutura, é preciso entender os espaçamentos mínimos exigidos conforme as diretrizes normativas pertinentes (NBR 8800, ABNT, 2008). Nesse sentido, a Figura 4 e o Quadro 4, apresentam as orientações que devem ser estritamente observadas.

Figura 4 – Espaçamentos construtivos mínimos. Fonte: PFEIL, 2021



Quadro 4 – Valores de “a” para bordos laminados ou cortados com maçarico. Fonte: PFEIL, 2021

Diâmetro do parafuso (mm)	Valor de "a" para espaçamento mínimo de borda (mm)
$d \leq 19$	$d + 6$
$19 < d < 26$	$d + 7$
$26 \leq d < 30$	$d + 9$
$30 \leq d \leq 36$	$d + 10$
$d > 36$	$1,25 \cdot d$

O valor de “a” está diretamente relacionado ao diâmetro do parafuso escolhido para projeto, assim como o espaçamento entre eixos dos parafusos. No que se refere às bordas que tenham sido cortadas por meio de serra ou tesoura, o valor de a torna-se o diâmetro do parafuso acrescido de 75%.

Além disso, estabelece-se o espaçamento máximo dos conectores com o propósito de prevenir a acumulação de água ou detritos entre os componentes, com o intuito de evitar a corrosão. No que concerne às bordas, esse espaçamento encontra-se limitado a 12 vezes a espessura da chapa ou 150 mm. No caso dos espaçamentos entre os conectores,

o valor estipulado é de 24 vezes a espessura, com um limite de 300 mm para elementos não suscetíveis à corrosão, ou de 14 vezes a espessura, com um limite de 180 mm para elementos sujeitos à corrosão.

### 2.2.2 Esforço Resistentes

A verificação dos esforços resistentes, realiza-se mediante a análise de três potenciais modos de falha: o corte do conector (equação 5), rasgamento do furo (equação 6) e pressão de apoio nos contatos (equação 7) e a verificação dos esforços atuantes.

$$R_{nv} = \frac{0,4 Ag Fu}{\gamma_{az}} \quad (5)$$

Onde:

- $R_{nv}$ : força resistente do parafuso [kN];
- $Ag$ : área transversal do fuste [cm<sup>2</sup>];
- $Fu$ : tensão última do aço do parafuso [kN/cm<sup>2</sup>];
- $\gamma_{az}$ : fator de segurança.

$$R_{na} = 1,2 a t Fu \quad (6)$$

Onde:

- $R_{na}$ : força resistente de rasgamento [kN];
- $a$ : distância do furo até a borda ou até outro furo [cm];
- $t$ : espessura da chapa sendo analisada [cm];
- $Fu$ : tensão última do aço da chapa [kN/cm<sup>2</sup>];

$$R_{nr} = 2,4 \varnothing_f t Fu \quad (7)$$

Onde:

- $R_{nr}$ : força resistente de rasgamento [kN];
- $\varnothing_f$ : diâmetro do pino acrescido de 3,5mm [cm];
- $t$ : espessura da chapa sendo analisada [cm];
- $Fu$ : tensão última do aço da chapa [kN/cm<sup>2</sup>];

### 2.3 Enrijecedores

Os enrijecedores desempenham a importante função de estabelecer a ligação entre as vigas e os pilares, principalmente quando esta conexão se situa na alma do pilar. Constituem-se como um meio eficaz para combater a instabilidade local por flambagem, causada pelo encontro das peças.

#### 2.3.1 Dimensionamento

Os enrijecedores são dimensionados com base na viga presente na conexão, sendo necessária que sua espessura seja idêntica à espessura da mesa da viga. Além disso é preciso ter comprimentos adequados para preencher integralmente o espaço entre a mesa da viga e a alma, conforme a figura 5. É essencial que esses enrijecedores sejam conectados por meio de processos de soldagem, devendo

apresentar resistência suficiente para suportar as solicitações provenientes da estrutura, mostrada figura 6, conforme estabelecido no item 5.5.2.3 da NBR 8800 (ABNT, 2008).

Figura 5 – Enrijecedor para ligação Pilar-Viga. Fonte: PFEIL, 2021

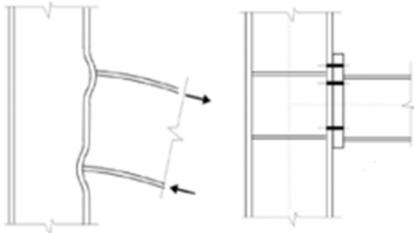
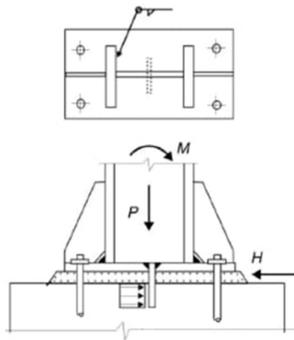


Figura 6 – Enrijecedor para base. Fonte: PFEIL, 2021



### 2.3.2 Esforço Resistentes

Os esforços resistentes são calculados com base na teoria das tensões de Von Mises, com o critério de que a tensão resultante seja menor do que a resistência ao escoamento do aço, conforme expresso na seguinte equação (8).

$$\sigma_{j.sd} = \sqrt{\sigma_{x.sd}^2 + \sigma_{y.sd}^2 - \sigma_{x.sd} \sigma_{y.sd} + 3\tau_{sd}^2} \quad (8)$$

Onde:

$\sigma_{j.sd}$ : tensão de Von Mises [N/mm<sup>2</sup>];

$\sigma_{x.sd}$ : tensão longitudinal de cálculo [N/mm<sup>2</sup>];

$\sigma_{y.sd}$ : tensão transversal de cálculo [N/mm<sup>2</sup>];

$\tau_{sd}$ : tensão de cisalhamento de cálculo. [N/mm<sup>2</sup>];

## 3. METODOLOGIA

Esse trabalho consiste numa avaliação comparativa entre uma estrutura com ligações soldadas e aparafusada, como base, foi realizado uma simulação de cenários, os quais foram inspirados nos exercícios propostos no livro de referência do autor Pfeil (2021). Inicialmente, realiza-se o traçado da estrutura utilizando o software CYPE 3D, onde é

conduzida uma análise das condições de continuidade das peças. Posteriormente, efetua-se a identificação das cargas atuantes na edificação, possibilitando o dimensionamento das peças necessárias para o projeto, em conformidade com as normas aplicáveis. Na sequência, realiza-se a escolha do tipo de ligação a ser implementada, seguida por ajustes necessários para assegurar o dimensionamento preciso. Por fim, mediante o emprego das funcionalidades do aplicativo e a utilização da tecnologia BIM, elaboram-se os detalhes das ligações em planta e em formato tridimensional, de acordo com as especificações do projeto.

### Estrutura Analisada

A estrutura proposta possui dimensões de 18 metros de comprimento, 9 metros de largura e 6 metros de altura. Para a realização dos cálculos estruturais, serão adotadas as cargas especificadas na NBR 6120 (ABNT, 2019), conforme apresentadas nos quadros 5 e 6.

Quadro 5 – Cargas consideradas para o pavimento cobertura. NBR 6120 (ABNT, 2019)

Cobertura	
Consideração	Carga
Platibanda	1 kN/m
Laje de concreto	2,25 kN/m <sup>2</sup>
Cobertura	1 kN/m <sup>2</sup>
Fôrro gesso	0,15 kN/m <sup>2</sup>

Quadro 6 – Cargas consideradas para o pavimento superior. NBR 6120 (ABNT, 2019)

Superior	
Consideração	Carga
Parede vedação	3,3 kN/m
Laje de concreto	2,75 kN/m <sup>2</sup>
Escritório	3 kN/m <sup>2</sup>
Piso	1 kN/m <sup>2</sup>
Fôrro gesso	0,15 kN/m <sup>2</sup>

Para a definição dos cálculos de vento, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), fica estabelecido que a edificação fica localizada na cidade de Campo Grande/MS.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

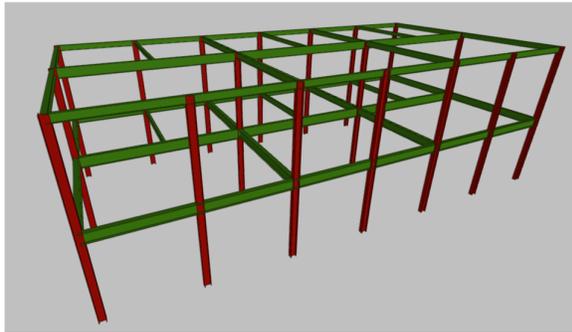
Primeiramente, realizou-se o cálculo da estrutura necessária para suportar as cargas previamente especificadas, através de um processo

iterativo, no qual buscava a compatibilidade da estrutura, conforme estabelecido pela NBR 8800 (ABNT, 2008), resultando nas seguintes peças dimensionadas, conforme mostra o quadro 7, formando a estrutura da figura 7.

Quadro 7 – Peças dimensionadas. Autor (2023)

Peças utilizadas	
Identificação	Peça
Pilares	W 200 X 41,7
Vigas Nível 300	W 310 X 44,5
Vigas Nível 300 Intermediárias	W 410 X 53
Vigas Nível 300 Travamento	W 250 X 17,9
Vigas Nível 600	W 200 X 31,3
Vigas Nível 600 Intermediárias	W 310 X 38,7
Vigas Nível 600 Travamento	W 150 X 13

Figura 7 – Disposição da estrutura. Fonte: Autor, 2023

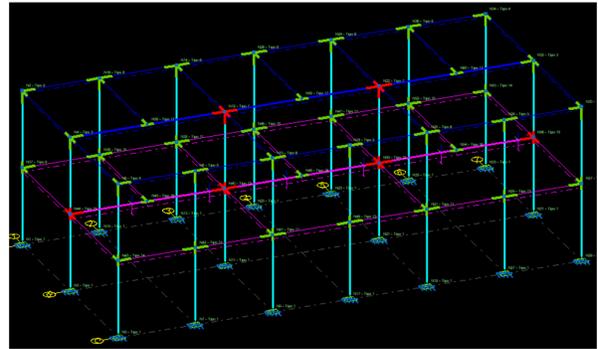


Após isso, realizou-se à solução estrutural para os dois tipos de ligação. É relevante destacar que o programa realiza o identificação e pré-dimensionamento automático das ligações, porém, não realiza a substituição de peças caso ocorra alguma incompatibilidade, sendo responsabilidade do projetista verificar se as conexões entre as peças satisfazem as condições exigidas. Para esse caso utilizou-se ligações engastados, no intuito de melhorar os coeficientes de flambagem e rotação da estrutura, exceto no caso da viga de travamento, no qual se usou uma ligação articulada

#### 4.1 Ligações Soldadas

Inicialmente, identificaram-se e calcularam-se as ligações com base nas cargas atuantes e nas peças disponíveis. Logo de início, o sistema apontou alguns pares de ligações que não satisfaziam as verificações necessárias, exigindo uma avaliação individual. Foi necessário analisar cada caso para determinar a melhor solução em conformidade com as normas e requisitos específicos.

Figura 8 – Ligações com erros. Fonte: Autor, 2023



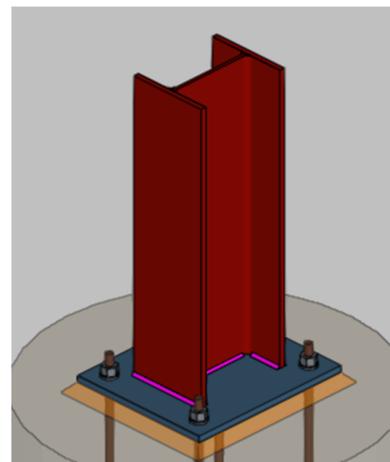
Em ambos os casos, o erro identificado era o mesmo, a largura da mesa da viga excedia a largura disponível no pilar. Para contornar essa situação, optou-se pela substituição dos pilares. Os pilares centrais foram substituídos por perfis W 200 X 46,1, enquanto os pilares nas bordas foram trocados por perfis HP 200 X 53. Após verificações adicionais, confirmou-se que todas as ligações estavam em conformidade com as normas. A partir desse ponto, deu-se início ao detalhamento das ligações. O programa possui uma opção que emite um detalhamento em planta das ligações e além disso é possível executar um detalhe tridimensional dela.

##### 4.1.1 Ligação da Base

Dado que existem três tipos distintos de pilares, tornou-se necessário desenvolver três tipos de ligações na base correspondentes a cada tipo de pilar.

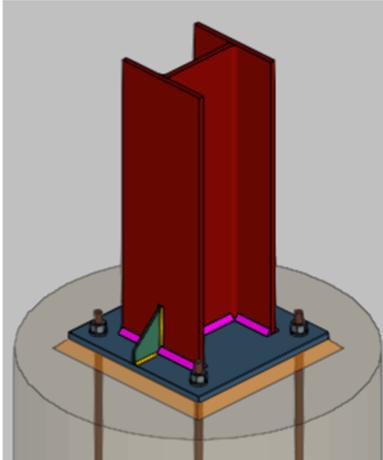
A figura 9 revela o primeiro tipo de ligação, no qual o pilar W 220 X 41,7 é soldado em uma chapa metálica de dimensões 300x350x14mm. Essa chapa é fixada à base por meio de quatro parafusos de 16 milímetros.

Figura 9 – Ligação Pilar W 200 X 41,7. Fonte: Autor, 2023



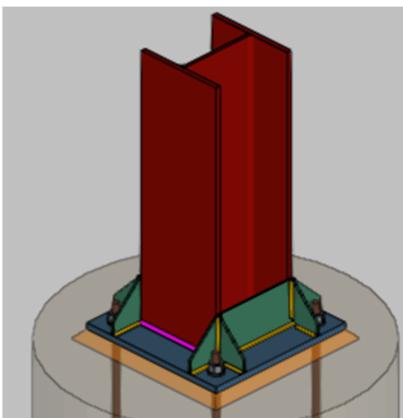
A figura 10 revela o segundo tipo de ligação, no qual o pilar HP 250 X 53 é soldado em uma chapa metálica de dimensões 350x350x15mm. Essa chapa é fixada à base por meio de quatro parafusos de 16 milímetros. Nesse caso, a instalação de enrijecedores laterais, de 100x30x5mm, também foi necessária para auxiliar na transferência de cargas.

Figura 10 – Ligação Pilar HP 200 X 53. Fonte: Autor, 2023



A figura 11 revela o terceiro tipo de ligação, no qual o pilar W 200 X 46,1 é soldado em uma chapa metálica de dimensões 350x350x15mm. Essa chapa é fixada à base por meio de quatro parafusos de 16 milímetros. Nesse caso, também foi necessária a instalação de enrijecedores laterais. Devido às cargas atuantes, foi necessário instalá-los em ambas as direções, com dimensões de 100x30x5mm.

Figura 11 – Ligação Pilar W 200 X 46,1. Fonte: Autor, 2023



É interessante observar que nos pilares que passaram por modificações, a introdução de enrijecedores foi essencial para garantir a eficácia da ligação. Essa medida adicional foi adotada com o propósito de reforçar e assegurar a funcionalidade adequada das conexões estruturais.

#### 4.1.2 Ligação de Canto

As ligações de canto, por não apresentarem limitações iniciais, foram desenhadas utilizando-se as peças originais, sem a necessidade de modificações.

A figura 12 mostra a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 310 X 44,5, enquanto a figura 13 apresenta o mesmo encontro, porém, com as vigas W 200 X 31,3.

Figura 12 – Ligação Pilar com Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023

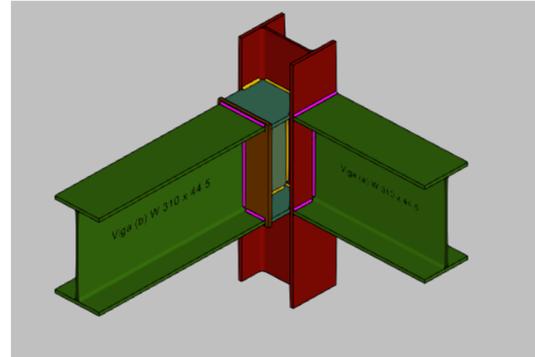
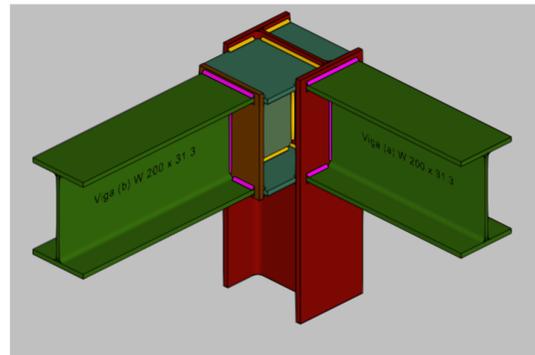


Figura 13 – Ligação Pilar com Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023



Neste caso, é relevante observar a necessidade de placas enrijecedoras, quando ocorre uma ligação na alma do pilar, de modo que aquelas que ocorrem na mesa podem ser soldadas diretamente à estrutura. Em ambos os casos foram utilizadas placas de 11 milímetros. Essa distinção destaca a importância de considerar as especificidades de cada tipo de ligação para garantir a integridade e a estabilidade da estrutura.

#### 4.1.3 Ligação Intermediária

Nas ligações intermediárias, é visto que as posições dos pilares coincidem com a viga que suporta um momento fletor mais significativo. Isso ressalta a importância de garantir ligações robustas nessas áreas críticas da estrutura para assegurar a

integridade e a resistência adequada do sistema como um todo.

Figura 14 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 44,5 e Vigas W 410 x 53. Fonte: Autor, 2023

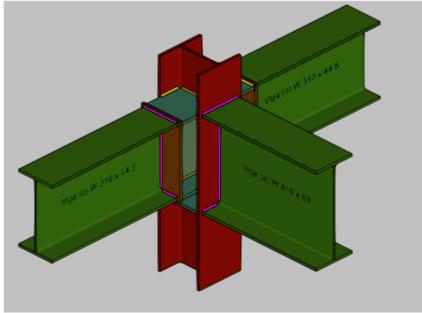


Figura 15 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 44,5 e Vigas W 250 x 17,5. Fonte: Autor, 2023

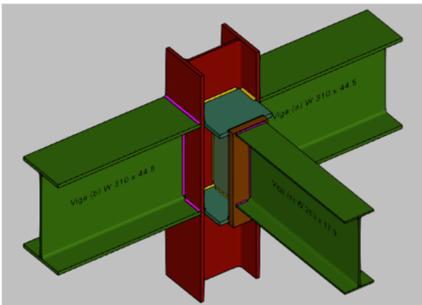


Figura 16 – Ligação Pilar com Vigas W 200 X 31,3 e Vigas W 310 X 38,7. Fonte: Autor, 2023

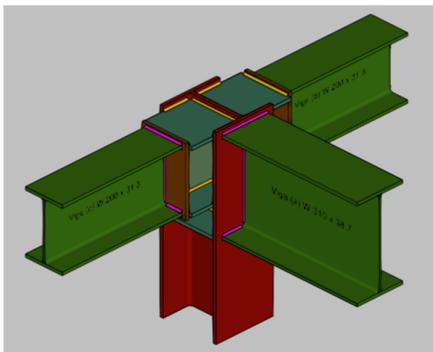
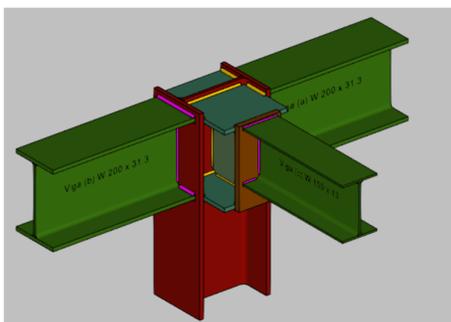


Figura 17 – Ligação Pilar com Vigas W 200 X 31,3 e Vigas W 150 x 13. Fonte: Autor, 2023



As figuras 14 e 16 ilustram a ligação no mesmo pilar, porém em níveis diferentes. Este foi o ponto em que ocorreu uma das substituições dos pilares devido à incompatibilidade causada pelo tamanho da viga W 410 X 53. Para este caso, foram utilizadas chapas de 12mm para as vigas W 310 x 44,5 e chapas de 11mm para a W 200 X 31,3.

As figuras 15 e 17 retratam uma situação similar, exibindo a ligação em diferentes níveis. Neste caso, foram utilizadas chapas de 12mm para as vigas W 250 X 17,5 e chapas de 11mm para a W 150 X 13.

#### 4.1.4 Ligação de Borda

Nas ligações de borda, é imprescindível a instalação de enrijecedores para mitigar os esforços de flambagem local, prevenindo, dessa forma, a deformação da mesa do pilar. Na figura 18, entre os pilares W 200 X 41,7 e as vigas W 310 X 44,5, foi empregado um enrijecedor de 12 mm. Já na figura 19, entre os pilares W 200 X 41,7 e as vigas W 200 X 31,3, foram utilizados enrijecedores de 11 mm.

Figura 18 – Ligação Pilar com Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023

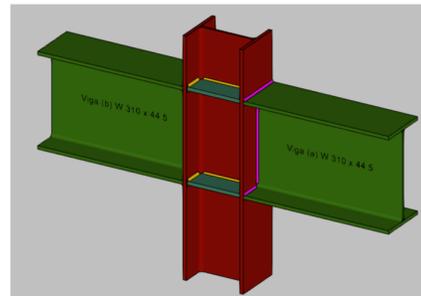
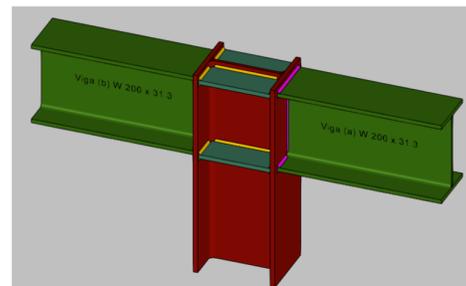


Figura 19 – Ligação Pilar com Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023



#### 4.1.5 Ligação Centrais

Nas ligações centrais, que envolvem vigas provenientes de todas as direções, é crucial direcionar o lado de maior inércia para a maior viga. Além disso, a instalação de enrijecedores se faz necessária para prevenir a flambagem local. Essas precauções são essenciais para fortalecer a conexão, assegurando a

estabilidade e prevenindo possíveis deformações em função das cargas aplicadas.

Figura 20 – Ligação Pilar com Vigas W 410 X 53 e Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023

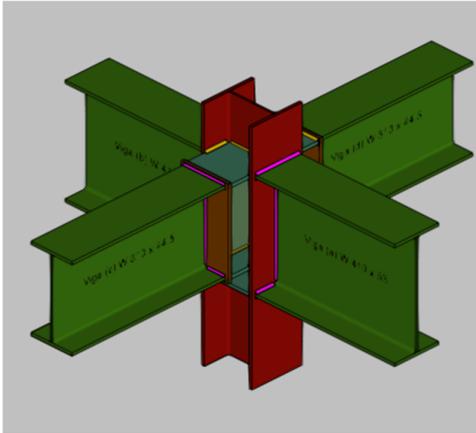
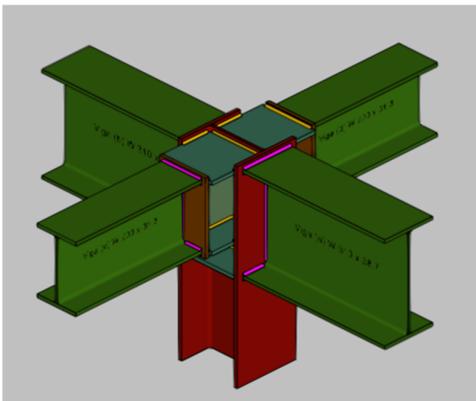


Figura 21 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 38,7 e Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023



Nessa ligação, também foi necessário substituir o pilar devido a problemas de incompatibilidade ocasionados pela viga W 410 X 53. A figura 20 apresenta a disposição das ligações, e devido à grande quantidade de vigas que chegam ao pilar W 200 X 46,1, foi recomendada a instalação de chapas de 12mm para as ligações entre as vigas W 310 X 44,5. Enquanto isso, a figura 21 a instalação de chapas de 11mm foi o suficiente para as ligações com as vigas W 200 X 31,3.

#### 4.1.6 Ligação de Travamento

As ligações de travamento que ocorrem na viga intermediária têm como principal objetivo proporcionar uma contenção lateral. Isso resulta na redução do comprimento efetivo da viga, possibilitando, portanto, a utilização de peças mais eficientes. Essa estratégia visa otimizar o desempenho

da estrutura, melhorando a eficiência do sistema de suporte.

Figura 22 – Ligação Vigas W 410 X 53 e Vigas W 250 x 17,9. Fonte: Autor, 2023

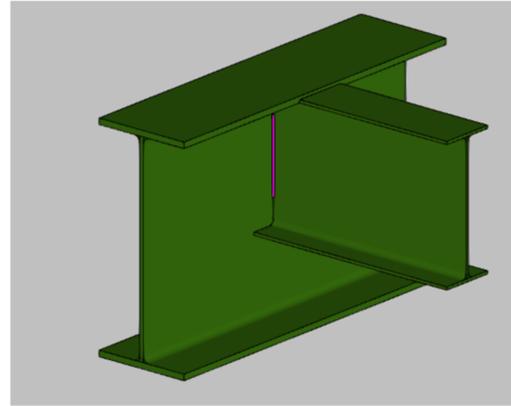
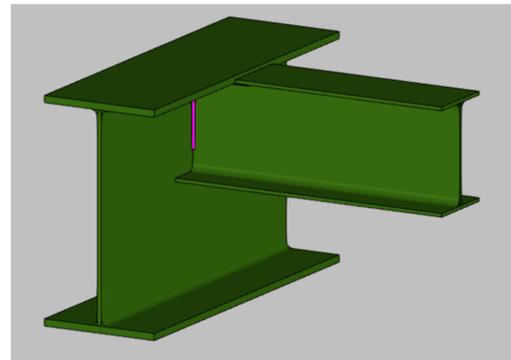


Figura 23 – Ligação Vigas W 310 X 38,7 e Vigas W 150 x 13. Fonte: Autor, 2023



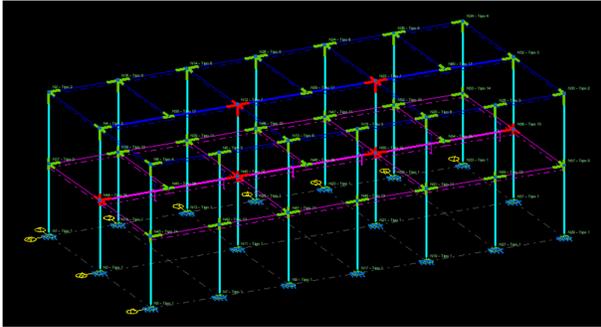
Uma particularidade nas ligações de travamento, inclui a necessidade de efetuar um recorte na mesa da viga de travamento para assegurar o encaixe adequado com a viga intermediária. No caso da figura 22 foi necessário realizar um corte de 23mm na alma e de 95mm na mesa do perfil W 250 X 17,9. No caso da figura 23 foi necessário realizar um corte de 20mm na alma e de 90mm na mesa do perfil W 150 X 13. Esse procedimento é realizado mediante uma análise detalhada das peças envolvidas, visando garantir a precisão e a integridade da conexão.

#### 4.2 Ligações Aparafusadas

Da mesma forma que ocorreu no sistema de ligações soldadas, o programa identificou incompatibilidades nos mesmos pontos. Estes erros incluíram situações como largura da mesa inferior ao necessário para a instalação dos parafusos, largura entre as mesas inferior ao necessário para ligações que acontecem na alma dos pilares, e espessura do pilar insuficiente para que o enrijecedor possa ser

dimensionado corretamente. Essas observações ressaltam a importância de realizar ajustes de compatibilização das peças, visto que, se considerar somente as cargas atuantes, essas seriam os suficientes para a estrutura.

Figura 24 – Ligações com incompatibilidades. Fonte: Autor, 2023

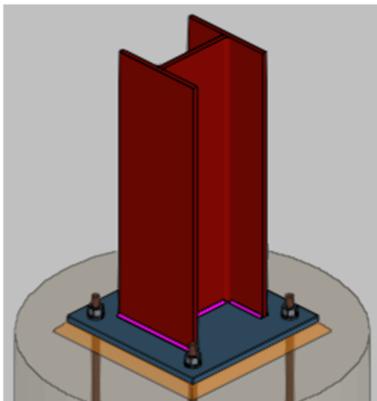


Para que fosse possível a instalação adequada dos parafusos, os pilares centrais foram substituídos por perfis W 310 X 97, enquanto os pilares nas bordas foram trocados por perfis HP 200 X 53. Após verificações adicionais, confirmou-se que todas as ligações estavam em conformidade com as normas e a partir desse ponto, deu-se início ao detalhamento das ligações. Apesar do tipo de ligação escolhido para o restante da estrutura, as ligações de base de pilares são feitas por meio de solda

#### 4.2.1 Ligação da Base

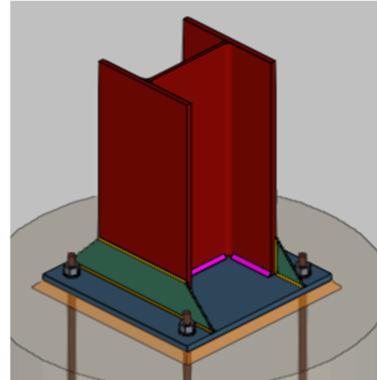
Devido à existência de três tipos distintos de pilares, tornou-se necessário desenvolver três tipos de ligações na base correspondentes a cada tipo de pilar. A figura 25 mostra o primeiro tipo de ligação, no qual o pilar HP 200 X 53 é soldado em uma chapa metálica de dimensões 350x350x15mm. Essa chapa é fixada à base por meio de quatro parafusos de 16 milímetros..

Figura 25 – Ligação Pilar HP 200 X 53. Fonte: Autor, 2023



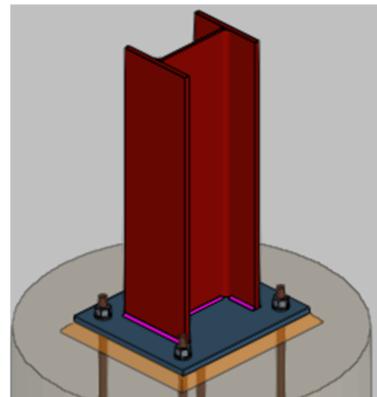
A figura 26 apresenta o segundo tipo de ligação na base, onde o pilar W 310 X 97 é soldado em uma chapa metálica com dimensões de 500x500x18mm. Essa chapa é fixada à base através de quatro parafusos de 20 milímetros. Além disso, foi necessário instalar um par de enrijecedores com dimensões de 500x100x5mm para garantir a estabilidade da estrutura.

Figura 26 – Ligação Pilar W 310 X 97. Fonte: Autor, 2023



A figura 27 mostra o terceiro tipo de ligação, no qual o pilar W 200 X 41,7 é soldado em uma chapa metálica de dimensões 300x350x12mm. Essa chapa é fixada à base por meio de quatro parafusos de 16 milímetros.

Figura 27 – Ligação Pilar W 200 X 41,7. Fonte: Autor, 2023



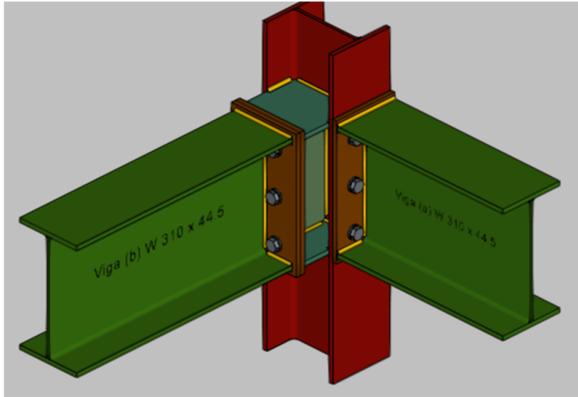
#### 4.2.2 Ligação de Canto

Nas ligações que ocorrem na alma do pilar, a utilização de enrijecedores é necessária para criar uma superfície que permita a realização da ligação aparafusada. Além disso, é requerido o uso de duas chapas de ligação para efetuar a conexão, o que resulta em um aumento da resistência devido ao acréscimo no número de seções de corte. Já nas ligações que ocorrem na mesa do pilar, é possível executar a ligação diretamente utilizando apenas uma chapa de

ligação. Essa distinção nas abordagens deve-se ao método construtivo dessa forma de ligação.

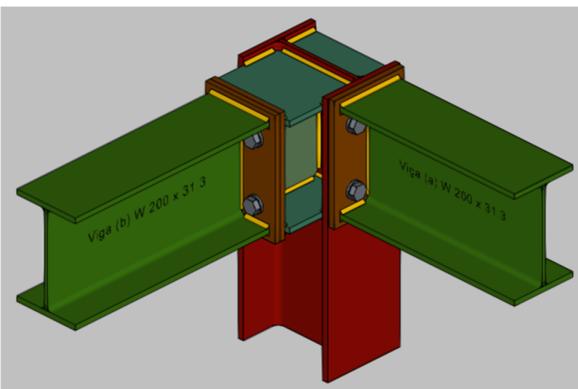
A figura 28 retrata a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 310 X 44,5. Neste caso, foram necessárias duas chapas de 190x340x12mm e seis parafusos de 16x55mm para a ligação que ocorre na alma do pilar. Já para a ligação na mesa, foi necessária uma chapa de 170x340x12mm e seis parafusos de 16x55mm.

Figura 28 – Ligação Pilar com Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023



A figura 29 retrata a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 200 X 31,3. Aqui, foram necessárias duas chapas de 160x240x12mm e quatro parafusos de 16x55mm para a ligação que ocorre na alma do pilar. Já na ligação na mesa, foi necessária uma chapa de 160x240x1mm e quatro parafusos de 16x55mm.

Figura 29 – Ligação Pilar com Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023

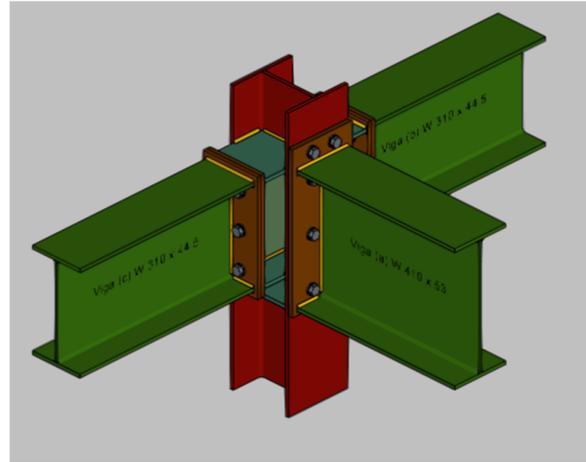


#### 4.2.3 Ligação Intermediária

A figura 30 representa a ligação entre o pilar HP 200 X 53 e as vigas W 310 X 44,5 e W 410 X 53. Este ponto foi um dos locais que apresentou restrição de espaço na mesa do pilar para o posicionamento

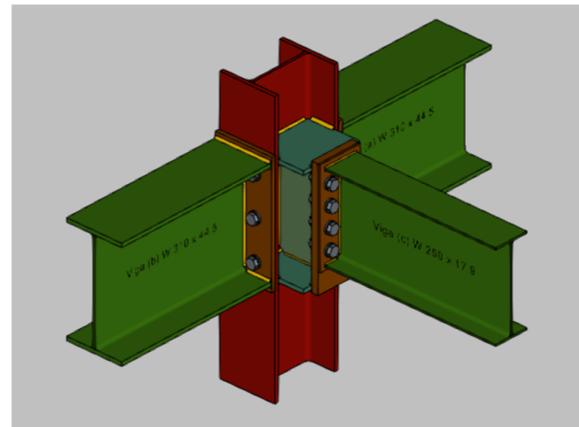
adequado dos parafusos. Nesse contexto, foram necessárias duas chapas de 190x350x12mm e seis parafusos de 16x55mm para a ligação com a viga W 310 X 44,5. Para a viga W 410 X 53, foi requerida uma chapa de 210x480x14mm e oito parafusos de 16x60mm.

Figura 30 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 44,5 e Vigas W 410 x 53. Fonte: Autor, 2023



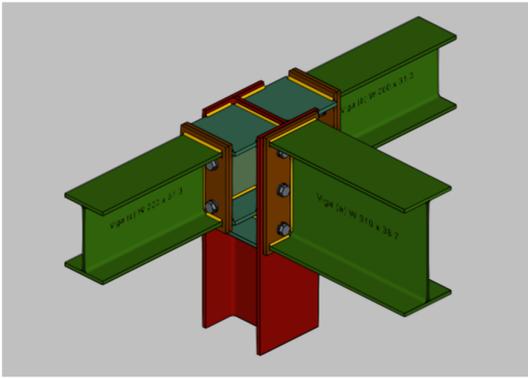
A figura 31 representa a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 310 X 44,5 e W 250 X 17,9. Aqui, foram necessárias duas chapas de 130x275x6mm e oito parafusos de 16x60mm para a ligação com a viga W 250 X 17,9. Já na viga W 310 X 44,5, foi requerida uma chapa de 170x345x12mm e seis parafusos de 16x55mm.

Figura 31 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 44,5 e Vigas W 250 X 17,9. Fonte: Autor, 2023



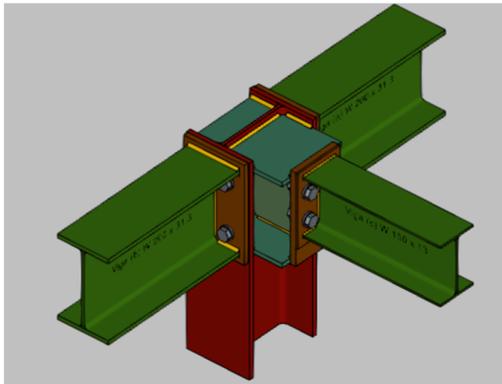
A figura 32 mostra a ligação entre o pilar HP 200 X 53 e as vigas W 310 X 38,7 e W 200 X 31,3. Para esse local, foram necessárias duas chapas de 160x250x11mm e quatro parafusos de 16x55mm para a ligação com a viga W 200 X 31,3. Já em relação a viga W 310 X 44,5, foi requerida uma chapa de 185x340x11mm e seis parafusos de 16x55mm.

Figura 32 – Ligação Pilar com Vigas W 200 X 31,3 e Vigas W 310 X 38,7. Fonte: Autor, 2023



A figura 33 representa a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 200 X 31,3 e W 150 X 13. Aqui, foram necessárias duas chapas de 130x185x5mm e quatro parafusos de 16x55mm para a ligação com a viga W 150 X 13. Já na viga W 200 X 31,3, foi requerida uma chapa de 160x245x12mm e quatro parafusos de 16x55mm.

Figura 33 – Ligação Pilar com Vigas W 200 X 31,3 e Vigas W 150 X 13. Fonte: Autor, 2023



#### 4.2.4 Ligação de Borda

Assim como na ligação soldada, recomenda-se a instalação das placas para combater a flambagem local da estrutura. Essa medida auxilia na estabilização da ligação, contribuindo para a resistência e integridade da estrutura diante das cargas aplicadas.

A figura 34, a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 310 X 44,5, que foi executada com uma chapa de 170x340x12mm e seis parafusos de 16x55mm.

Já na figura 35, demonstra a ligação entre o pilar W 200 X 41,7 e as vigas W 200 X 31,3, sendo essa executada com uma chapa de 160x240x12mm e quatro parafusos de 16x55mm

Figura 34 – Ligação Pilar com Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023

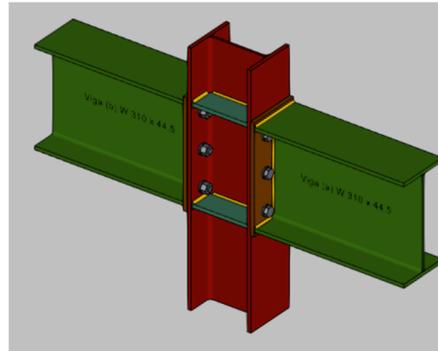
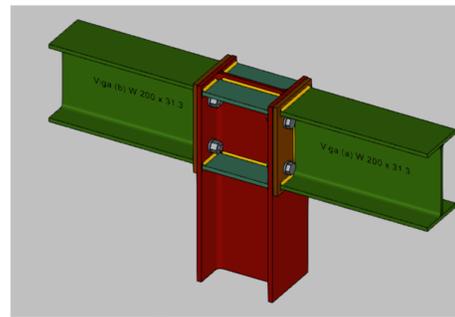


Figura 35 – Ligação Pilar com Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023



#### 4.2.5 Ligação Centrais

A solicitação de mudança no pilar durante o dimensionamento inicial destaca a necessidade de uma compatibilização, especialmente devido à grande quantidade de ligações que ocorrem no local. É essencial atentar para evitar a sobreposição das placas com os parafusos, garantindo assim uma disposição adequada que não comprometa a eficácia e a integridade das ligações estruturais.

A figura 36 apresenta a ligação entre o pilar W 310 X 97 e as vigas W 410 X 53 e W 310 X 44,5. Dado que este é o pilar mais exigido da estrutura, nota-se o uso de parafusos com diâmetro maior. Para a ligação com o perfil W 410 X 53, foi necessário o uso de uma chapa de 300x560x25mm e o emprego de oito parafusos de 36x100mm, sendo o diâmetro destes um dos motivos para a substituição do pilar. No caso do perfil W 310 X 44,5, foram necessárias duas chapas de 190x350x12mm e seis parafusos de 16x75mm.

A figura 37 apresenta a ligação entre o pilar W 310 X 97, mas agora com as vigas W 310 X 38,7 e W 200 X 31,3. Para a ligação com o perfil W 310 X 38,7, foi necessário o uso de uma chapa de 190x400x20mm e o emprego de oito parafusos de

20x75mm. No caso do perfil W 200 X 31,3, foram necessárias duas chapas de 160x250x11mm e quatro parafusos de 16x55mm.

Figura 36 – Ligação Pilar com Vigas W 410 X 53 e Vigas W 310 x 44,5. Fonte: Autor, 2023

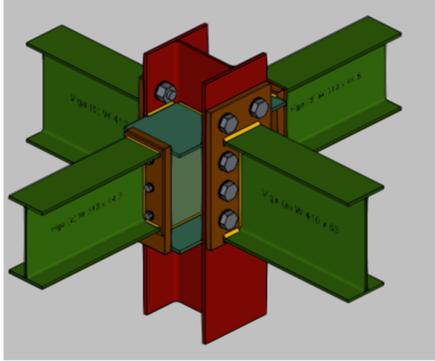
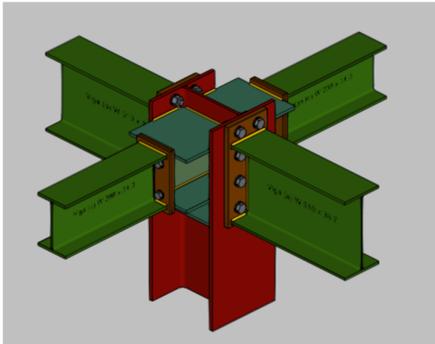


Figura 37 – Ligação Pilar com Vigas W 310 X 38,7 e Vigas W 200 x 31,3. Fonte: Autor, 2023



#### 4.2.6 Ligação de Travamento

Similar à ligação soldada, a ligação de travamento tem como objetivo realizar uma contenção lateral da viga. No entanto, ao contrário da ligação soldada, onde o fator limitante para a solda é a espessura da peça, aqui é necessário observar a altura disponível entre as mesas para realizar a ligação. É possível, inclusive, utilizar duas chapas para aumentar a resistência da ligação. Além disso, é necessário realizar um corte na mesa da viga para possibilitar o encaixe adequado.

No caso da figura 38 foi necessário realizar um corte de 23mm na alma e de 85mm na mesa do perfil W 250 X 17,9, além disso, foi instalada uma chapa de 90x210x8mm e o uso de quatro parafusos de 16x45mm. No caso da figura 39 foi necessário realizar um corte de 20mm na alma e de 80mm na mesa do perfil W 150 X 13, também foi instalada uma chapa de 90x110x8mm e o uso de dois parafusos de 16x45mm. Esse procedimento é realizado mediante

uma análise detalhada das peças envolvidas, visando garantir a precisão e a integridade da conexão.

Figura 38 – Ligação Vigas W 410 X 53 e Vigas W 250 x 17,9. Fonte: Autor, 2023

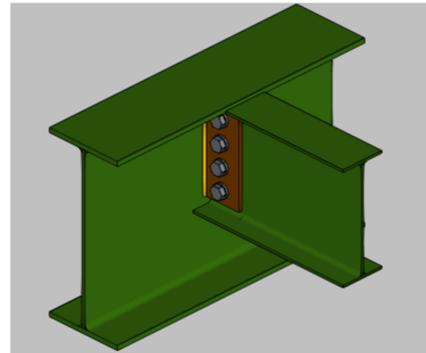
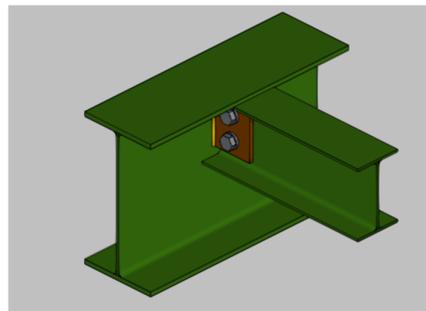


Figura 39 – Ligação Vigas W 310 X 38,7 e Vigas W 150 x 13. Fonte: Autor, 2023



## 5. CONCLUSÃO

A análise das ligações soldadas e parafusadas revela distintas características, apresentando vantagens e desvantagens únicas para cada método.

Na perspectiva das ligações soldadas, destaca-se a simplicidade da conexão e a possibilidade de utilizar peças menos robustas. Contudo, o processo construtivo torna-se mais demorado devido ao tempo de pega da solda, tornando-as mais indicadas para construções de menor altura e regiões com acesso facilitado à energia elétrica para a utilização de equipamentos de solda.

Por outro lado, as ligações parafusadas oferecem um método construtivo mais rápido, uma vez que os preparos podem ser realizados antecipadamente. São mais adequadas para construções complexas e trabalhos em altura, exigindo, no entanto, peças mais robustas e medidas precisas, além da necessidade de adquirir materiais adicionais como porcas, parafusos e arruelas. O quadro 8 mostra os materiais utilizados para a ligação

soldada e o quadro 9 mostra os materiais para a ligação parafusada.

Quadro 8 – Quantitativo Ligação Soldada. Autor (2023)

LISTA DE MATERIAIS						
ITEM	DESCRIÇÃO			UND	QTD	PESO TOTAL (KG)
Aço	200	X	41,7	m	84,00	3502,80
Aço	200	X	53	m	12,00	636,00
Aço	200	X	46,1	m	12,00	553,20
Aço	310	X	44,5	m	72,00	3204,00
Aço	410	X	53	m	18,00	954,00
Aço	250	X	17,9	m	13,50	322,20
Aço	200	X	31,3	m	72,00	2253,60
Aço	310	X	38,7	m	18,00	696,60
Aço	150	X	13	m	13,50	234,00
Porcas	M16			uni	72,00	
Anilhas	M16			uni	72,00	
Parafusos	M16			uni	72,00	60,89
Solda	Solda 60xx3mm			m	21,20	
Solda	Solda 60xx4mm			m	2,17	
Solda	Solda 60xx5mm			m	127,42	
Solda	Solda 60xx6mm			m	93,95	
Solda	Solda 60xx7mm			m	35,32	
Solda	Solda 60xx8mm			m	5,52	
Solda	Solda 60xx11mm			m	5,57	
Solda	Solda 70xx 3mm			m	7,06	
Solda	Solda 70xx 5mm			m	2,05	
Solda	Solda 70xx 7mm			m	3,05	
Enrijec.	Vários tamanhos			uni	1,00	599,70
Chapas	Vários tamanhos			uni	1,00	252,98
					<b>Peso total (kg):</b>	<b>13269,97</b>

Quadro 9 – Quantitativo Ligação parafusada. Autor (2023)

LISTA DE MATERIAIS						
ITEM	DESCRIÇÃO			UND	QTD	PESO TOTAL (KG)
Aço	200	X	41,7	m	84,00	3502,80
Aço	200	X	53	m	12,00	636,00
Aço	310	X	97	m	12,00	1164,00
Aço	310	X	44,5	m	72,00	3204,00
Aço	410	X	53	m	18,00	954,00
Aço	250	X	17,9	m	13,50	322,20
Aço	200	X	31,3	m	72,00	2253,60
Aço	310	X	38,7	m	18,00	696,60
Aço	150	X	13	m	13,50	234,00
Porcas	Vários tamanhos			uni	616,00	20,02
Anilhas	Vários tamanhos			uni	1164,00	46,56
Parafusos	Vários tamanhos			uni	546,00	638,82
Solda	Solda 60xx 3mm			m	21,27	
Solda	Solda 60xx 4mm			m	1,74	
Solda	Solda 60xx 5mm			m	114,50	

Solda	Solda 60xx 6mm	m	84,23	
Solda	Solda 60xx 7mm	m	26,12	
Solda	Solda 60xx10mm	m	2,16	
Solda	Solda 60xx11mm	m	1,09	
Solda	Solda 70xx3mm	m	5,70	
Solda	Solda 70xx4mm	m	1,08	
Solda	Solda 70xx5mm	m	17,27	
Solda	Solda 70xx6mm	m	1,43	
Solda	Solda 70xx7mm	m	12,34	
Solda	Solda 70xx8mm	m	1,05	
Solda	Solda 70xx9mm	m	1,05	
Solda	Solda 70xx11mm	m	2,75	
Enrijec.	Vários tamanhos	uni	1,00	627,66
Chapas	Vários tamanhos	uni	1,00	930,54
<b>Peso total (kg):</b>				<b>15230,80</b>

Quanto à produção de detalhamentos, ambas as técnicas podem ser representadas de maneira intuitiva no programa, sendo as ligações parafusadas mais eficientemente detalhadas, reduzindo potenciais erros durante a construção. A adoção do BIM atende às exigências da nova legislação para obras públicas, proporcionando uma representação tridimensional mais completa e integrada do projeto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7007: Aços-carbono e aços microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projetos de aço e de estruturas mistas de aço e concretos de edifício. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Diário Oficial da União, Brasília, 2 de abril de 2021, Seção 1, p. 1-27.

CYPE. CYPE3D: Software de projeto estrutural. Versão 2023. Multiplus, 2023g. Estrutura de aço: dimensionamento prático. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021