



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA MARTINS REZENDE

**ESTUDO DOS DETALHES NO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ESTRUTURAS
METÁLICAS CONVENCIONAIS**

**PALMAS
2023**

FERNANDA MARTINS REZENDE

**ESTUDO DOS DETALHES NO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ESTRUTURAS
METÁLICAS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Campus Palmas, como exigência
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Coorientador: Esp. Humberto Moreira Rezende

**PALMAS
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

R467e Rezende, Fernanda Martins
Estudo dos detalhes no processo construtivo de estruturas metálicas
convencionais / Fernanda Martins Rezende. – Palmas, TO, 2023.
85 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Pedroso
Coorientador: Esp. Humberto Moreira Rezende

I. Estruturas metálicas. 2. Detalhes. 3. Projeto. I. Pedroso, Gilson
Marafiga. II. Rezende, Humberto Moreira. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FERNANDA MARTINS REZENDE

**ESTUDO DOS DETALHES NO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ESTRUTURAS
METÁLICAS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Campus Palmas, como exigência
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Coorientador: Esp. Humberto Moreira Rezende

Aprovado em: 03/03/2023

BANCA AVALIADORA

 Documento assinado digitalmente
GILSON MARAFIGA PEDROSO
Data: 03/03/2023 09:57:22-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Orientador

(IFTO)

HUMBERTO MOREIRA
REZENDE:3107259314
9

Assinado de forma digital por
HUMBERTO MOREIRA
REZENDE:31072593149
Dados: 2023.03.03 09:11:52 -03'00'

Esp. Humberto Moreira Rezende

Coorientador

 Documento assinado digitalmente
THIAGO DIAS DE ARAÚJO E SILVA
Data: 03/03/2023 08:00:59-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

(IFTO)

 Documento assinado digitalmente
ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO
Data: 03/03/2023 07:23:15-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho
(IFTO)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu querido e amado pai, também engenheiro civil, que me ensinou e me ensina muito sobre a profissão e mais ainda sobre a vida, sobre o ser humano, sobre criar e cultivar virtudes, sobre as coisas mais sublimes da existência. Dedico, também, à minha querida e amada mãe, que com muito amor e zelo me mostrou o caminho a trilhar, sem medir esforços para me oferecer sempre o melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Humberto e Sheila, pelo amor infinito, por serem meus melhores amigos, minha base e meu lar. Agradeço ao meu querido irmão João Vitor, que nas diferenças me mostra a importância da tolerância e da afabilidade. Agradeço ao meu amado namorado, meu par, João Felipe, que muito me ensina com sua serenidade, docilidade e paciência.

Agradeço aos meus tios, primos e amigos que estiveram comigo em pelo menos um momento dessa etapa tão importante da minha vida. Agradeço especialmente à minha grande amiga, de curso e de vida, Aline Peres, que esteve presente em minha vida desde o início da faculdade e que nem mesmo a distância física foi capaz de abalar nossa amizade.

Agradeço ao meu querido orientador Gilson Marafra que com toda sua sabedoria e serenidade me conduziu neste trabalho e nos trâmites processuais para a culminação dessa etapa, e que me ensinou que com cautela, paciência e dedicação podemos adquirir resultados mais satisfatórios. Agradeço aos professores da banca, Thiago Dias e Adriano Guimarães pelas ponderações e ensinamentos concedidos não somente neste momento, como também ao longo do curso.

Por fim, agradeço à Sabedoria Universal, pois sem ela, nada existiria. Agradeço à vida que me deu, à vida dos seres ao meu redor, às oportunidades que me são concedidas, ao entendimento de que nada é por acaso, de que para tudo existe um motivo maior.

RESUMO

Devido ao crescimento da cadeia da construção, houve uma procura para a edificação de empreendimentos de maneira acelerada. Para isso, podem ser utilizados sistemas construtivos que proporcionam maior velocidade de execução, como, por exemplo, a alvenaria estrutural, o pré-moldado e as estruturas metálicas, sendo a última o objeto de estudo do presente trabalho. Essa é uma tipologia de estruturas que exige destreza e minuciosidade, principalmente em seu detalhamento e em sua montagem, portanto faz-se necessário que os profissionais atuantes neste processo tenham conhecimentos específicos da área para uma execução eficiente e precisa. A partir desse entendimento, surgiu o pensamento de fazer esse trabalho. Dessa forma foi feita uma revisão bibliográfica que possui uma base de conhecimentos pautados em escritores, estudiosos e profissionais da área sobre as estruturas metálicas, além disso, foi feito um estudo de caso de dois projetos sendo selecionadas e fornecidas a ilustração e descrição de alguns detalhes mais comumente empregados nessa tipologia, a fim de auxiliar o entendimento de estudantes e profissionais da área. Ao final desse labor, pode-se evidenciar a contribuição dos detalhes apresentados para o entendimento dos leitores, assim como a importância do detalhamento das estruturas metálicas na elaboração de projetos para o entendimento dos atores envolvidos nesse processo.

Palavras-chave: Estrutura metálica. Projeto. Detalhamento.

ABSTRACT

Due to the growth of the construction chain, there has been a demand for the construction of projects in an accelerated manner. For this, construction systems that provide greater speed of execution can be used, such as, for example, structural masonry, precast and steel structures, the latter being the object of study of this paper. This is a type of structure that requires skill and thoroughness, especially in its detailing and assembly, so it is necessary that professionals working in this process have specific knowledge of the area for an efficient and accurate execution. From this understanding came the thought of doing this work. In this way, a bibliographic review was done, which has a base of knowledge based on writers, scholars and professionals in the area about steel structures. Besides that, a case study of two projects was done, being selected and provided the illustration and description of some details most commonly used in this typology, in order to help the understanding of students and professionals in the area. At the end of this work, it can be evidenced the contribution of the details presented for the understanding of the readers, as well as the importance of the details of the steel structures in the elaboration of projects for the understanding of the actors involved in this process.

Keywords: Metallic structure. Project. Detailing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A Ponte de Ferro (Ironbridge)	12
Figura 2 – A Torre Eiffel (Tour Eiffel)	13
Figura 3 – Edifício Chrysler	14
Figura 4 – Edifício Garagem América	15
Figura 5 – Diagrama convencional tensão (s) x deformação (e) dos aços ASTM A36, A242, A325, A490	19
Figura 6 - Variação de módulo de elasticidade e resistência com a temperatura	20
Figura 7 – Exemplo de perfis laminados (perfis “L”, “I” e “U”)	21
Figura 8 – Exemplo de perfil “I” soldado.....	22
Figura 9 - Exemplos de perfis formados a frio (perfis “U” simples, “U” enrijecido e “L”) ...	23
Figura 10 – Exemplos de perfis tubulares (tubo redondo e tubo quadrado)	23
Figura 11 – Demonstração do carregamento atuando no pilar	24
Figura 12 – Demonstração do carregamento atuando na viga	24
Figura 13 – Fotografia de um tipo de treliça e descrição dos seus componentes.....	25
Figura 14 – Demonstração de um vão entre treliças e seus componentes (terças, tirantes e barras comprimidas).....	26
Figura 15 – Demonstração em corte de terças e tirantes	26
Figura 16 – Demonstração de terças, tirantes.....	27
Figura 17 – Fotografia de uma cobertura que ilustra a utilização da mão-francesa	27
Figura 18 – Esquema de aplicação dos tirantes e linhas de corrente em coberturas	28
Figura 19 – Demonstração de base de pilar.....	29
Figura 20 – Representação gráfica da solda de filete	30
Figura 21 – Representação gráfica da solda de entalhe.....	30
Figura 22 – Simbologia das soldas	31
Figura 23 – Representação gráfica de um parafuso.....	32
Figura 24 – Representação de laje <i>steel deck</i>	33
Figura 25 – Detalhe da chapa A e vista do lado maior da base de pilar.....	36
Figura 26 – Detalhe das chapas A e C e vista do lado menor da base de pilar	37
Figura 27 – Detalhe da chapa B e dos chumbadores com 25mm de diâmetro e 700mm de comprimento.....	38
Figura 28 – Detalhe da chapa A e vista do lado maior da base de pilar	39
Figura 29 – Detalhe da chapa A e vista do lado menor da base de pilar	40

Figura 30 – Detalhe da chapa B e dos chumbadores com 25mm de diâmetro e 700mm de comprimento.....	41
Figura 31 – Detalhe de base de pilar	42
Figura 32 – Representação de bases de pilar em caso de junta de dilatação.....	43
Figura 33 – Detalhe do pilar treliçado	44
Figura 34 – Detalhe da ligação entre os elementos de uma treliça.....	44
Figura 35 – Detalhe do encontro das telhas e do rufo	45
Figura 36 – Detalhe da ligação entre as mãos francesas e as terças.....	46
Figura 37 – Indicação das vistas do pilar e indicação dos esforços em planta.....	47
Figura 38 – Detalhe da ligação entre pilar e viga	48
Figura 39 – Detalhe da ligação entre pilar e viga	49
Figura 40 – Detalhe das chapas de ligação 1, 2, 3 e 4 entre pilar e viga	50
Figura 41 – Detalhe da ligação entre pilar e viga e entre viga e viga.....	51
Figura 42 – Detalhe da ligação entre pilar e viga	52
Figura 43 – Detalhe da ligação entre viga e viga	53
Figura 44 – Detalhe da ligação entre viga e viga	54
Figura 45 – Detalhe da ligação entre pilar de concreto e viga laminada.....	55
Figura 46 – Detalhe da ligação entre viga e viga	56
Figura 47 – Detalhe da ligação entre pilar e viga	57
Figura 48 – Detalhe da ligação entre pilar de concreto e viga metálica.....	58
Figura 49 – Detalhe da chapa 1	59
Figura 50 – Detalhe da chapa 5	60
Figura 51 – Detalhe do travamento das terças.....	61
Figura 52 – Detalhe do travamento das terças.....	61
Figura 53 – Detalhe do travamento das terças.....	62
Figura 54 – Detalhe de fixação de terças.....	63
Figura 55 – Detalhe de fixação de terças.....	64
Figura 56 – Detalhe do travamento das terças através de rosca e porcas	65
Figura 57 – Detalhe do rufo.....	66
Figura 58 – Detalhe da calha	67

SUMÁRIO

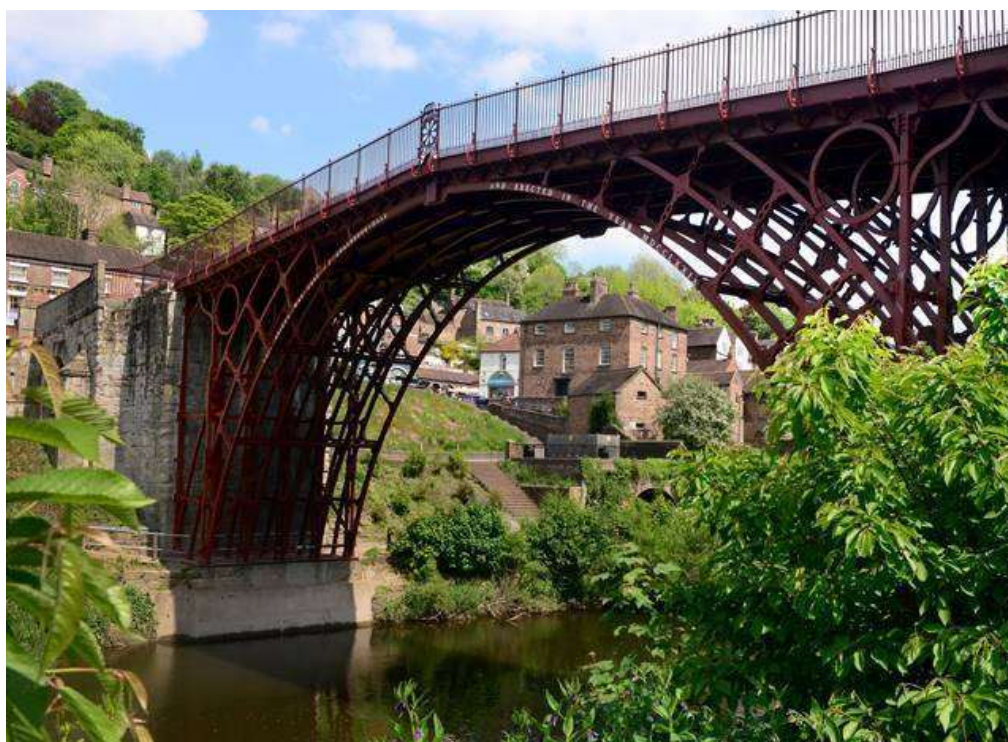
1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	12
2 INTRODUÇÃO.....	15
3 PROBLEMÁTICA	16
4 OBJETIVOS.....	17
4.1 Objetivo Geral	17
4.2 Objetivos Específicos	17
5 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
5.1 O Aço.....	17
5.1.2 Propriedades.....	18
5.2. Perfis.....	21
5.2.1 Tipos de perfis	21
5.2.1.1 Perfis Laminados	21
5.2.1.2 Perfis Soldados	22
5.2.1.3 Perfis Formados a Frio	22
5.2.1.4 Perfis Tubulares	23
5.3 Elementos Estruturais de Aço.....	24
5.3.1 Pilares	24
5.3.2 Vigas.....	24
5.3.3 Treliças	25
5.3.4 Terças	25
5.3.5 Mãos Francesas	26
5.3.6 Tirantes e linhas de correntes	27
5.3.7 Elementos de contraventamento.....	28
5.3.8 Bases de pilares	29
5.4 Ligações.....	29
5.4.1 Ligações soldadas	30

5.4.2 Ligações parafusadas.....	31
5.5 Steel deck.....	32
5.6 Vedação lateral com painéis metálicos.....	33
5.7 Cobertura	33
6 METODOLOGIA	34
7 DESENVOLVIMENTO.....	35
7.1 Base de Pilares.....	36
7.2 Pilares	44
7.3 Vigas.....	51
7.4 Vedação Lateral.....	61
7.1 Fixação e travamento de terças.....	62
8 CONCLUSÃO.....	68
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A – Projeto A	71
APÊNDICE B – Projeto B.....	76
APÊNDICE C – Trechos retirados na norma ABNT NBR 8800:2008 que podem contribuir para o entendimento dos detalhes apresentados no capítulo 7.	80

1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

O aço começou a ser utilizado, em uma escala maior, próximo à Revolução Industrial, no ano de 1750, quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. A primeira utilização estrutural importante ocorreu na Inglaterra, em 1779, com a construção da primeira ponte de ferro do mundo, a Iron Bridge, existente até os dias atuais (IRONBRIDGE, 2022).

Figura 1 - A Ponte de Ferro (Ironbridge)



Fonte: Ironbridge, 2022. Disponível em: <https://www.ironbridge.org.uk/visit/the-iron-bridge-tollhouse/>.

Em meados do século XIX, houve a construção do Palácio de Cristal, também na Inglaterra, dessa vez em Londres, sendo este o ponto de partida de grandes construções metálicas que se sucedem ao longo dos próximos anos (BELLEI, 2008).

Em 1872, próximo à Paris, foi construída a fábrica de chocolate de Noisiel-Sur-Name. De acordo com Bellei (2008, p.18), foi:

“O primeiro edifício de andares múltiplos realmente projetado como deve ser um edifício com estrutura metálica. Trata-se de um edifício de vários andares, construído por Jules Saulnier (...) Esse edifício antecipa alguns dos elementos estruturais da moderna construção com esqueleto de aço: as laterais do edifício apoiadas em vigas em balanço e principalmente a estabilidade

lateral do prédio, garantida por uma rede de diagonais, sistema idêntico ao de contraventamento de modernos edifícios.”

Alguns anos depois, em 1889, foi inaugurada, em Paris, a Torre Eiffel, um marco histórico das construções em aço, com 300 metros de altura e 125 metros de largura, foi um sucesso internacional imediato (TORRE EIFFEL, 2022).

Figura 2 – A Torre Eiffel (Tour Eiffel)



Fonte: Torre Eiffel, 2022. Disponível em: <https://www.toureffel.paris/fr/le-monument/illuminations>.

No final do século XIX, em Chicago (EUA), houve várias construções de edifícios metálicos, na época inovadoras, como o Leiter Building 1 (1879), o Tacoma Building (1884) e o Home Insurance Building (1885). As características encontradas nos edifícios que surgiram a partir dessa data, eram: ligações rebitadas, contraventamentos verticais e janelas salientes. Nessa época, as vigas de aço doce substituíram as vigas de ferro forjado, fazendo com que o ferro fundido entrasse em desuso. Ocorrendo, assim, um grande avanço tecnológico. Nos anos que se seguiram, a França e os Estados Unidos da América continuaram tendo destaque em suas construções, como a cobertura de vidro da Galeria D’Orleans, em Paris e os arranha-céus

de Nova York (WoolWorth Building, Chrysler Building e o icônico Empire State Building) (BELLEI, 2008).

Figura 3 – Edifício Chrysler



Fonte: Edifício Chrysler, 2022. Disponível em: <https://chryslerbuilding.com/>.

Até o fim da Primeira Guerra Mundial e da crise de 1929, o Brasil importava o aço que era utilizado nas construções de diversos edifícios (mercados, estações ferroviárias, casas, teatros e outros). Devido a esses acontecimentos, a importação do aço tornou-se inviável e de difícil acesso, sendo reduzida e alimentada preferencialmente pelos EUA. Dessa maneira, a indústria brasileira foi induzida ao desenvolvimento. No início da década de 1920, foi criada a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira que juntamente com as pequenas produções, no fim do decênio chegaram a produzir aproximadamente dez vezes mais do que produziam a princípio. Já na década de 1940 foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) com o intuito de fabricar chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas. As usinas da Usiminas, da Cosipa e da Gerdau Açominas entraram no mercado, nas décadas de 1960 e 1980, fortalecendo a indústria brasileira. O país que até então importava tais produtos, começou a exportar, pois o alto volume de produção excedia a demanda do mercado local. Em 1953, houve a criação da Fábrica de

Estruturas Metálicas (FEM) - desativada em 1998 - pela CSN para auxiliar na difusão do uso do aço nas edificações, iniciando, assim, a formação de mão-de-obra especializada além do ciclo completo de produção das estruturas metálicas. Alguns importantes edifícios construídos nesse momento, foram: Edifício Garagem América, Edifício Avenida Central e Edifício Escritório Central da CSN (BELLEI, 2008).

Figura 4 – Edifício Garagem América



Fonte: BELLEI, 2008.

A partir dessa época foram surgindo em todo o País um grande número de fabricantes, projetistas, desenhistas e outros profissionais do ramo e o Brasil, na década de 1970 já produzia cerca de 500 mil toneladas de estruturas metálicas por ano, mas totalmente voltada para o setor industrial (BELLEI, 2008).

2 INTRODUÇÃO

Embora haja desvantagens como a necessidade de mão de obra especializada e de pintura para proteção contra a oxidação, nos dias atuais, o aço já ganhou mais espaço e notoriedade nacional e internacional devido às suas vantagens como a rapidez de execução, o

menor custo de administração, possibilidade do reaproveitamento do material, leveza da estrutura, entre outros (BELLEI, 2008). Porém no Brasil o seu uso ainda está muito relacionado à edificações industriais, sendo mais comum o seu emprego em galpões e coberturas.

Apesar da pandemia da COVID-19, no ano de 2020 houve um crescimento do consumo aparente de produtos siderúrgicos pelo setor da construção civil. Esse consumo teve um aumento de 12%. Em outros setores foi apresentado um salto de 37,6% em 2019 para 41,2% em 2020 (SCHMITT, 2021).

Através da estatística mensal do Instituto Aço Brasil para o ano de 2021 é possível observar que houve um aumento do consumo do aço, assim como ocorreu no ano antecedente. Já o primeiro semestre de 2022 apresenta uma queda significativa na produção, importação, consumo doméstico e vendas internas do aço, porém houve um aumento na sua exportação. À isso se atribui o aumento do valor do aço, a falta de profissionais qualificados para a execução dessas obras e a cultura de executar construções através do sistema de estruturas de concreto armado, que ainda se encontra arraigada no povo brasileiro, e embora tenha evoluído ao longo dos anos e seja, também, uma boa opção, acaba limitando o acesso às estruturas metálicas e às estruturas mistas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021).

Visto que não há uma norma brasileira que se refere, especificamente, à montagem dessas estruturas, esse documento surgiu com a finalidade de informar e orientar sobre as boas práticas na montagem das estruturas metálicas.

3 PROBLEMÁTICA

Sabe-se que quando se trata de estruturas de concreto armado, trabalha-se na unidade de medida centímetros, porém com as estruturas de aço é diferente, pois a unidade de medida empregada é milímetros, o que exige mais atenção e destreza dos profissionais envolvidos no processo. Dito isso, é possível concluir que a mão de obra a ser empregada nesta tipologia deverá ser especializada e qualificada.

Esse trabalho surgiu a partir de questionamentos sobre a necessidade de mão de obra especializada, como, por exemplo, o soldador; sobre a necessidade de quantidade de detalhamentos em projetos desta tipologia, pois por serem empregadas peças industrializadas, as suas ligações devem seguir um dimensionamento com tipos de soldas e parafusos específicos; sobre a necessidade de conhecimento técnicos e de boas práticas por parte dos profissionais atuantes na área e daqueles que pretendem ingressar nesta e sobre as possíveis dificuldades a serem encontradas no momento da montagem deste sistema construtivo.

Além disso, existe na região norte do país uma deficiência de profissionais que tenham conhecimentos de leitura de projetos, assim como a fabricação e montagem das estruturas metálicas, sendo somado à baixa qualidade do nível de detalhamentos dos projetos dessa tipologia. Logo, é de suma importância a elaboração de detalhes de maneira clara e objetiva.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Fazer o estudo em projetos de edifícios que adotam estruturas metálicas convencionais a fim de descrever e demonstrar o processo de detalhamento de projeto do sistema construtivo desta tipologia estrutural.

4.2 Objetivos Específicos

- Abordar sobre os elementos estruturais, os tipos de perfis e os tipos de ligações utilizados nas construções convencionais de estruturas metálicas, assim como as propriedades do aço e o seu contexto histórico;
- Demonstrar e discutir sobre os detalhes construtivos desse sistema tendo como base e direcionamento os projetos fornecidos.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir do tema central deste trabalho, serão apresentados abaixo os seguintes temas: o aço e suas propriedades, os perfis e suas tipologias, os elementos estruturais metálicos, as ligações, o *steel deck*, as vedações laterais com painéis metálicos e a cobertura.

5.1 O Aço

A definição do aço pode ser dada como sendo uma liga metálica composta principalmente por ferro e enriquecida com uma baixa quantidade de carbono, com valores que ficam entre 0,008% e 2,11% (PFEIL e PFEIL, 2009). Além destes compostos, estão presentes elementos residuais, decorrentes do processo de fabricação, como o enxofre, silício, manganês e o fósforo, dentre outros elementos de liga utilizados para alcançar propriedades especiais

como o cromo, o manganês, o níquel e outros (DIAS, 2000). Os aços com quantidades normais de resíduos são chamados de aços carbono, já os que possuem maiores resíduos ou são acrescidos de elementos de liga, são denominados aços liga.

A adição de carbono aumenta a resistência do aço, o que o torna mais duro e frágil, ou seja, quanto menor a adição de carbono, menos resistente e mais dúctil será o aço. As resistências à ruptura de compressão e de tração do aço possuem valores iguais, variando entre os limites de 300MPa até valores acima de 1200Mpa. São requeridas dos aços para estruturas propriedades como a soldabilidade, ductilidade, homogeneidade e alta relação tensão resistente-escoamento (PFEIL e PFEIL, 2009).

5.1.2 Propriedades

O aço, assim como qualquer material, possui as suas propriedades. Dentre elas tem-se a ductilidade, fragilidade, dureza, resiliência e outras, que serão abordadas a seguir. Possui, também, as suas características físicas que podem ser aplicadas a todo tipo de aço estrutural, na faixa normal de temperatura ambiente (PFEIL e PFEIL, 2009).

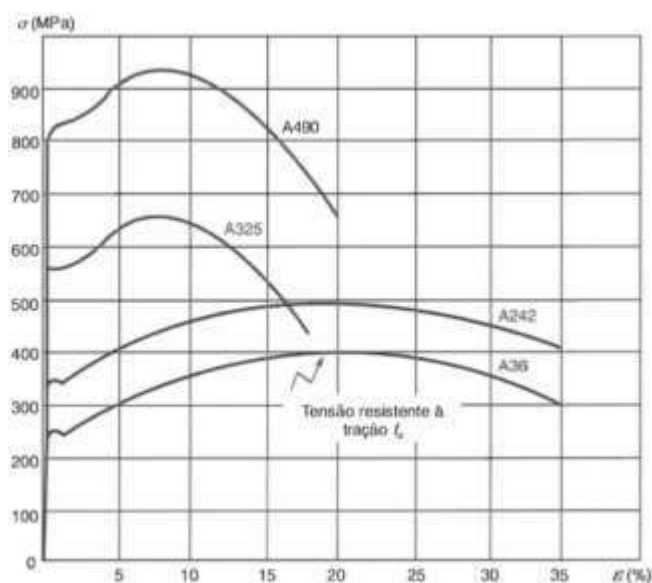
Adaptado de Pfeil e Pfeil, 2009, seguem as principais características físicas dos aços estruturais:

- Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade $E = 200.000 \text{ Mpa}$
- Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatação térmica $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Massa específica $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

5.1.2.1 Ductilidade

Ductilidade é a capacidade que um material tem de deformar-se quando submetido a ação de uma ou mais cargas. A importância da ductilidade é a de fornecer avisos das altas cargas aplicadas através da deformação excessiva antes da ruptura do elemento. No diagrama abaixo verifica-se que o aço A325, apesar de ser mais resistente, é menos dúctil que os aços A36 e A242, comprovando o que foi dito no tópico anterior. (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 5 – Diagrama convencional tensão (σ) x deformação (ϵ) dos aços ASTM A36, A242, A325, A490



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

5.1.2.2 Fragilidade

De acordo com Pfeil (2009), a fragilidade é o oposto da ductilidade. O aço está sujeito a obter essa propriedade através da ação de diversos agente, como por exemplo, as baixas temperaturas ambientes, o efeito de encruamento e os efeitos térmicos locais (sendo a solda inadequada um desses causadores). Os aços frágeis rompem-se de forma brusca, sem fornecer qualquer aviso prévio.

5.1.2.3 Dureza

Dureza é a resistência que um material possui ao risco ou à abrasão. Na prática mede-se a dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza (PFEIL e PFEIL, 2009).

5.1.2.4 Resiliência

Resiliência é a capacidade do material absorver energia mecânica no regime elástico, ou seja, é a capacidade de restituir energia mecânica absorvida. O módulo de resiliência ou

simplesmente resiliência é a quantidade de energia elástica que pode ser absorvida por unidade de volume do metal tracionado (PFEIL e PFEIL, 2009).

5.1.2.5 Tenacidade

Denomina-se tenacidade a energia total, elástica e plástica que o material pode absorver por unidade de volume até a sua ruptura (PFEIL e PFEIL, 2009).

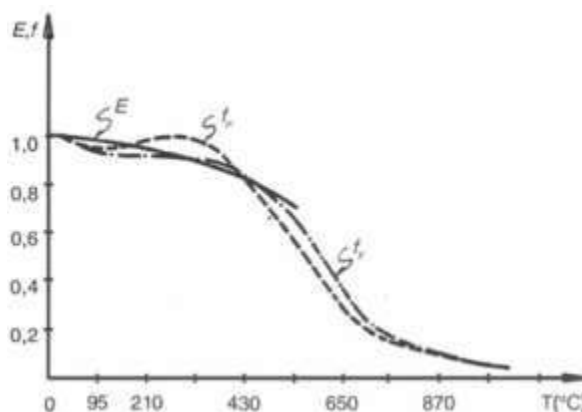
5.1.2.6 Fadiga

A fadiga ocorre quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos em grande número, podendo, assim, haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. A ocorrência de fadiga caracteriza-se pelo aparecimento de fraturas que se propagam com a repetição do carregamento. Em geral, essas fraturas se iniciam nos pontos de concentração de tensões, como as uniões por solda. (PFEIL e PFEIL, 2009).

5.1.2.7 Efeito de Temperatura Elevada

As propriedades físicas do aço são modificadas quando o material é submetido a elevadas temperaturas, sendo reduzidas as resistências de escoamento, de ruptura e o módulo de elasticidade. Temperaturas acima de 100°C têm a tendência de eliminar o limite de escoamento bem definido, tornando-o arredondado no diagrama $S \times e$. Já as temperaturas entre 250°C e 300°C ocasionam fluência nas estruturas de aço (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 6 - Variação de módulo de elasticidade e resistência com a temperatura



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

5.1.2.8 Corrosão

A corrosão é o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto desta reação muito similar ao minério de ferro. A corrosão promove a perda de seção das peças de aço, podendo ser a causa principal de colapso de uma estrutura. A proteção das estruturas de aço, quando expostas ao ar, habitualmente é feita com pintura ou galvanização (processo de revestimento da peça metálica com um elemento metálico mais nobre, geralmente usa-se o zinco para superfícies de ferro e de aço (PFEIL e PFEIL, 2009)).

5.2. Perfis

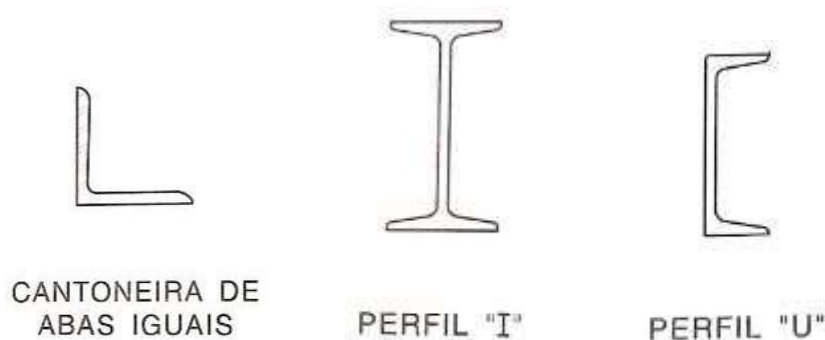
5.2.1 Tipos de perfis

5.2.1.1 Perfis Laminados

Esses perfis são obtidos através de laminadores industriais à quente, ou seja, a própria usina já entrega este produto ao mercado. Os principais perfis produzidos são: cantoneiras de abas iguais (também conhecido como perfil “L”), perfil “I”, perfil “H” e perfil “U” (PFEIL e PFEIL, 2009; DIAS, 1997).

A norma que trata de perfis laminados de aço para uso estrutural é a ABNT NBR 15980:2020.

Figura 7 – Exemplo de perfis laminados (perfis “L”, “I” e “U”)

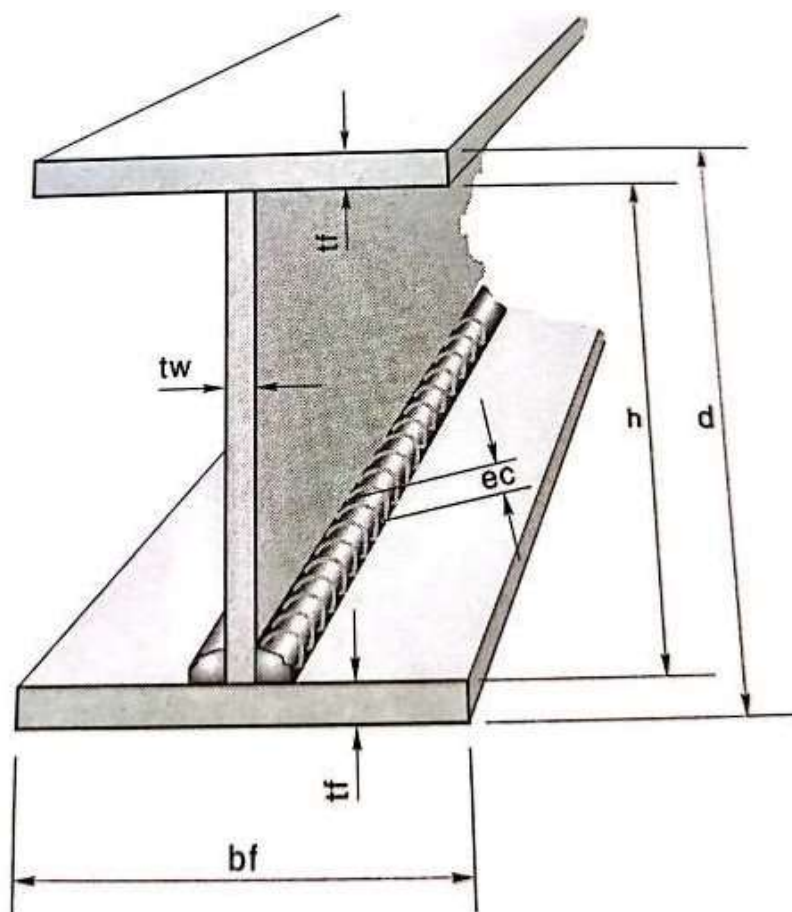


Fonte: adaptado de DIAS, 1997.

5.2.1.2 Perfis Soldados

Os perfis soldados são formados através de chapas planas de aço, cortadas e soldadas, o que permite grande variedade nas dimensões e formatos de suas seções (DIAS, 1997).

Figura 8 – Exemplo de perfil “I” soldado

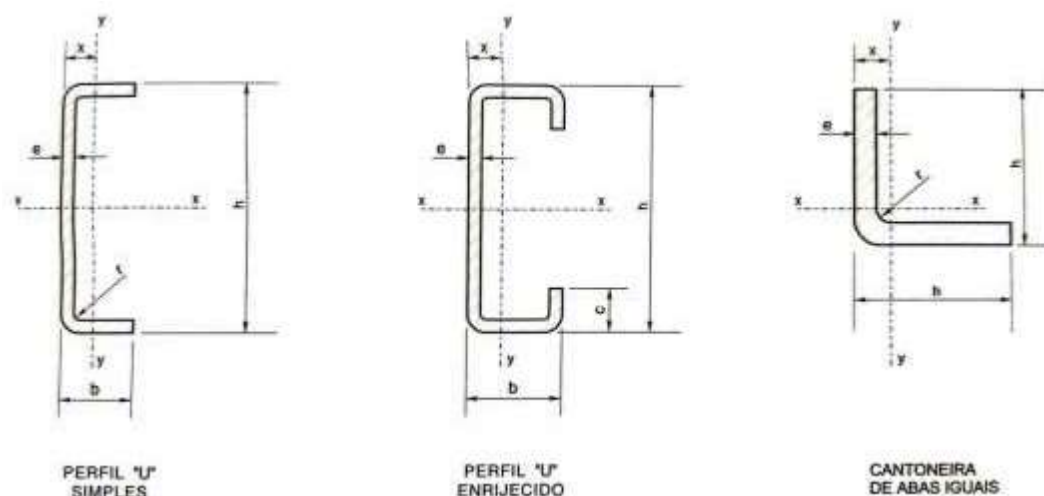


Fonte: DIAS, 1997.

5.2.1.3 Perfis Formados a Frio

Esses perfis são obtidos através do processo de dobramento a frio das chapas de aço. Apesar de suas dimensões serem padronizadas, há a possibilidade de serem produzidos pelos fabricantes de acordo com a exigência do cliente, desde que respeitem as limitações dimensionais das suas linhas e processos. São recomendados, em geral, para edificações leves, como galpões, por exemplo. Os principais tipos de perfis formados a frio são: cantoneira de abas iguais (ou perfil “L”), perfil “U” simples e perfil “U” enrijecido (DIAS,1997).

Figura 9 - Exemplos de perfis formados a frio (perfis “U” simples, “U” enrijecido e “L”)

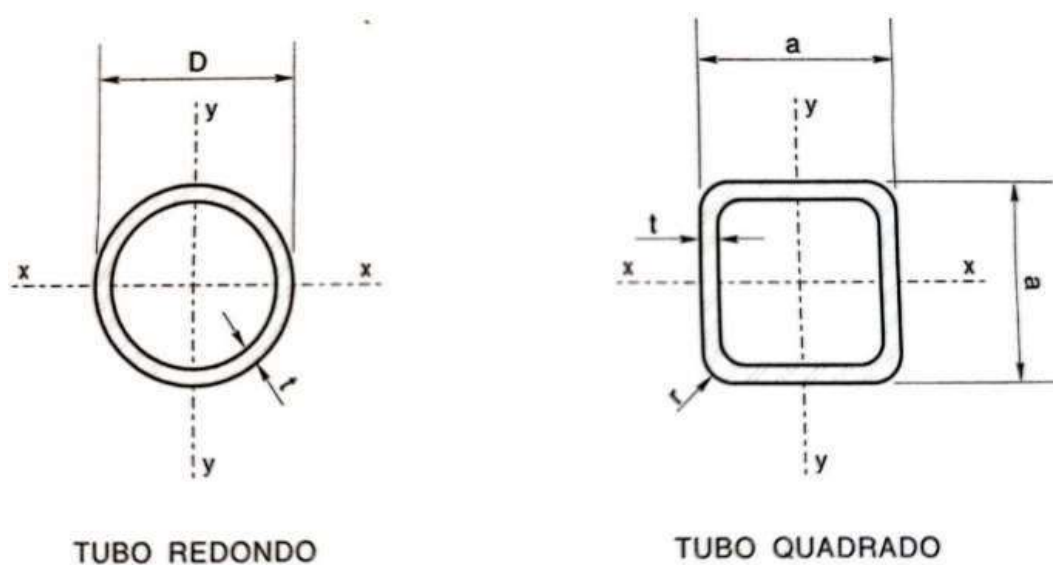


Fonte: DIAS, 1997.

5.2.1.4 Perfis Tubulares

Existem dois tipos de perfis tubulares: com costura e sem costura (obtidos pelo processo de extrusão). Os perfis com costuras são obtidos através da calandragem ou através da prensagem das chapas, com soldagem por arco submerso e pela conformação contínua, com soldagem por eletrofusão. Os perfis mais comuns são os tubos redondos, tubos quadrados e tubos retangulares (DIAS, 1997).

Figura 10 – Exemplos de perfis tubulares (tubo redondo e tubo quadrado)



Fonte: DIAS, 1997.

5.3 Elementos Estruturais de Aço

5.3.1 Pilares

O conceito de pilar está relacionado com a sua geometria e a forma como este elemento recebe os carregamentos, sendo assim, os pilares são barras, ou seja, são elementos que possuem a sua altura muito maior que os lados da sua seção e sofrem carregamento axial (DIAS, 1997).

Figura 11 – Demonstração do carregamento atuando no pilar

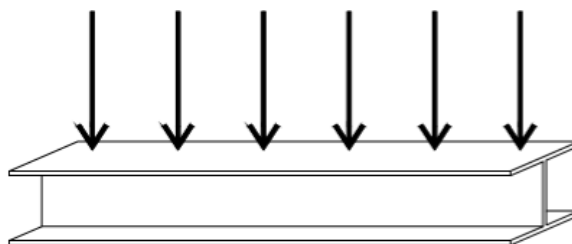


Fonte: Próprio autor, 2023.

5.3.2 Vigas

Assim como os pilares, as vigas também são barras, o que os diferenciam é que as vigas sofrem carregamento transversal ao seu eixo (DIAS, 1997).

Figura 12 – Demonstração do carregamento atuando na viga

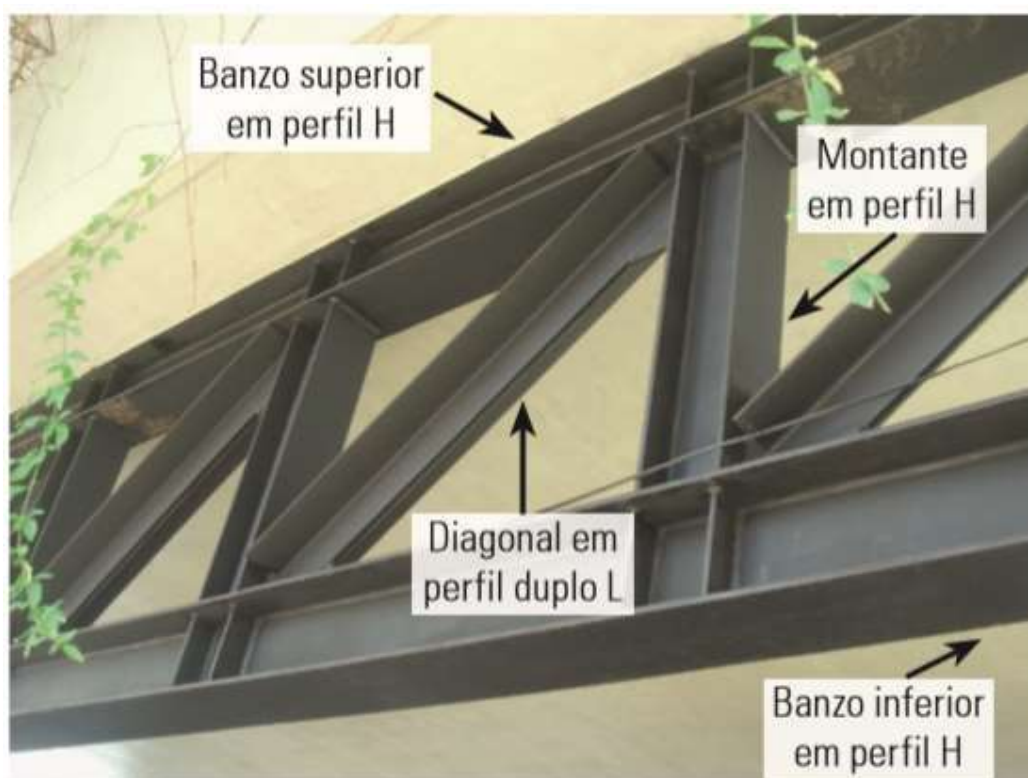


Fonte: Próprio autor, 2023.

5.3.3 Treliças

As treliças são uma das classificações das vigas, constituídas de barras coplanares (banzos, montantes e diagonais) articuladas entre si e que são submetidas a carregamentos nodais (DIAS, 1997).

Figura 13 – Fotografia de um tipo de treliça e descrição dos seus componentes

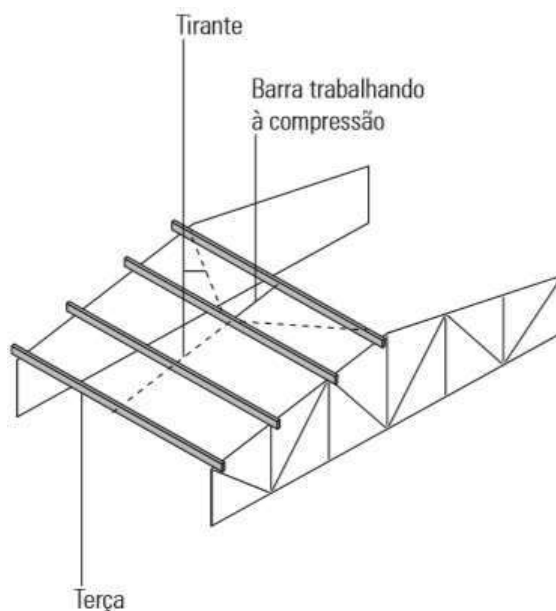


Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

5.3.4 Terças

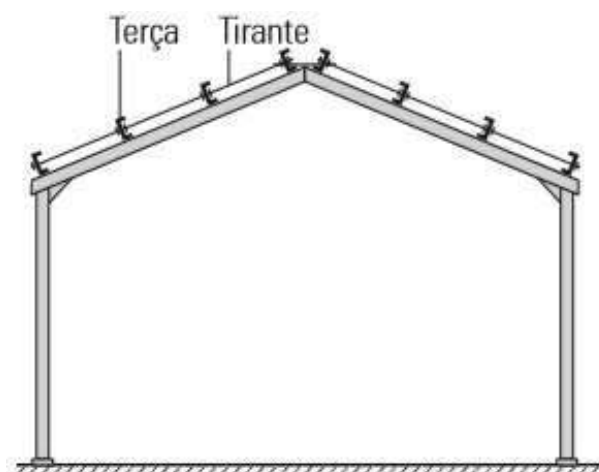
Assim como as treliças, as terças também são um tipo de viga que são dispostas longitudinalmente nos planos do telhado, transferindo as cargas atuantes (como peso do telhamento e ações do vento) para a estrutura principal (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 14 – Demonstração de um vão entre treliças e seus componentes (terças, tirantes e barras comprimidas)



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

Figura 15 – Demonstração em corte de terças e tirantes

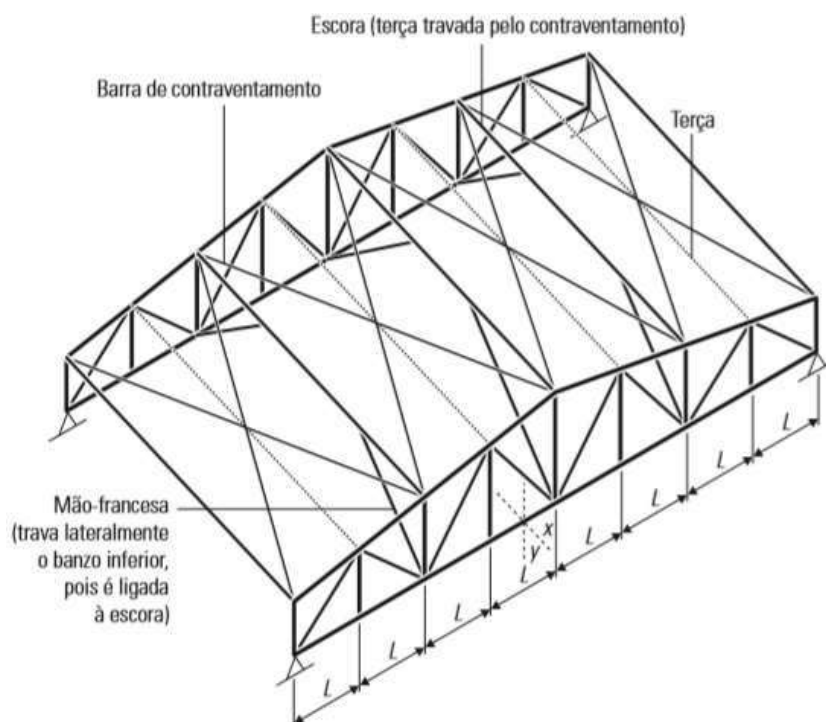


Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

5.3.5 Mãos Francesas

São responsáveis por auxiliar no aumentando da capacidade das terças de vencer o vão, pois elas diminuem o seu comprimento de flambagem no eixo “x”, promovendo, também, o travamento dos banzos inferiores na flambagem lateral por torção (BELLEI, 1998).

Figura 16 – Demonstração de terças, tirantes



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

Figura 17 – Fotografia de uma cobertura que ilustra a utilização da mão-francesa



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

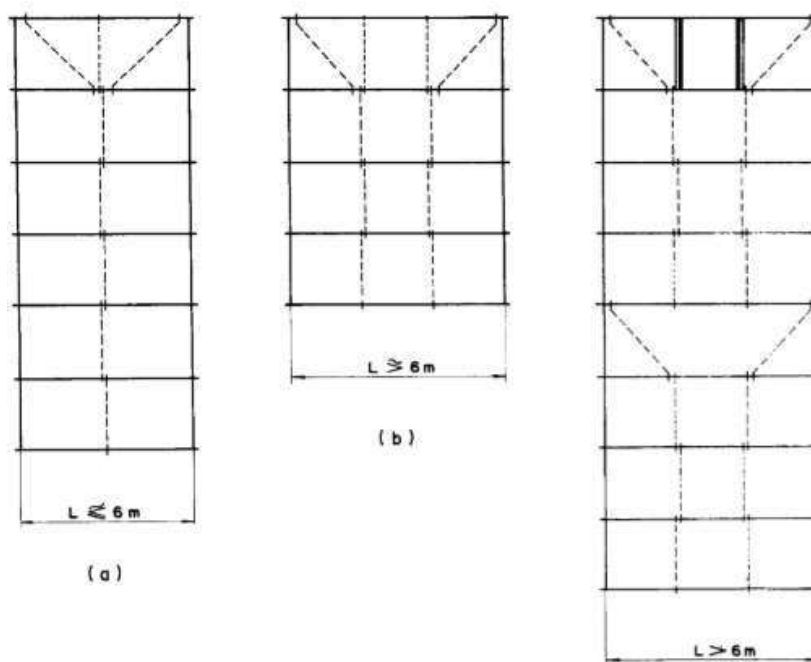
5.3.6 Tirantes e linhas de correntes

São elementos, aplicados entre os apoios das terças, submetidos à esforços de tração, responsáveis pela diminuição dos vãos e dos comprimentos de flambagem em torno do eixo

“y” das terças. Recomenda-se uma linha de correntes para vãos de até seis metros e duas linhas de correntes para vãos acima de seis metros (BELLEI, 1998).

As correntes rígidas são compostas por barras redondas e/ou cantoneiras, já os tirantes são compostos por barras redondas e/ou cabos de aço (SCHMITT, 2022).

Figura 18 – Esquema de aplicação dos tirantes e linhas de corrente em coberturas



Fonte: BELLEI, 1998.

5.3.7 Elementos de contraventamento

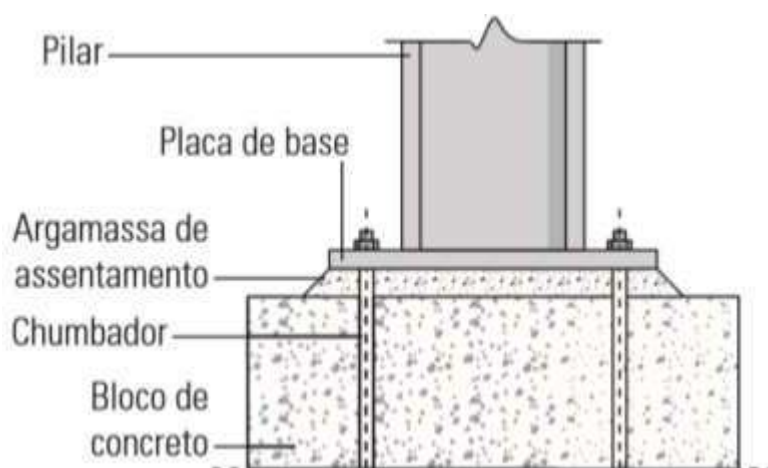
De acordo com Pfeil e Pfeil (2009) os contraventamentos são barras associadas dispostas geralmente em “X” designadas a fornecerem estabilidade espacial às estruturas, além de travarem a estrutura, diminuindo assim o comprimento de flambagem dos elementos travados, sendo também designadas à distribuição das ações das cargas de vento e resistindo aos esforços horizontais. Existem dois tipos de contraventamentos: os horizontais, ou seja, em planos de coberturas (com a função, por exemplo, de garantir a estabilidade lateral do banzo superior da treliça, reduzindo assim seus comprimentos de flambagem) e também os verticais, empregados em vigas e pilares (oferecendo, por exemplo, rigidez na direção longitudinal ao conjunto e absorvendo as cargas de vento atuantes nas fachadas transversais, transferindo-as às fundações).

5.3.8 Bases de pilares

As bases de pilares são os apoios das estruturas, sendo responsáveis pela união entre pilares e elementos de fundação e são constituídas pelas placas de base, conhecidas também como chapas base, e pelos chumbadores. Elas possuem duas classificações, sendo elas, as bases rotuladas e as bases engastadas, que se referem ao modo de vinculação entre a estrutura e a fundação. As placas de base são chapas metálicas unidas às extremidades dos pilares através de solda, sendo conectadas aos elementos de fundação através dos chumbadores. Já os chumbadores são barras que têm a função de fixar a estrutura verticalmente (e às vezes horizontalmente), através das chapas base dos pilares, ao elemento de fundação (BELLEI, 2008; FAKURY, 2016).

Na figura abaixo está a representação de um tipo de base de pilar e seus elementos.

Figura 19 – Demonstração de base de pilar



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016.

5.4 Ligações

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2020) a terminologia ligação é utilizada para unir os elementos estruturais, como vigas, pilares e fundações.

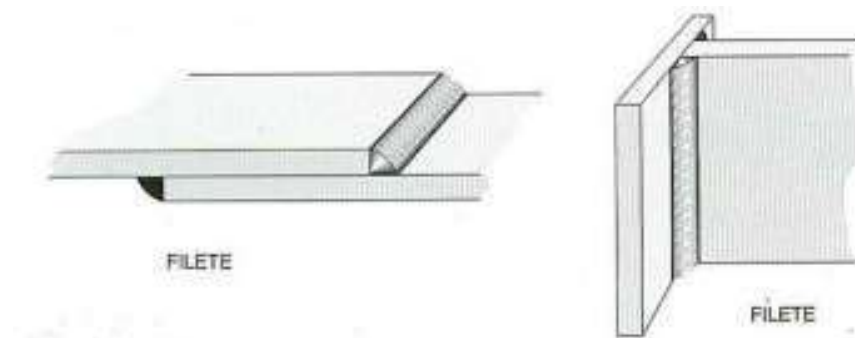
Antigamente os rebites eram utilizados como os principais meios de ligação entre as peças das estruturas. Com o avanço tecnológico, estes foram substituídos pelas ligações parafusadas e/ou soldadas, mais seguras, pois pode-se obter um cálculo preciso da resistência dessas ligações, diferente das ligações rebitadas (PFEIL e PFEIL, 2009).

5.4.1 Ligações soldadas

Segundo PFEIL (2009), a solda é um tipo de união por coalescência do material, ou seja, a junção por fusão das partes separadas deste, sendo a solda por energia elétrica a de uso mais comum na indústria da construção, mas existem também as soldas advindas das energias química, óptica e mecânica. Na execução da solda, os materiais necessitam ser isolados da atmosfera a fim de evitar a formação de impurezas nesta fusão. Devido a essa exigência, existem no mercado algumas técnicas de soldagem próprias para este fim, as mais comuns são o processo manual com eletrodo revestido (SMAW), o processo a arco submerso (SAW), o processo MIG, MAG, TIG ou soldagem em atmosfera gasosa (GMAW), o processo arame tubular (FCAW) e o processo de soldagem eletro-escória (BELLEI, 2008).

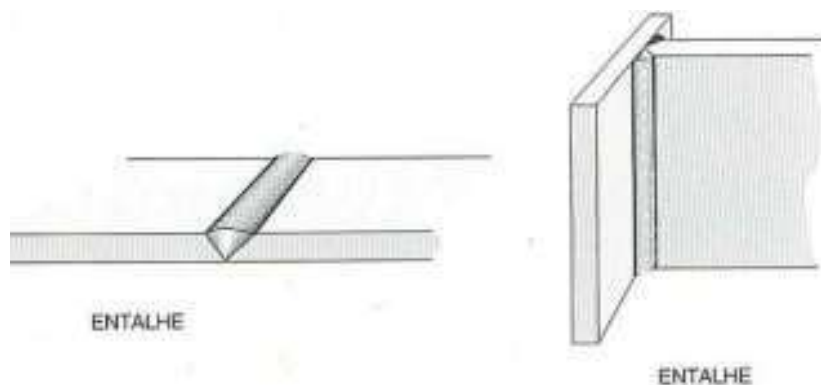
Os tipos de solda mais comuns, conforme Dias (1997), são a solda de filete (ficando externa aos elementos a serem conectados) e a solda de entalhe (empregada entre os elementos).

Figura 20 – Representação gráfica da solda de filete



Fonte: DIAS, 1997.

Figura 21 – Representação gráfica da solda de entalhe

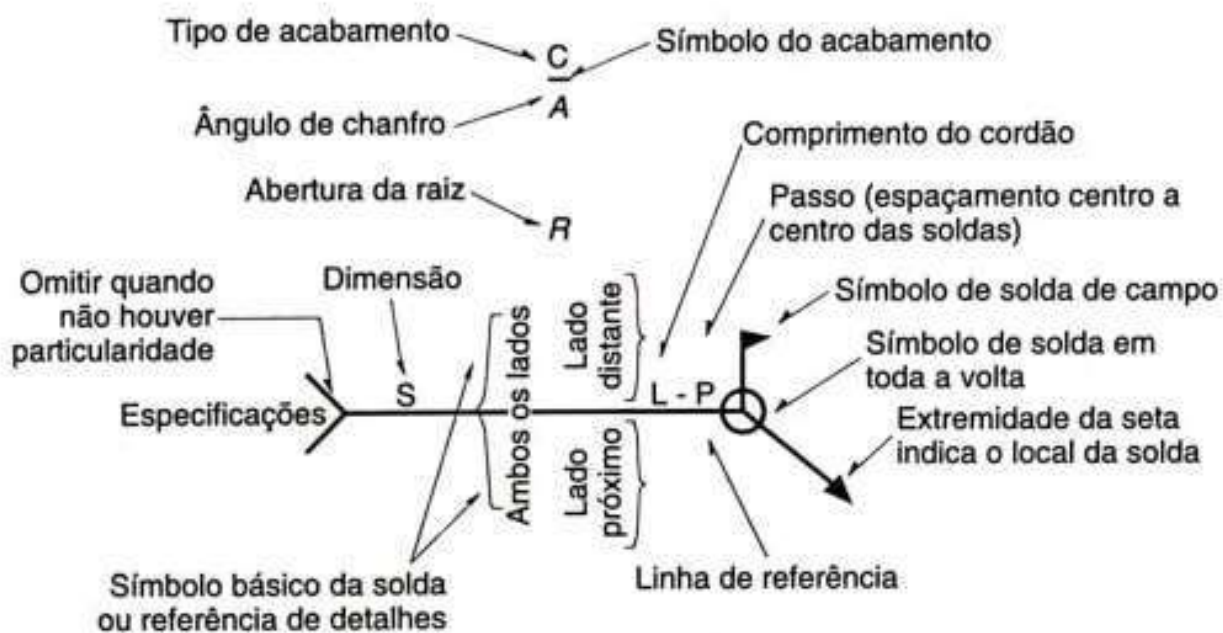


Fonte: DIAS, 1997.

Figura 22 – Simbologia das soldas

Simbologia de Solda							
Contra-solda	Filete	Tampão	Entalhe				
			Sem chanfro	V	Bisel	U	J

Chapa de espera	Solda em toda a volta	Solda de campo	Acabamento	
			Plano	Convexo



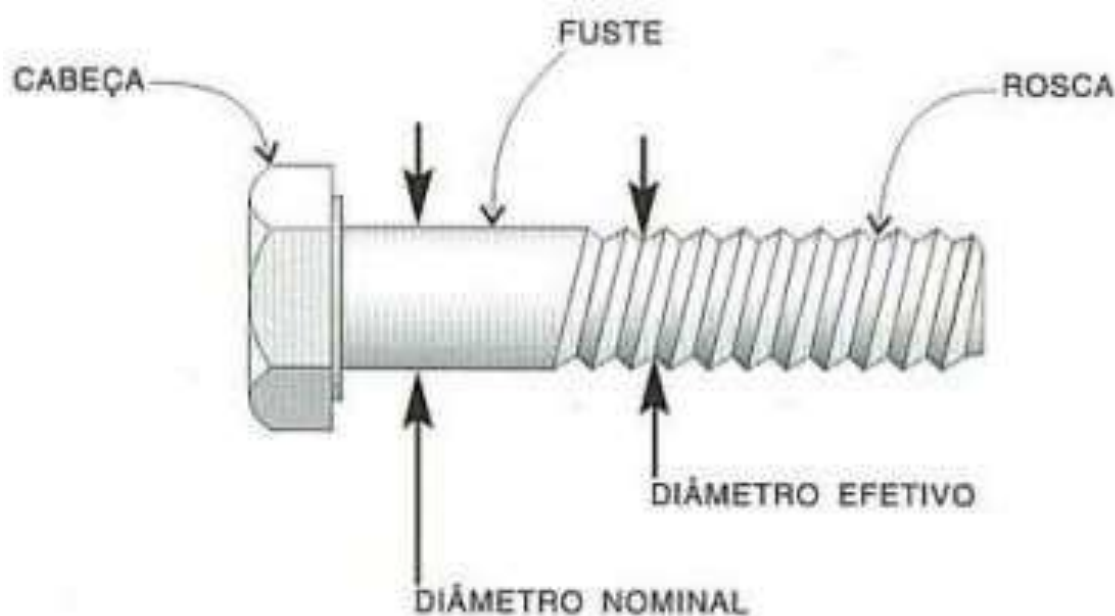
Fonte: PFEIL e PFEIL, 2000.

5.4.2 Ligações parafusadas

Os parafusos são constituídos por três partes: a cabeça, o fuste e a rosca. Embora sejam identificados através do seu diâmetro nominal, a sua resistência é calculada pelo diâmetro efetivo, correspondente ao valor aproximado de 75% do diâmetro nominal (DIAS, 1997).

Há dois tipos de parafusos no mercado utilizados para essa finalidade. São os parafusos comuns e os parafusos de alta resistência. Os parafusos comuns (ASTM A-307) possuem baixa resistência mecânica e sua aplicação é feita com chave manual, não havendo o controle de torque, devido a essas características, são utilizados somente em peças secundárias, que são pouco solicitadas, como terças, corrimãos e guarda-corpos. Já os parafusos de alta resistência (ASTM A-325), como o próprio nome sugere, são utilizados em ligações importantes. É exigido o controle de torque (através de ferramentas como o torquímetro) sendo permitida a consideração de atrito entre as chapas, o que proporciona maior rigidez à ligação (DIAS, 1997).

Figura 23 – Representação gráfica de um parafuso

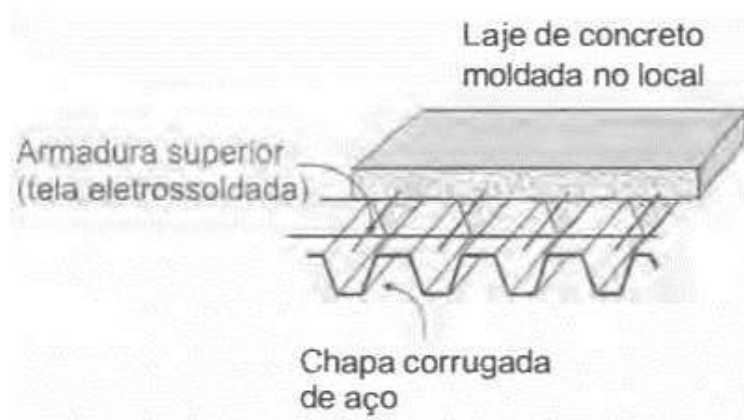


Fonte: DIAS, 1997.

5.5 Steel deck

O *steel deck* é composto por chapas de aço galvanizado utilizadas como forma para lajes no momento da concretagem que, após a cura do concreto, assumem a função de armação positiva das lajes, combatendo os esforços de tração. As chapas que formam esse *deck*, possuem dobras e cavidades que possibilitam o aço e o concreto trabalharem juntos, minimizando os riscos de destacamento. Para fazer a integração entre o concreto e o aço, são utilizados pinos conectores de cisalhamento, conhecidos como *stud bolt*. O *steel deck*, o concreto e o *stud bolt* formam esse tipo de laje mista (DIAS, 1997).

Figura 24 – Representação de laje *steel deck*



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

5.6 Vedação lateral com painéis metálicos

Esse tipo de vedação se enquadra nas chamadas “fachadas leves”. As chapas de aço recebem um tratamento de proteção com PVC ou pintura com fluorpolímero. Existem dois tipos de vedações mais comuns, os painéis perfilados e os painéis compósitos. Os painéis perfilados, como o próprio nome sugere, são constituídos de chapas perfiladas montadas em perfis metálicos que recebem um acabamento interno. No caso dos painéis compósitos, ou sanduíches, a composição se dá através de duas chapas unidas por um material, geralmente, termoacústico, como o poliestireno (isopor) (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2003).

Hoje é comum a utilização de telhas metálicas na vedação lateral de hipermercados e galpões em geral.

5.7 Cobertura

As coberturas são estruturas localizadas no plano superior de um edifício que têm a finalidade de vedar e proteger o ambiente em que estão empregadas, isolando este de intempéries e oferecendo conforto térmico e acústico. Essa estrutura é, essencialmente, composta por treliças, terças, contraventamentos e correntes, suportando, por fim, as telhas. Os perfis utilizados nessas estruturas são, em grande parte, os perfis dobrados, como os perfis “U”, “U” enrijecido, caixa e barras.

Existem variados tipos de telhas metálicas comercializadas como as telhas sanduíches, as telhas onduladas, trapezoidais, zipadas, autoportantes e curvas, especificadas por normas regulamentadoras (ABCEM, 2009).

6 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da metodologia do trabalho, a partir do referencial teórico pesquisado, buscou-se um conjunto de projetos no sistema em estruturas metálicas convencionais para tipologias arquitetônicas residenciais, comerciais e industriais de modo a servirem de parâmetro para pesquisa de perfis e demanda de detalhes construtivos que possibilitem detalhamentos satisfatórios para o desenvolvimento do referido sistema construtivo. Os projetos objetos de estudo são oriundos das regiões centro-oeste e norte do país desenvolvidos por empresa especialista em cálculo estrutural baseada na cidade de Palmas - TO.

O método de pesquisa deste trabalho possui caráter qualitativo quanto à sua abordagem, natureza de pesquisa aplicada, objetivo descritivo e procedimento documental (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para abordar os tipos de perfis utilizados nos projetos de estruturas metálicas convencionais, de modo a satisfazer o primeiro objetivo deste trabalho, em primeiro plano, identificar cada perfil detalhando as tipologias apresentadas a fim de servir de subsídio para o segundo objetivo do trabalho que é de discutir os detalhes construtivos aplicados no sistema.

Com relação aos perfis, buscou-se definir um conjunto de tipologias a partir de publicações, referenciais normativos, assim como indicadores de mercado como, por exemplo, projetos e tipologias encontradas na cadeia de fornecedores. Assim, os perfis estudados para o presente trabalho serão os seguintes: laminados, soldados, dobrados, formados a frio e perfis tubulares.

Com relação aos detalhes construtivos, segundo objetivo específico do trabalho, notadamente, tem sido um fator relevante para maior ou menor entendimento dos atores envolvidos na construção dos edifícios do gênero estudado.

Neste contexto, a partir do conjunto de projetos avaliados, num primeiro momento definiu-se o estudo dos seguintes detalhes construtivos:

- ligações entre vigas
- pilar e viga
- chapa base e elemento de fundação

- pilar e chapa base
- elementos que compõem as treliças (banzos, diagonais e montantes)
- terço e treliça
- corrente e terço
- contraventamento e terço
- vedação lateral e pilar
- vedação lateral e treliça
- telhas e terços
- rufo e telha

A partir da descrição dos perfis e dos detalhes construtivos, tem-se como objetivo demonstrar através dos aspectos visuais, extraídos graficamente, os detalhes de cada elemento e da contextualização sobre cada um deles. Assim posto, possibilita-se a exploração máxima de ferramentas que originem um vasto conjunto de informações e disseminação de multiplicadores, formando uma estrutura em cada evento de obra, onde a quantidade e a qualidade das informações de projeto possam reduzir as dificuldades e os problemas construtivos.

A partir da metodologia foi desenvolvido o capítulo de desenvolvimento do trabalho, apresentando os aspectos acima elencados de forma a discutir com profundidade o conjunto de informações, buscando pontuar no final do trabalho as informações que poderão servir de importante subsídio para os atores da cadeia produtiva, em especial aqueles que atuam no sistema construtivo de estruturas metálicas convencionais.

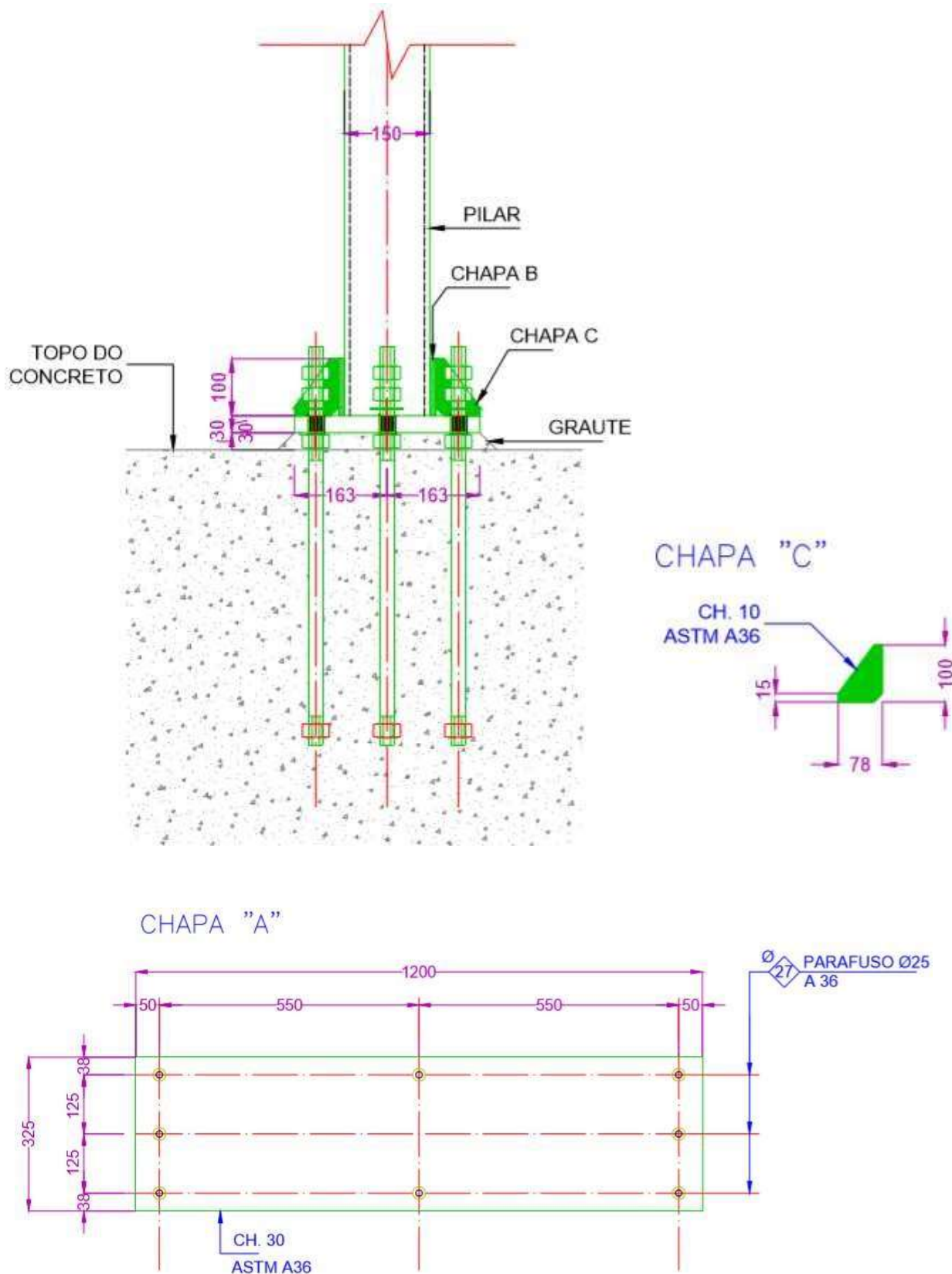
7 DESENVOLVIMENTO

Conforme foi explicitado no capítulo anterior, foram fornecidos projetos de estruturas metálicas, oriundos das regiões norte e centro-oeste do país, com autoria de engenheiro calculista baseado na cidade de Palmas, Tocantins.

Os tópicos a seguir apresentarão alguns detalhamentos presentes nestes projetos com figuras representativas através do software AutoCAD e STcadem. Esses projetos serão chamados de projetos A e B, conforme os apêndices A e B localizados no final deste trabalho.

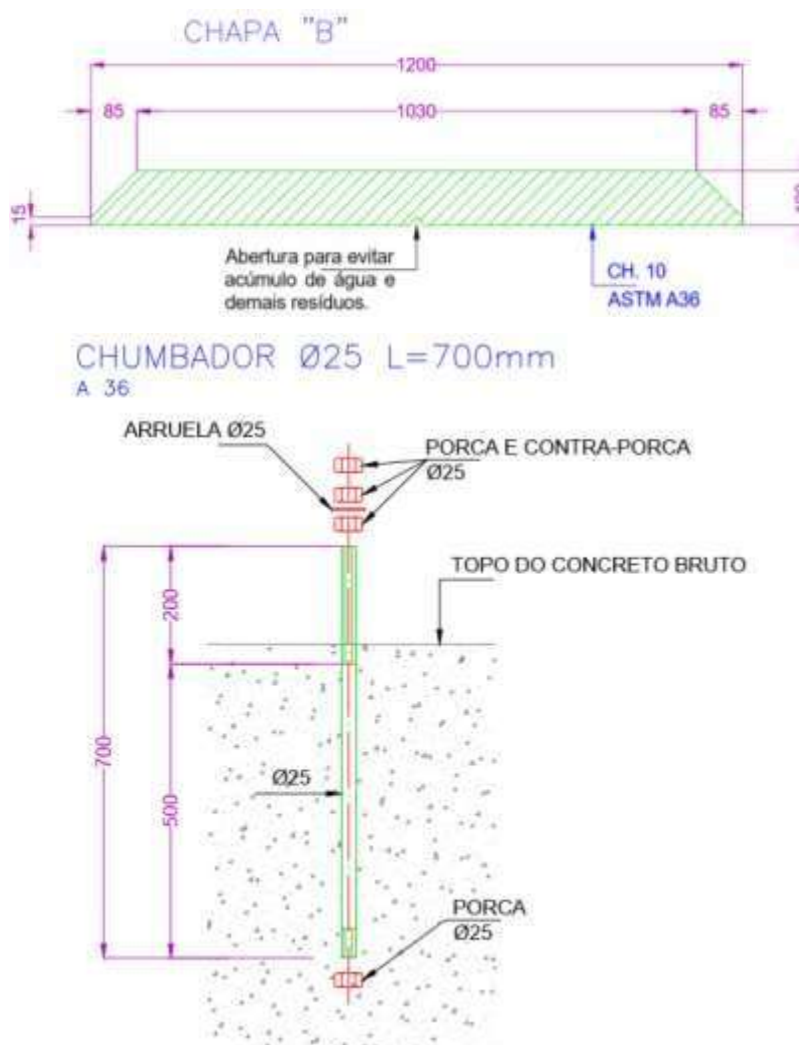
A fim de proporcionar o melhor entendimento sobre os detalhes selecionados e suas conformidades normativas, foram apresentados, através do apêndice C, trechos da norma ABNT NBR 8800:2008.

Figura 26 – Detalhe das chapas A e C e vista do lado menor da base de pilar



Fonte: Próprio autor, 2023.

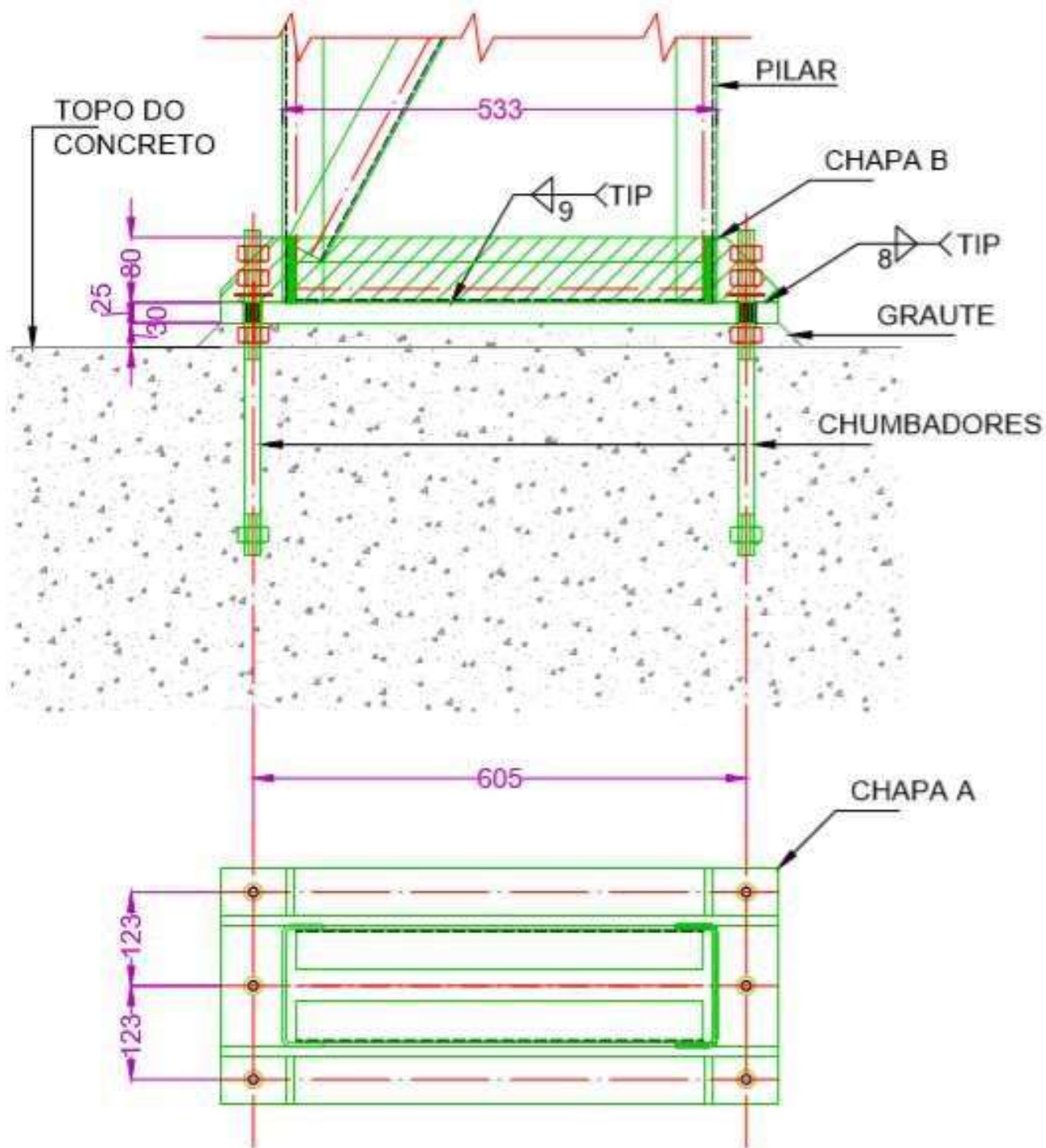
Figura 27 – Detalhe da chapa B e dos chumbadores com 25mm de diâmetro e 700mm de comprimento



Fonte: Próprio autor, 2023.

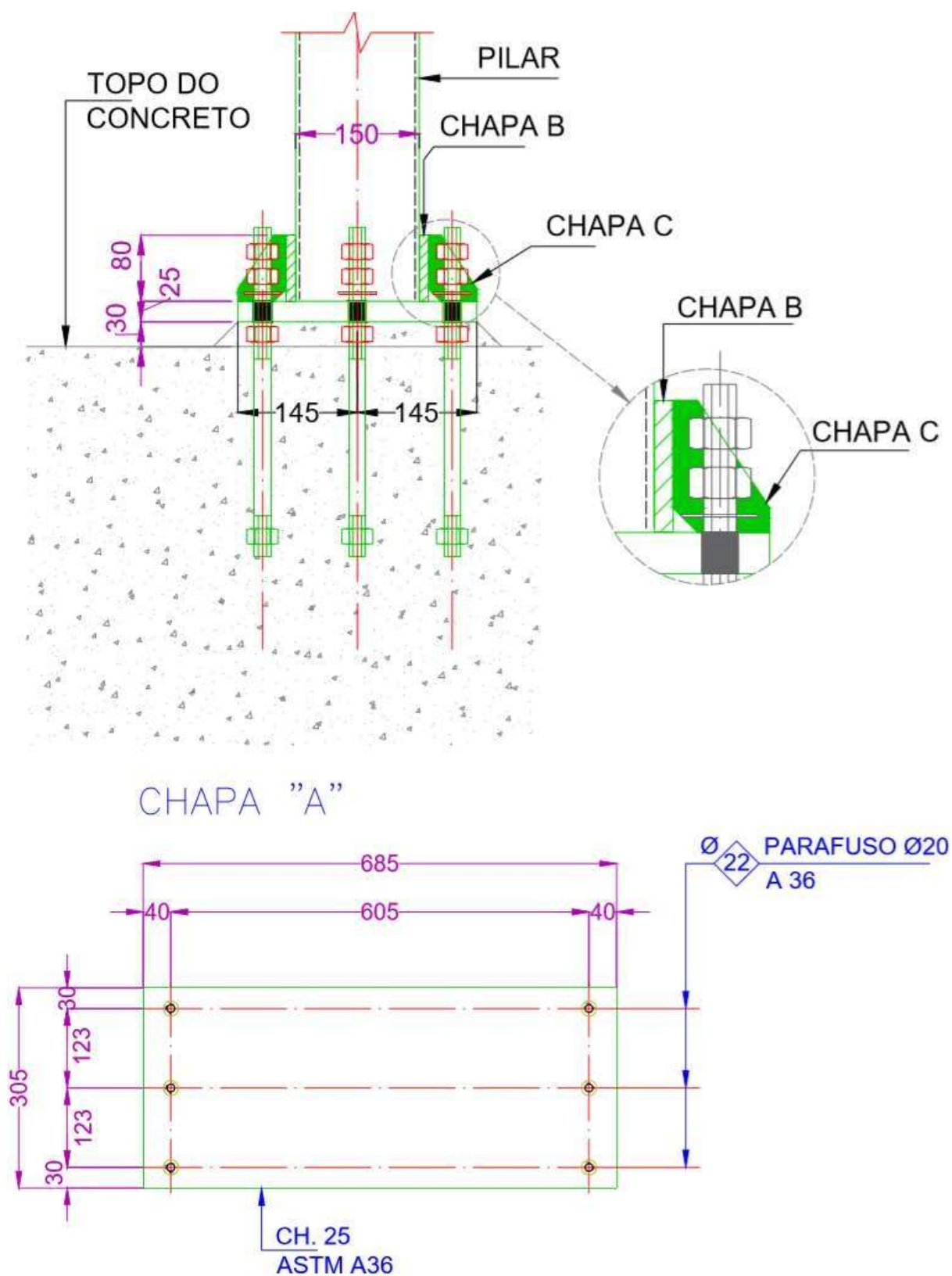
As figuras 25, 26 e 27 apresentam uma base de pilar engastada, com uma chapa base retangular de 1200mm x 325mm e 30,4mm de espessura, unida ao pilar através da solda de filete de 9mm em ambos os lados, com 8 chumbadores de 700mm de comprimento e diâmetro de 25mm. Cada um destes chumbadores possui 3 porcas e 1 contra porca de 25mm de diâmetro e arruela de 25mm de diâmetro na classificação de aço ASTM A325, sendo os demais aços utilizados pertencentes à classificação ASTM A36. A porca abaixo da chapa A tem a função de regular o nível deste elemento e o vazio exigente abaixo dessa chapa, é preenchido posteriormente com graute. É importante nessa ligação atender ao que a norma exige à respeito ao afastamento do furo para a borda da chapa e entre o furo e face do banzo do pilar treliçado conforme item 6.3.9 e 6.3.10 da ABNT NBR 8800:2008.

Figura 28 – Detalhe da chapa A e vista do lado maior da base de pilar



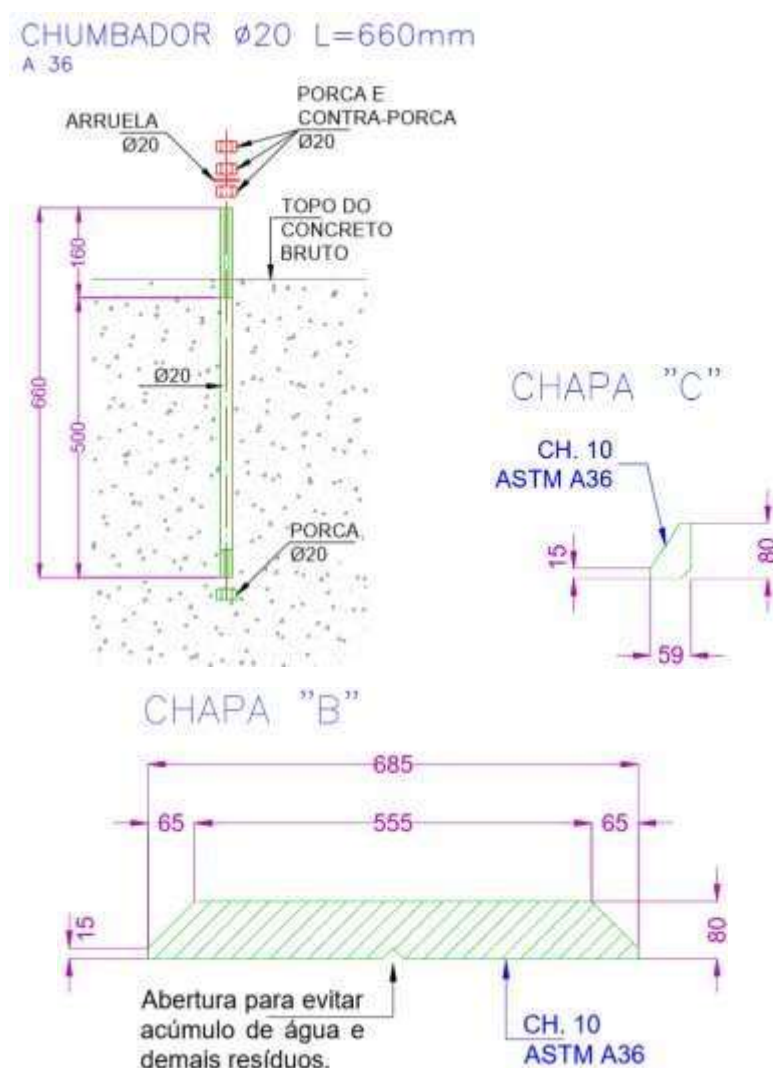
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 29 – Detalhe da chapa A e vista do lado menor da base de pilar



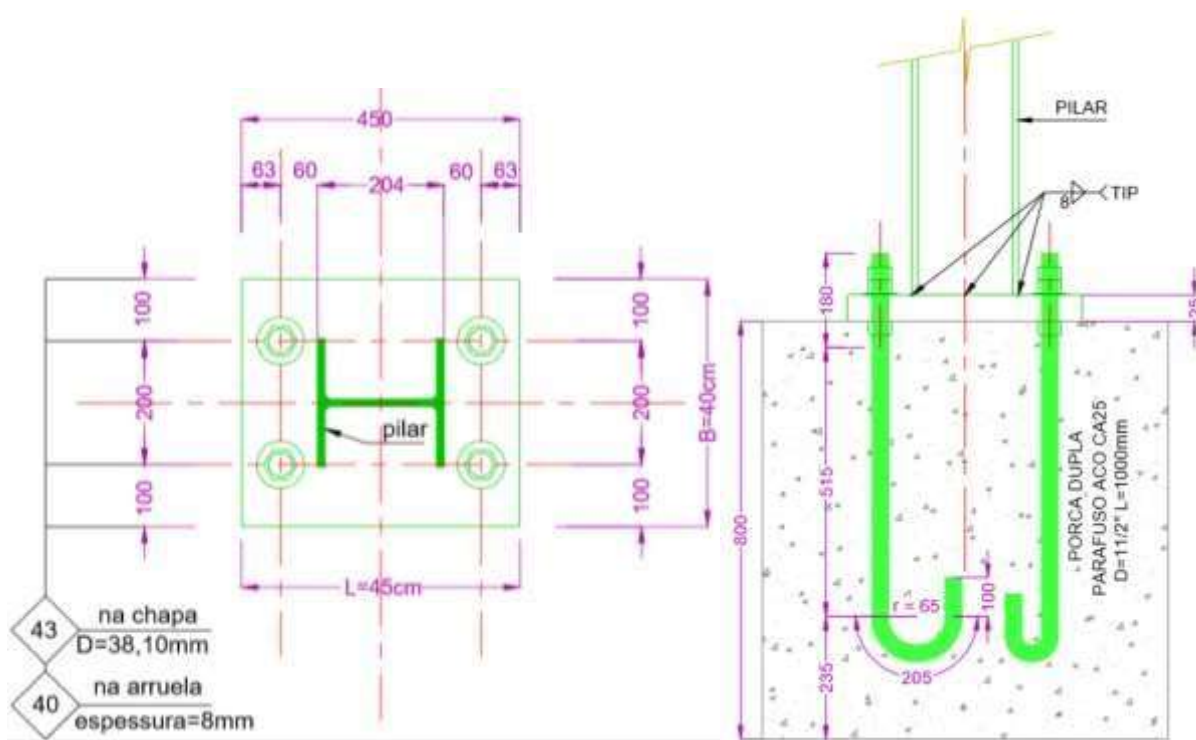
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 30 – Detalhe da chapa B e dos chumbadores com 25mm de diâmetro e 700mm de comprimento



Fonte: Próprio autor, 2023.

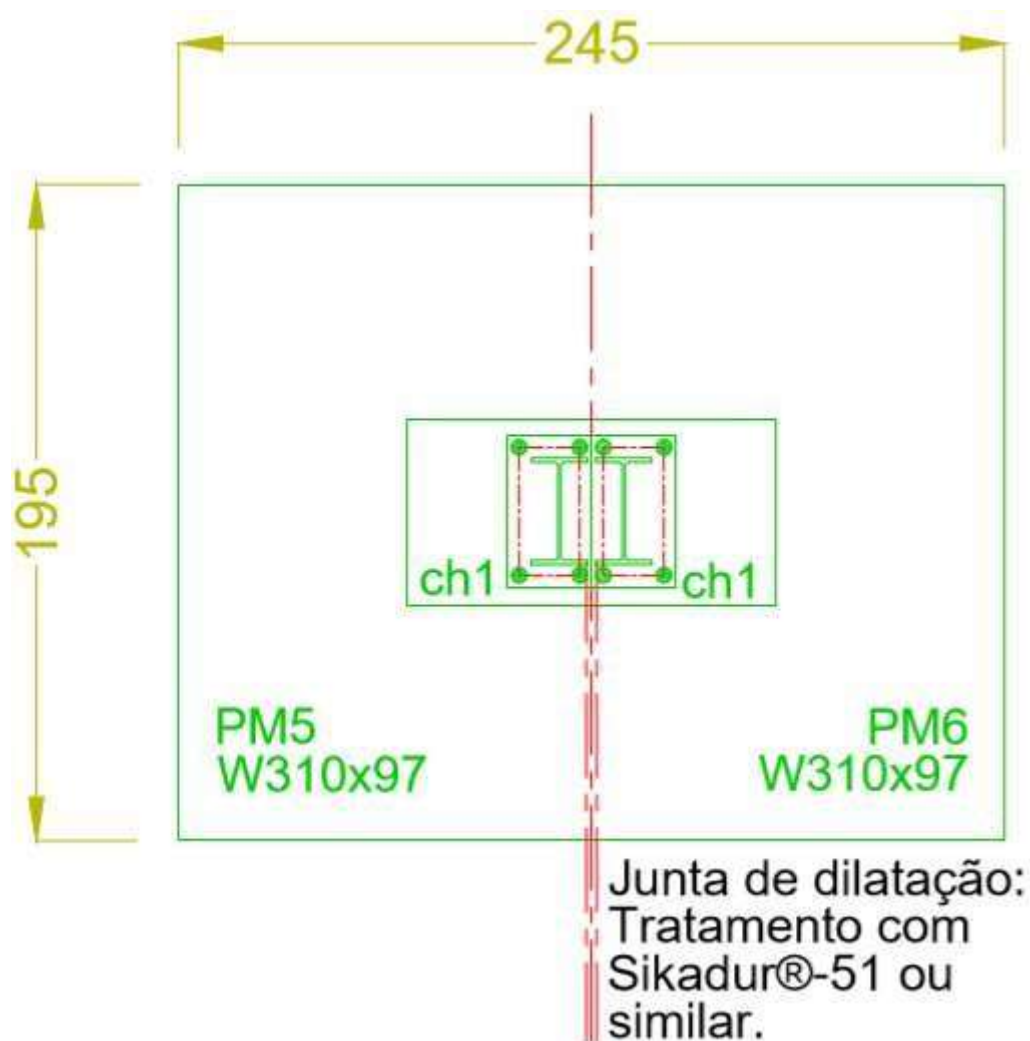
As figuras 28, 29 e 30 apresentam uma base de pilar semelhante à apresentada anteriormente, também engastada, com uma chapa base retangular de 685mm x 305mm e espessura de chapa de 30,4mm, unida ao pilar através da solda de filete de 9mm em ambos os lados, com 6 chumbadores de 660mm de comprimento e diâmetro de 20mm. Cada um destes chumbadores possui 3 porcas e 1 contra porca de 20mm de diâmetro na classificação de aço ASTM A325, sendo os demais aços pertencentes à classificação ASTM A36. O chanfro da parte inferior da chapa C existe para que esta chapa possa ser encaixada adequadamente sem interferência da solda da chapa B. No detalhe da chapa B foi indicado um furo para evitar o acúmulo de água, este furo deve ter suas arestas de dimensões mínimas de 20mm, nesse projeto existe apenas um furo, mas recomenda-se no mínimo dois furos.

Figura 31 – Detalhe de base de pilar

Fonte: Próprio autor, 2023.

A figura 31 apresenta uma base de pilar engastada, com uma chapa base retangular de 450mm x400mm e espessura de chapa de 25mm, unida ao pilar metálico de perfil laminado “W” 310x52mm através da solda de filete de 8mm em ambos os lados, com 4 chumbadores de 1000mm de comprimento e diâmetro de 38,1mm. Cada um destes chumbadores possui 3 porcas 38,1mm de diâmetro na classificação de aço CA25 e arruela com furo de 40mm, sendo os demais aços pertencentes à classificação ASTM A36. O pilar considerado nessa ligação foi dimensionado para suportar esforços verticais. Esta ligação que é considerada engastada por possuir 4 chumbadores distantes entre si, também poderia ser dimensionada para situação rotulada por não haver necessidade de resistir a esforços de momento. No caso de ligação rotulada, a chapa possui apenas um eixo passando perpendicularmente à alma do pilar com dois chumbadores.

Figura 32 – Representação de bases de pilar em caso de junta de dilatação

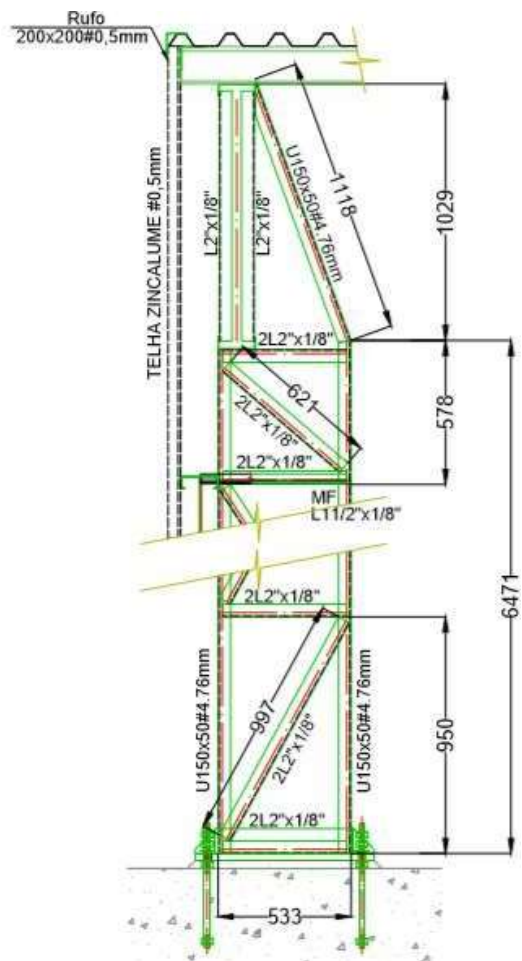


Fonte: Próprio autor, 2023.

A figura 32 faz a representação de como devem ser executadas as bases de pilares em caso de junta de dilatação na edificação. Nesses casos, as bases podem estar chumbadas no mesmo elemento de fundação, já que este não sofrerá dilatações térmicas por encontrar-se abaixo da superfície. É indicada a utilização de uma resina flexível própria para juntas de dilatação.

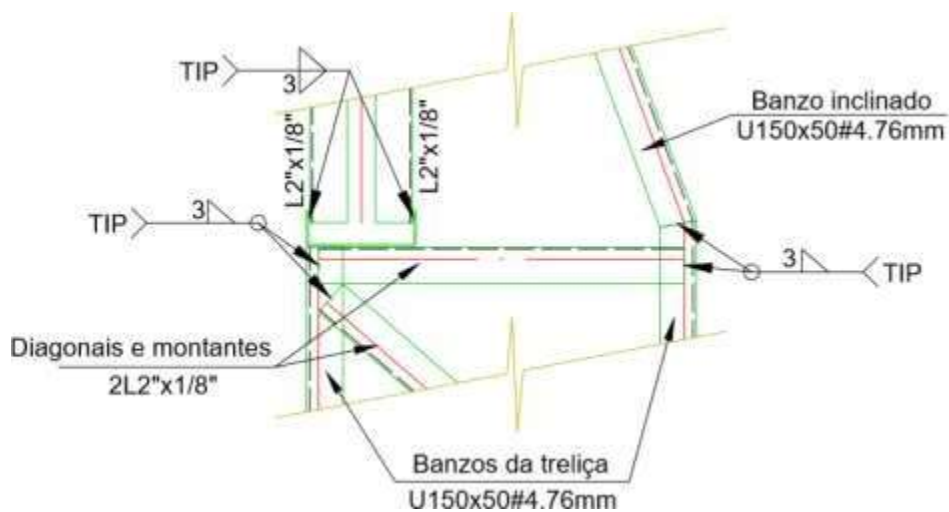
7.2 Pilares

Figura 33 – Detalhe do pilar treliçado



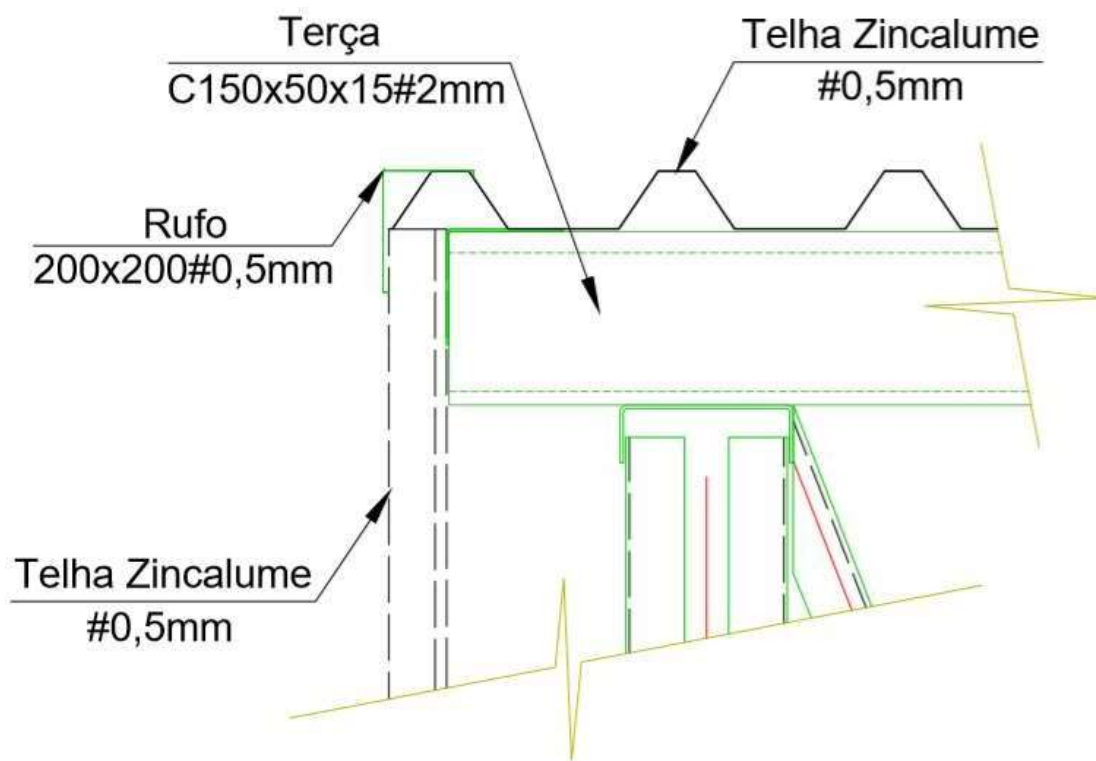
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 34 – Detalhe da ligação entre os elementos de uma treliça



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 35 – Detalhe do encontro das telhas e do rufo

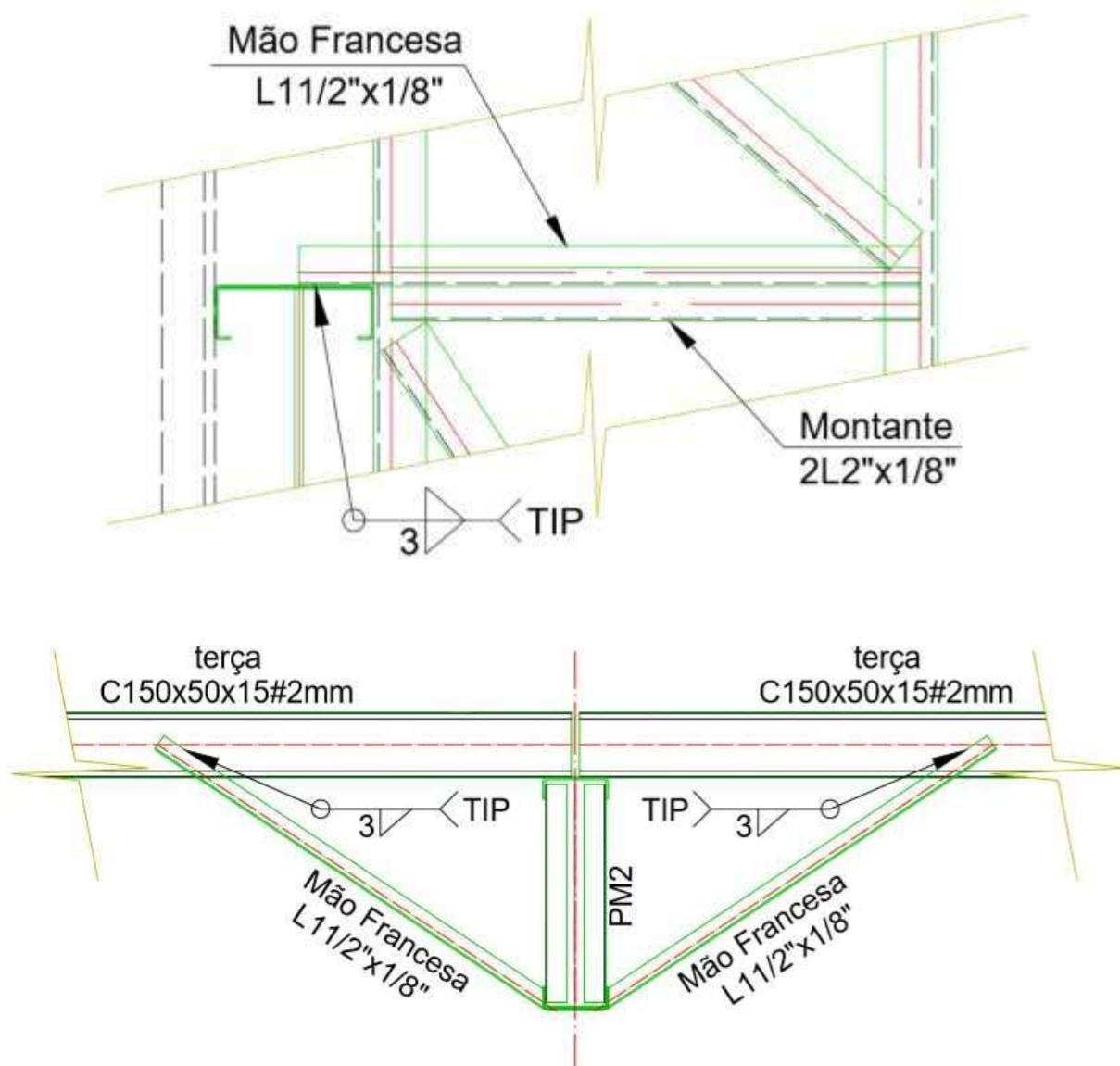


Fonte: Próprio autor, 2023.

No projeto A, os pilares são do tipo treliçados, utilizando perfis formados à frio, como o perfil “U” em chapa dobrada com dimensão de 150x50mm e espessura de chapa de 4,76mm, sendo este perfil utilizado nos banzos do pilar treliçado, e os montantes e as diagonais foram feitos a partir de dois perfis “L” (cantoneira laminada) para cada elemento, com largura da aba sendo de 50,8mm e espessura da aba de 3,175mm (2”x1/8”). Existe o travamento terça – banzo interno do pilar através de mãos francesas cujo perfil utilizado é a cantoneira laminada “L” com largura de aba de 38,1mm e espessura desta de 3,175mm (1 ½” x 1/8”). As ligações foram feitas através da solda de filete de 3mm. Esses pilares foram fixados às bases de pilares através de solda especificada no item “base de pilares”.

A figura 35 representa o detalhe da disposição do rufo na telha zincoalumínio, dessa maneira evita-se a entrada de água neste elemento. A fixação das telhas de zincoalumínio é feita com um parafuso brocante de 4,2x19mm com arruela de vedação, este mesmo parafuso pode ser utilizado na fixação dos rufos.

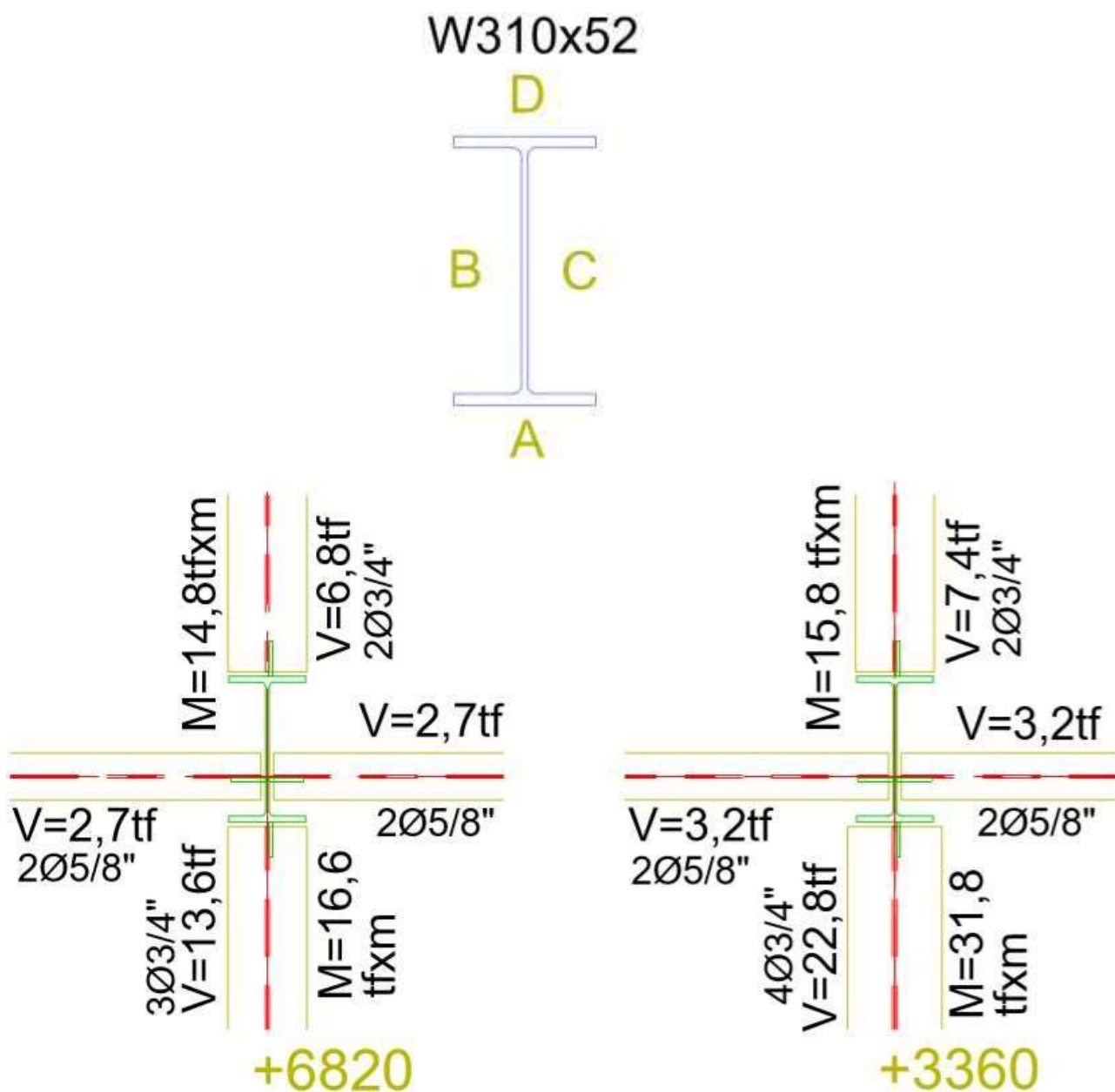
Figura 36 – Detalhe da ligação entre as mãos francesas e as terças



Fonte: Próprio autor, 2023.

No projeto A as mãos francesas foram utilizadas para o travamento dos pilares e das terças. Utilizou-se o perfil “L” (cantoneira laminada) de com largura da aba sendo de 38,1mm e espessura da aba de 3,175mm (1 ½”x1/8”). Foi utilizada a solda de filete de 3mm em todo o contorno do contato entre as peças, sendo a mão francesa soldada na parte superior da terça que se encontra fixada com a boca para baixo.

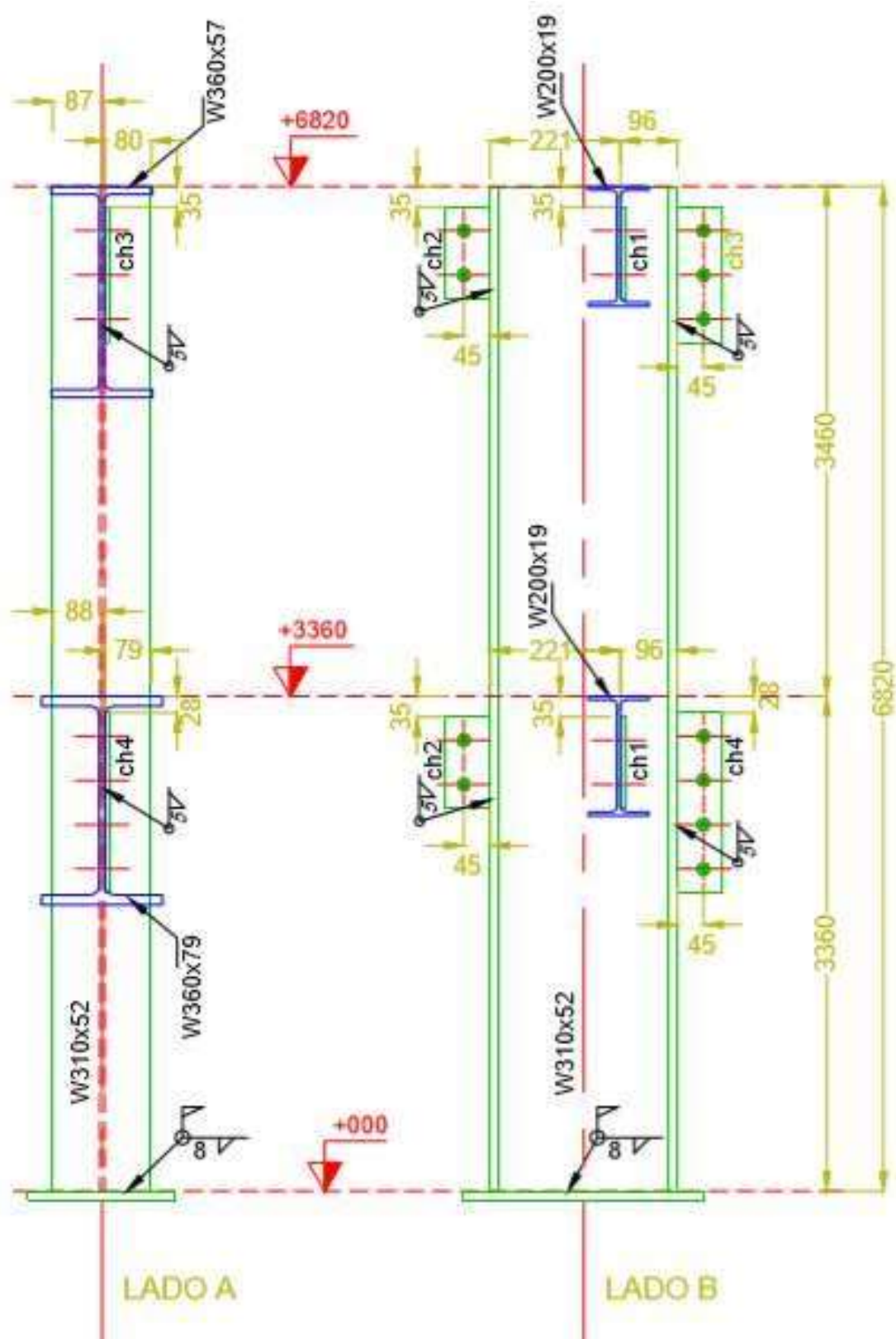
Figura 37 – Indicação das vistas do pilar e indicação dos esforços em planta



Fonte: Próprio autor, 2023.

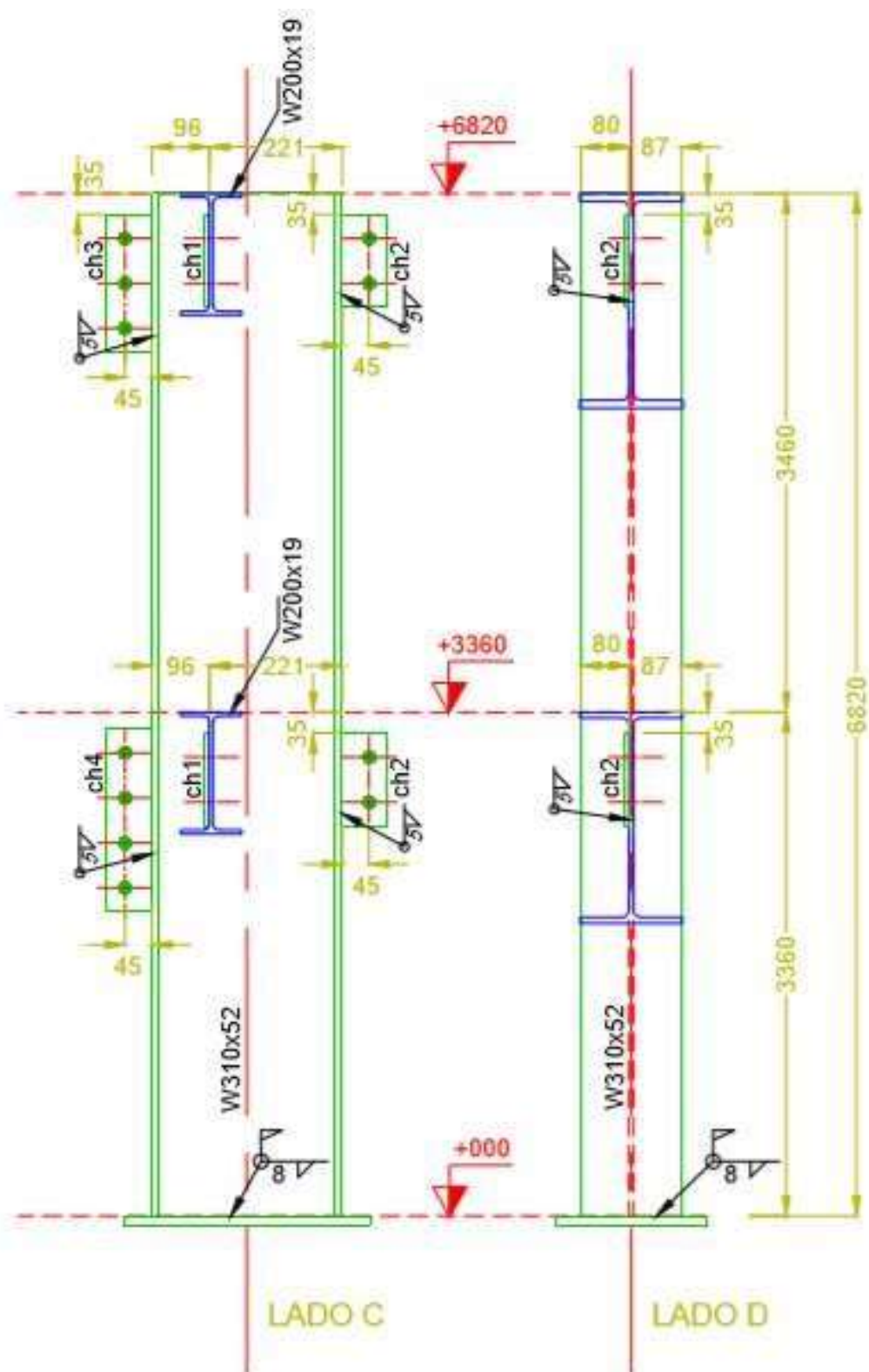
No projeto B foram indicados no detalhamento os esforços atuantes nos elementos estruturais. Este detalhamento trata-se de um pilar em perfil laminado “W” 310x52. Nas figuras a seguir, será representado cada um de seus lados, com as especificações necessárias para a sua execução. As chapas ch1, ch2, ch3 e ch4 são utilizadas como meio para a ligação parafusada entre pilar e vigas, sendo elas ligadas ao pilar através da solda de filete de 5mm.

Figura 38 – Detalhe da ligação entre pilar e viga



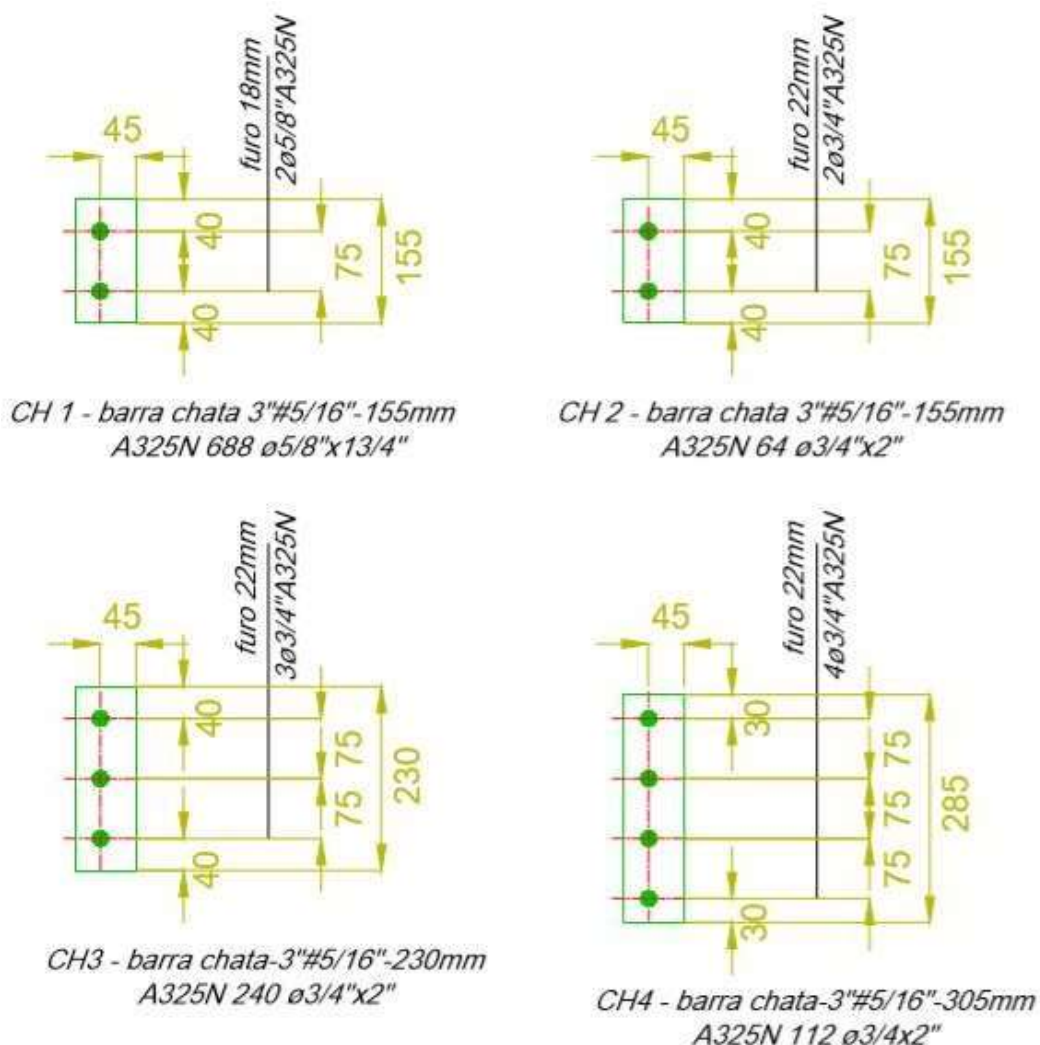
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 39 – Detalhe da ligação entre pilar e viga



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 40 – Detalhe das chapas de ligação 1, 2, 3 e 4 entre pilar e viga



Fonte: Próprio autor, 2023.

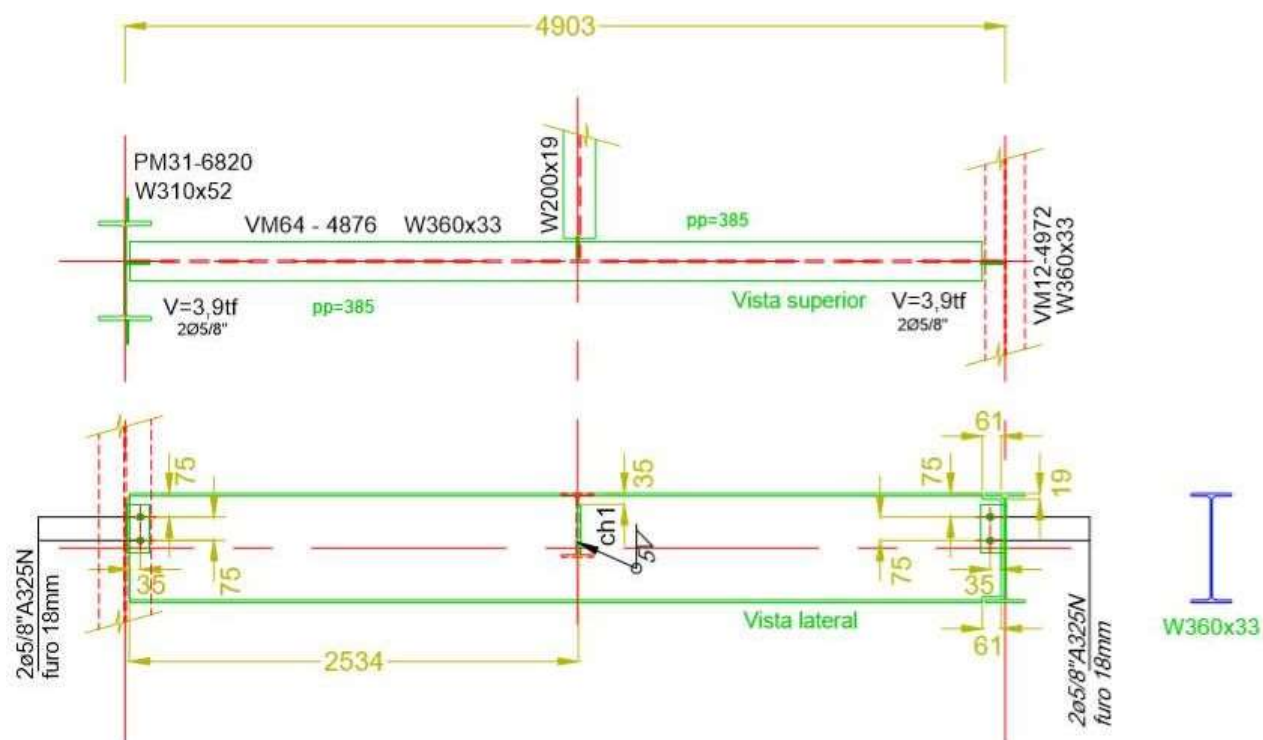
A figura 40 ilustra os quatro tipos de chapas de ligação utilizadas no projeto B.

Esse tipo de ligação é do tipo single plate, neste caso as vigas são consideradas apoiadas, não transferindo momento para o pilar ou para as vigas de apoio. Para melhorar o efeito de rótula e facilitar a montagem existe uma distância de 10mm entre a viga e o pilar. É importante respeitar o que a norma prescreve de acordo com o apêndice C sobre o afastamento do furo para a borda da chapa e entre os furos. Outra preocupação é o dimensionamento da solda que liga a chapa ao pilar para que esta resista ao esforço cortante atuante.

Essas chapas são soldadas nos pilares e nas vigas que recebem outras vigas através da solda de filete executada em uma lateral das chapas. Essa solda foi calculada considerando o esforço cortante máximo para dois, três e quatro furos, levando-se em conta que a sua resistência sempre terá que ser maior que a resistência dos parafusos.

7.3 Vigas

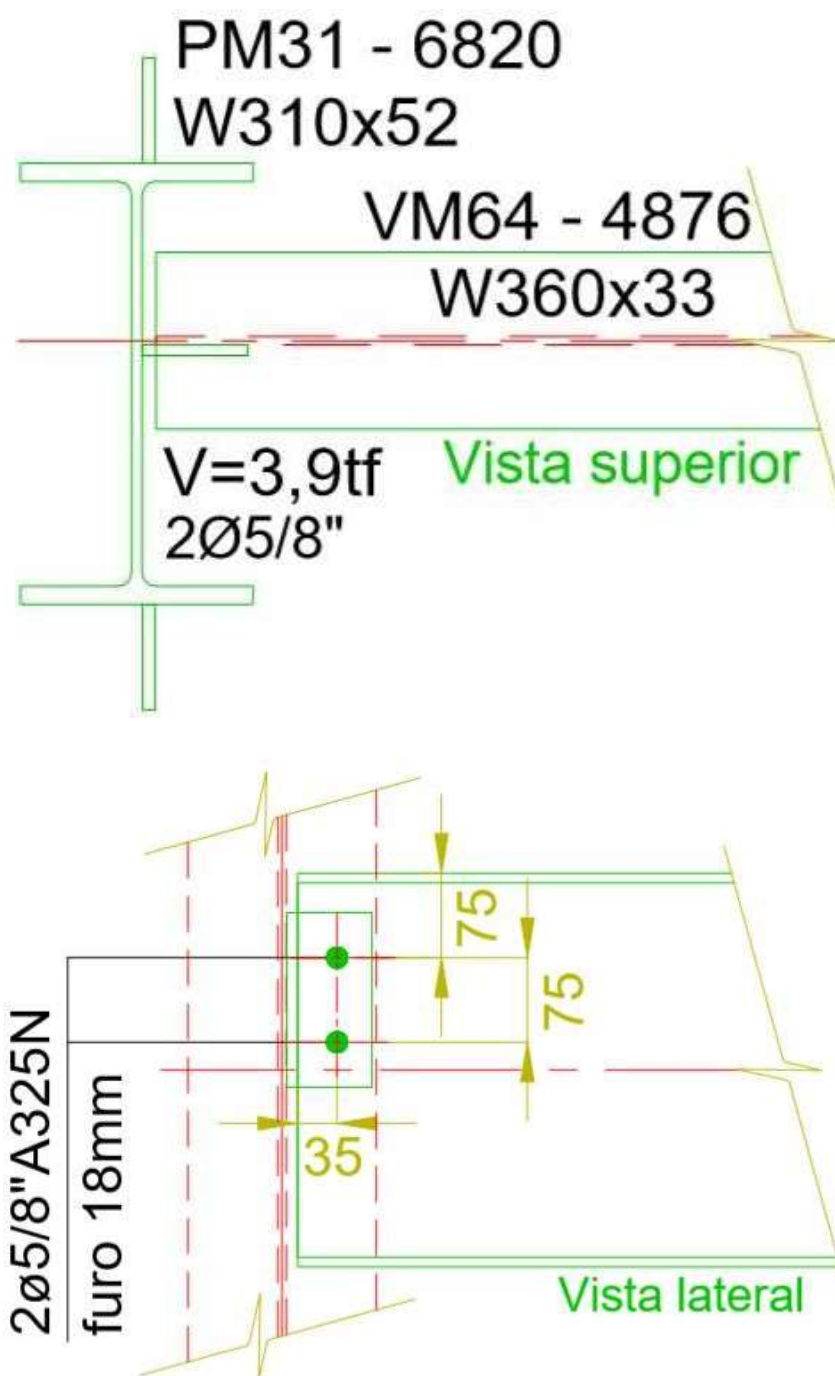
Figura 41 – Detalhe da ligação entre pilar e viga e entre viga e viga



Fonte: Próprio autor, 2023.

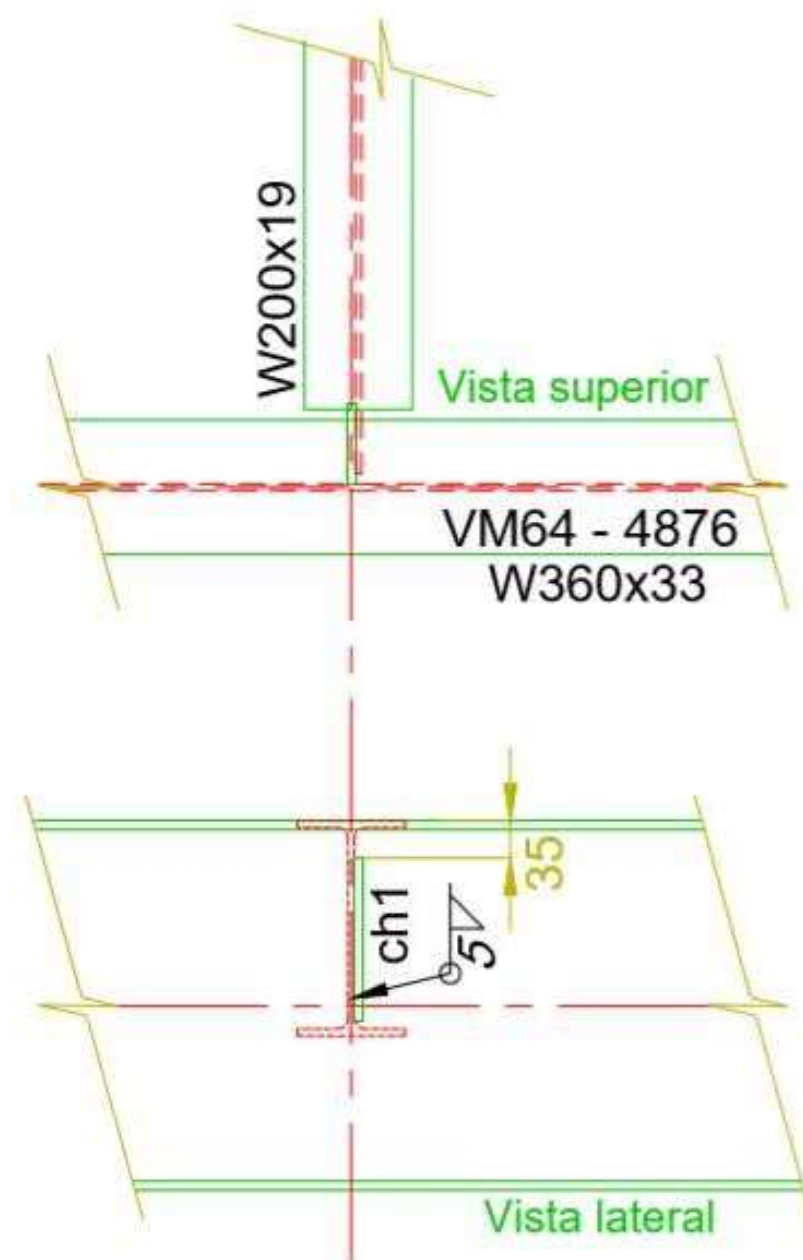
No projeto B, foram utilizados vigas de perfil laminado, sendo representado na figura 41 a viga “W” 360x33.

Figura 42 – Detalhe da ligação entre pilar e viga



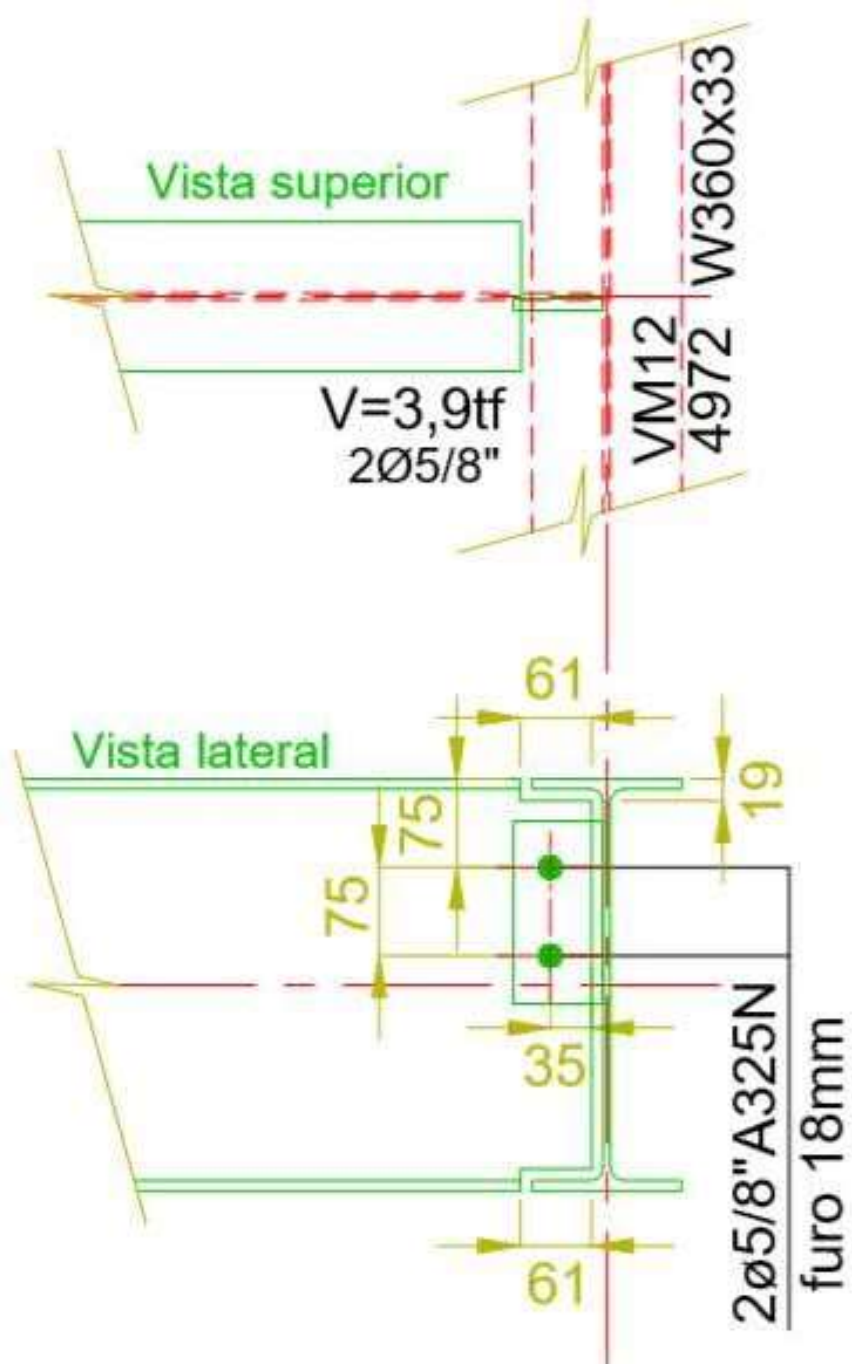
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 43 – Detalhe da ligação entre viga e viga



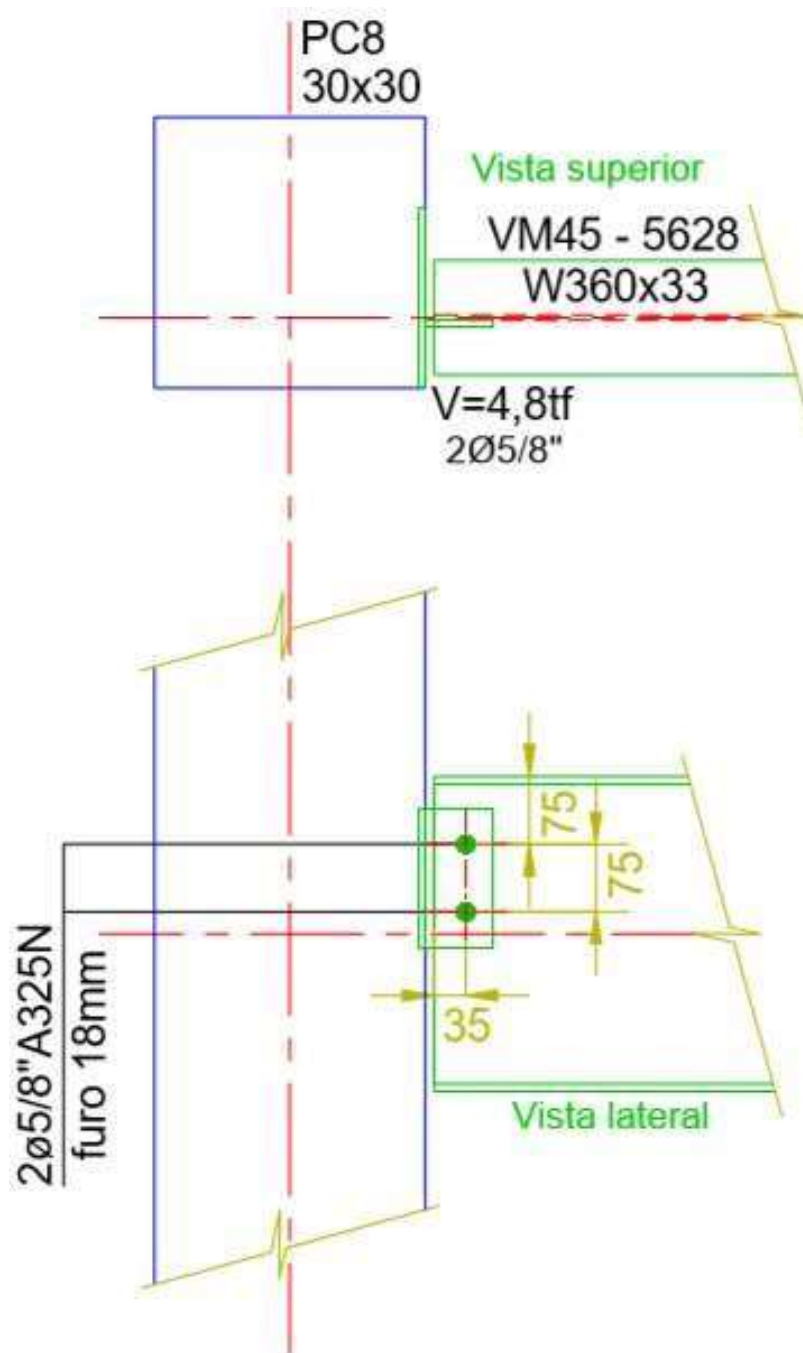
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 44 – Detalhe da ligação entre viga e viga



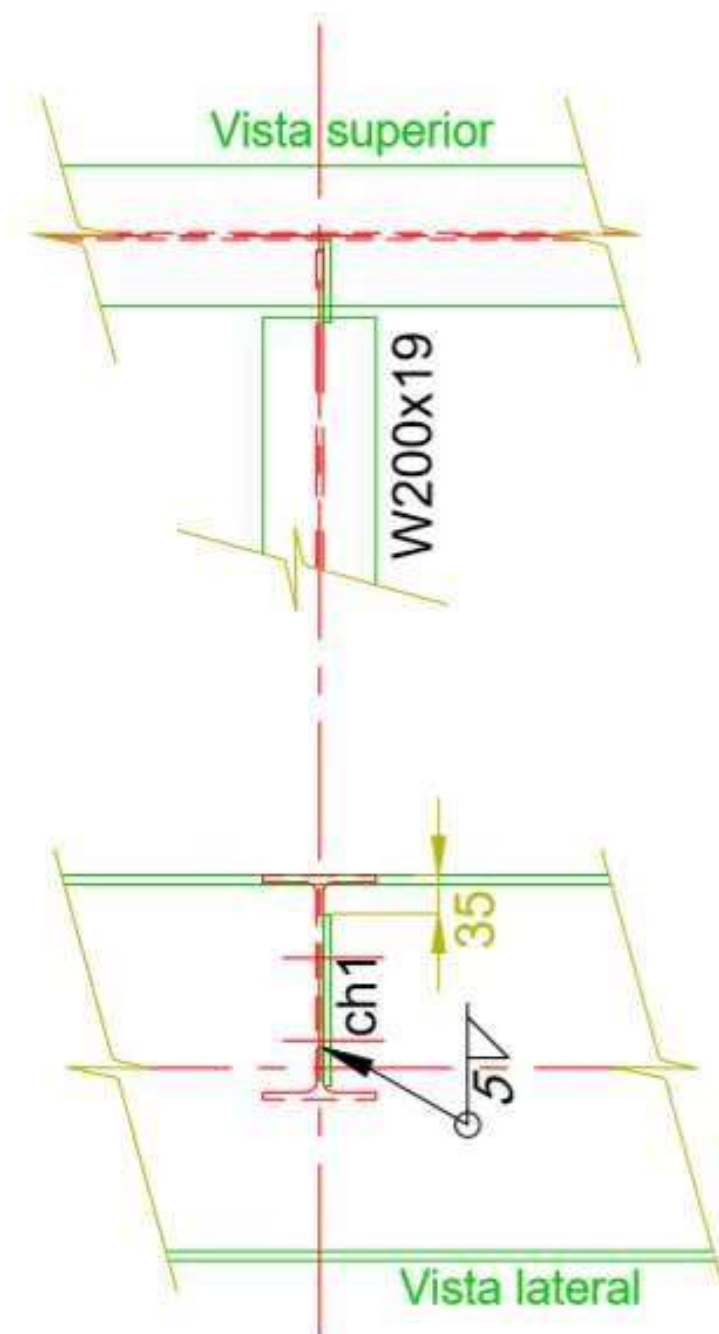
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 45 – Detalhe da ligação entre pilar de concreto e viga laminada



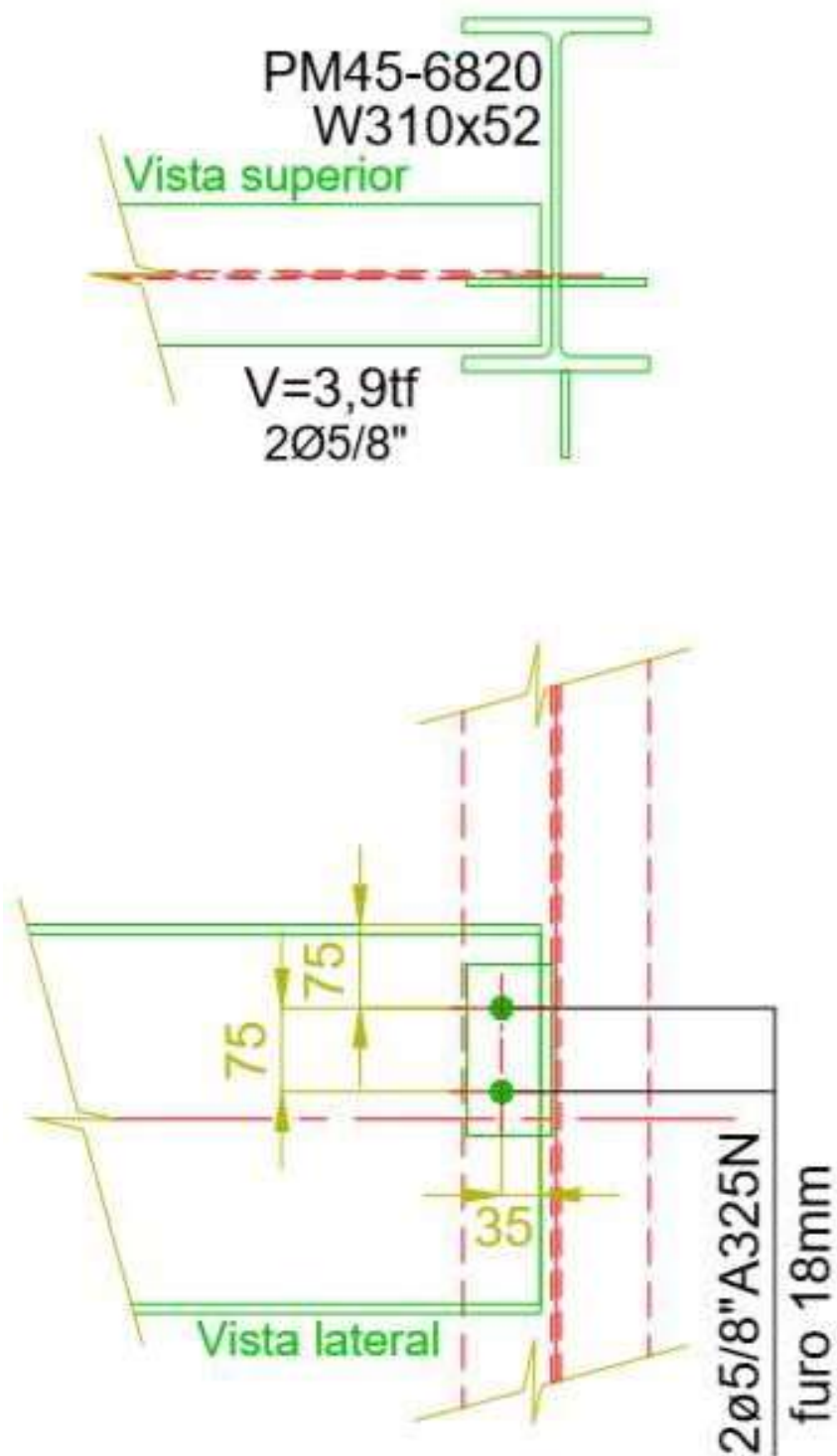
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 46 – Detalhe da ligação entre viga e viga



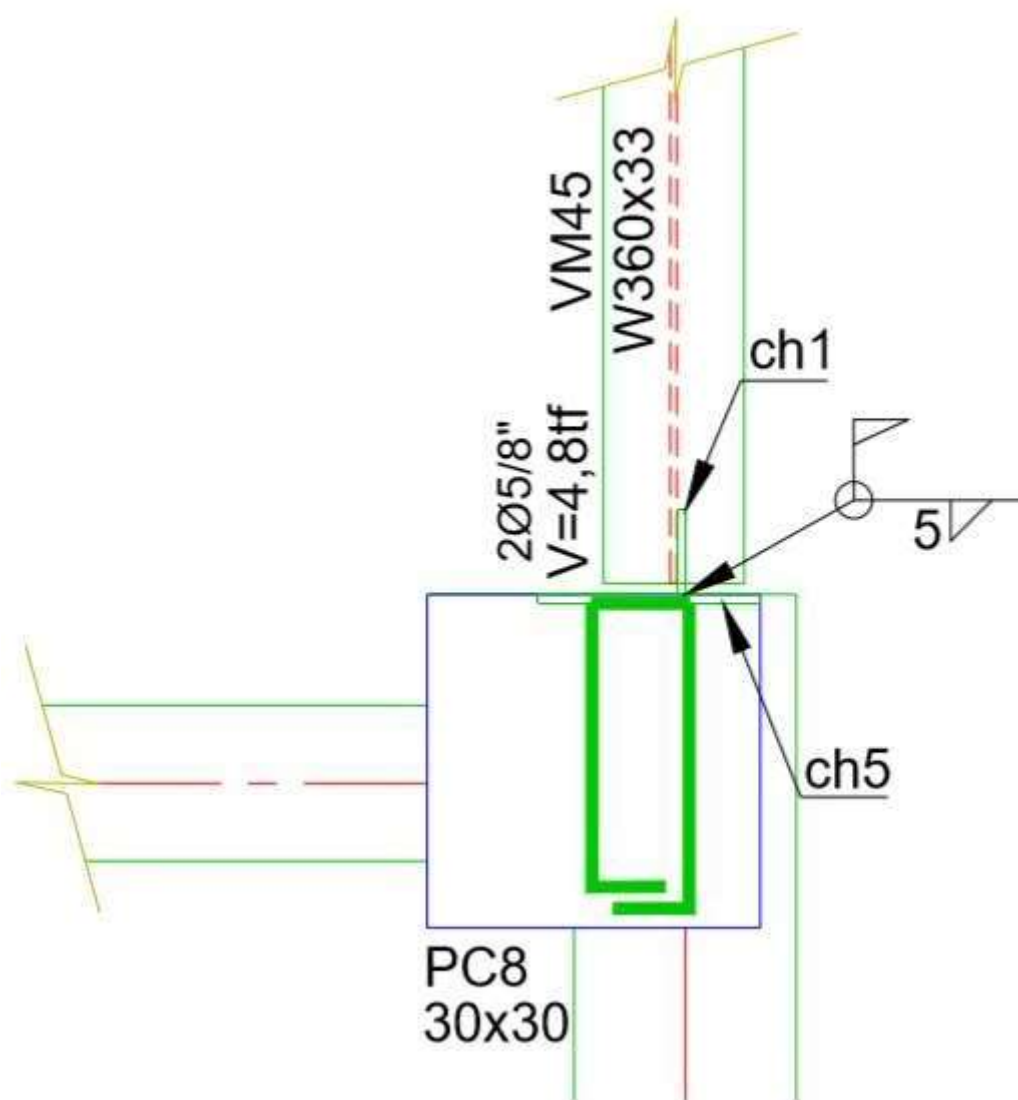
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 47 – Detalhe da ligação entre pilar e viga



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 48 – Detalhe da ligação entre pilar de concreto e viga metálica

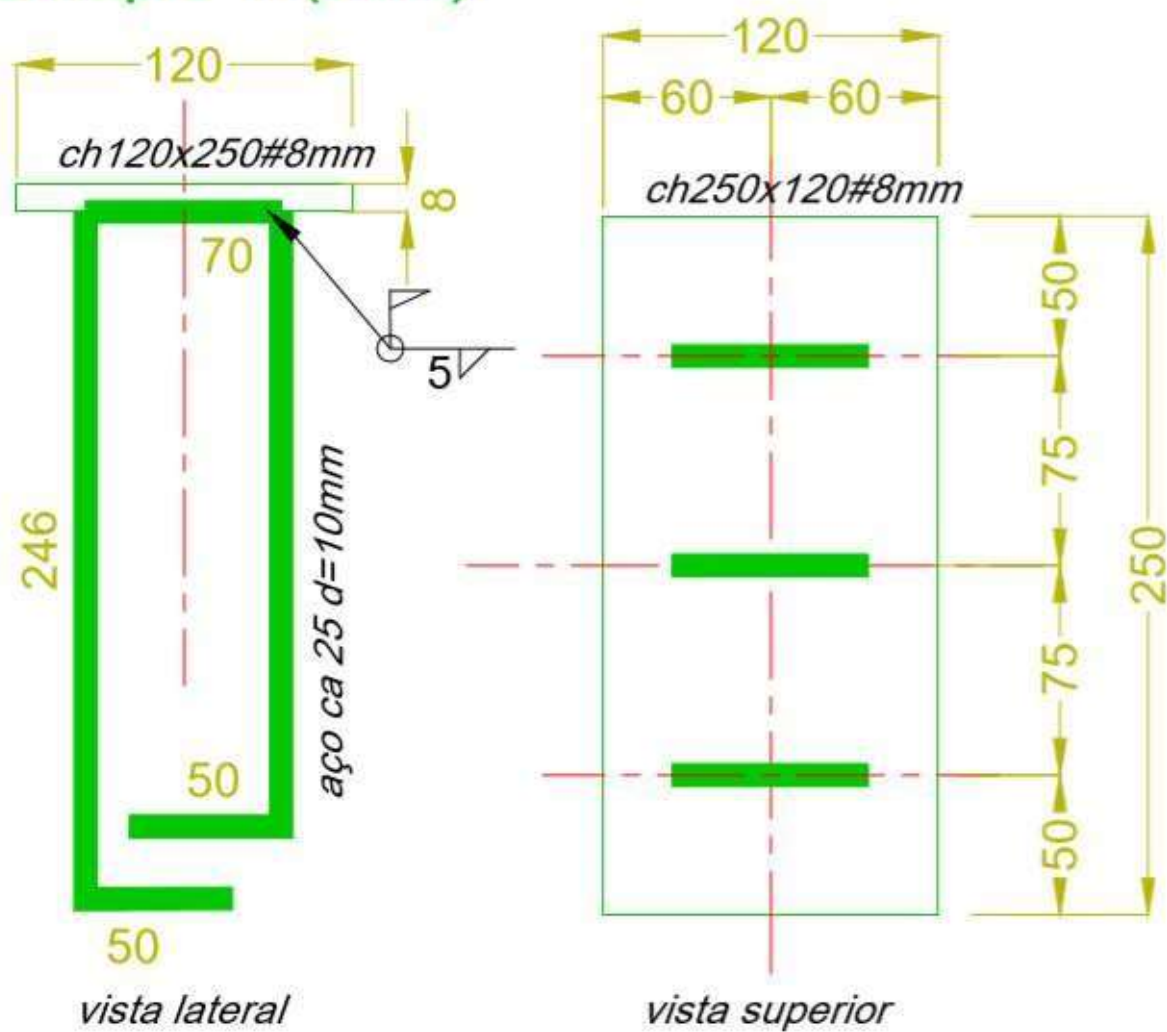


Fonte: Próprio autor, 2023.

A figura 48 mostra uma viga metálica chumbada em um pilar de concreto através de uma chapa de dimensão de 120x250mm e espessura de 8mm e chumbadores de 12,5mm de diâmetro. É importante no caso desse tipo de ligação verificar o comprimento de acoragem do chumbador e o cobrimento desta peça pelo concreto. O chumbamento desta peça é feita logo após a montagem da forma para concretagem do pilar, sendo opcional soldar a chapa de ligação ch1 na chapa 5 após a concretagem e retirada das formas, ou executar a solda entre esses elementos antes da concretagem e fazer um orifício na forma suficiente para o encaixe da peça.

Figura 49 – Detalhe da chapa 1

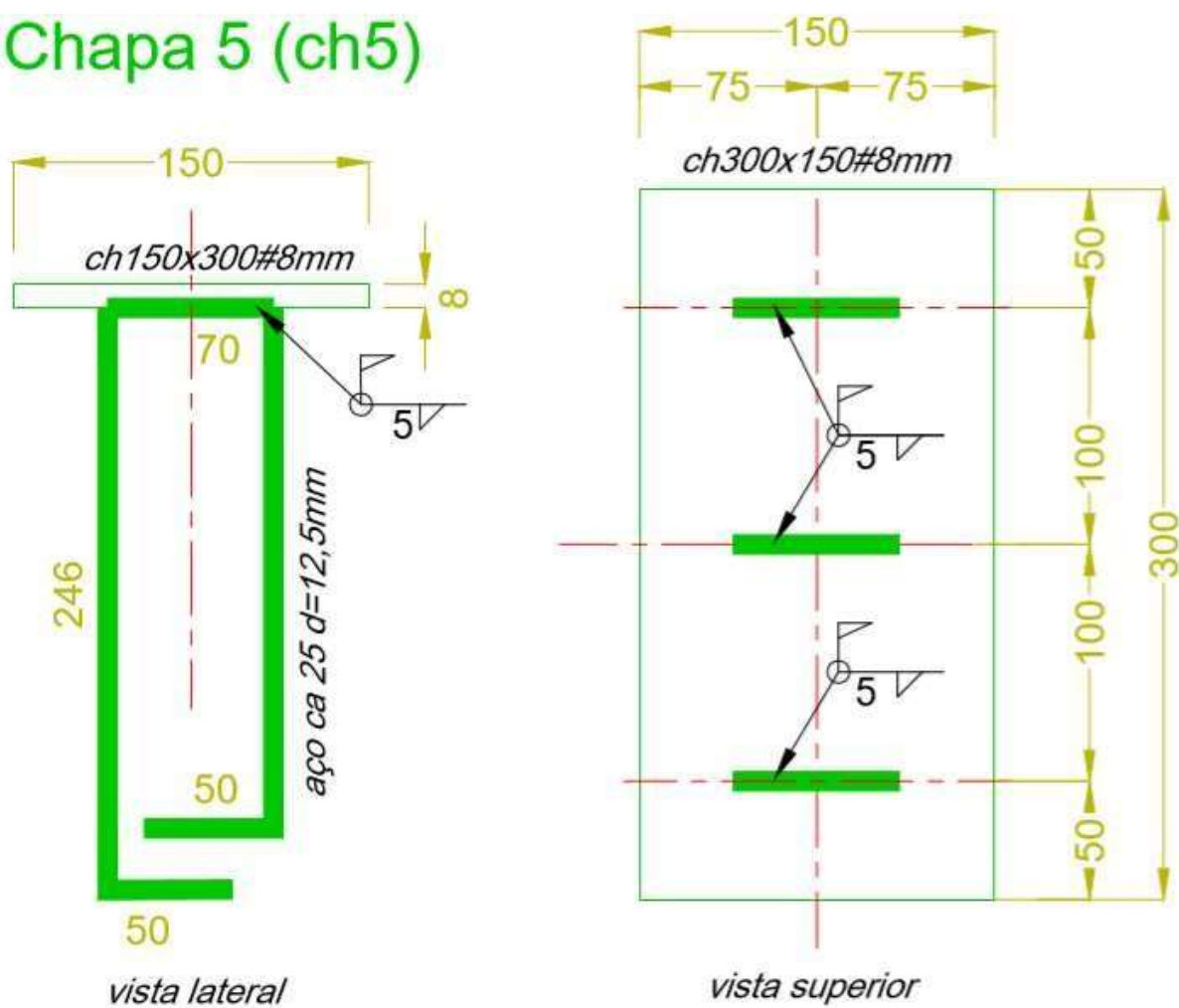
Chapa 1 (ch1)



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 50 – Detalhe da chapa 5

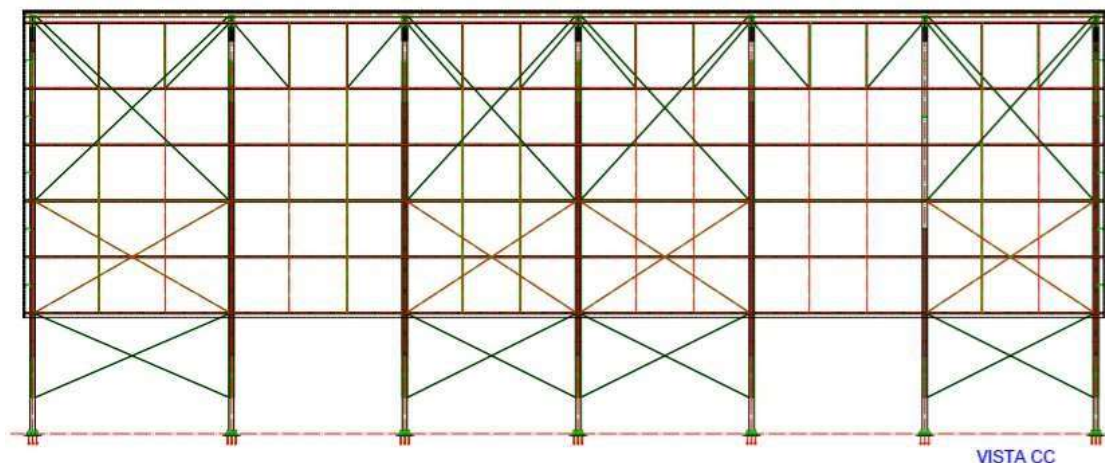
Chapa 5 (ch5)



Fonte: Próprio autor, 2023.

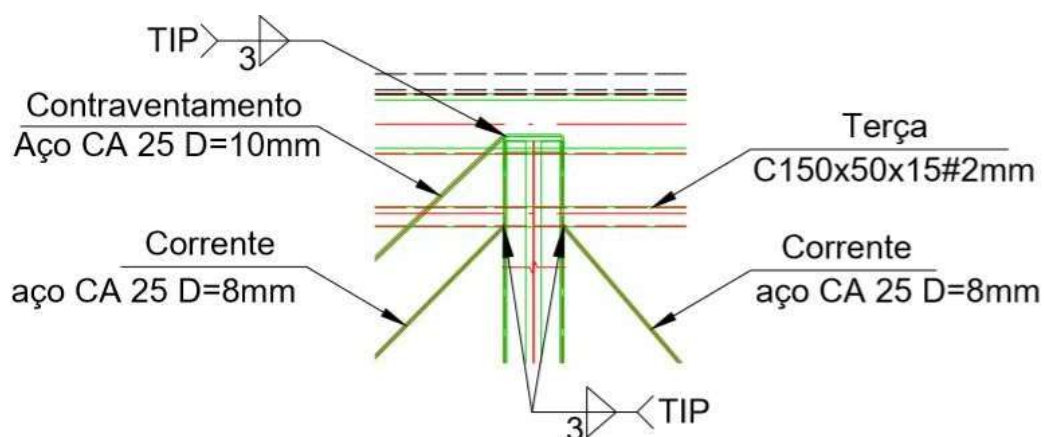
7.4 Vedação Lateral

Figura 51 – Detalhe do travamento das terças



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 52 – Detalhe do travamento das terças.

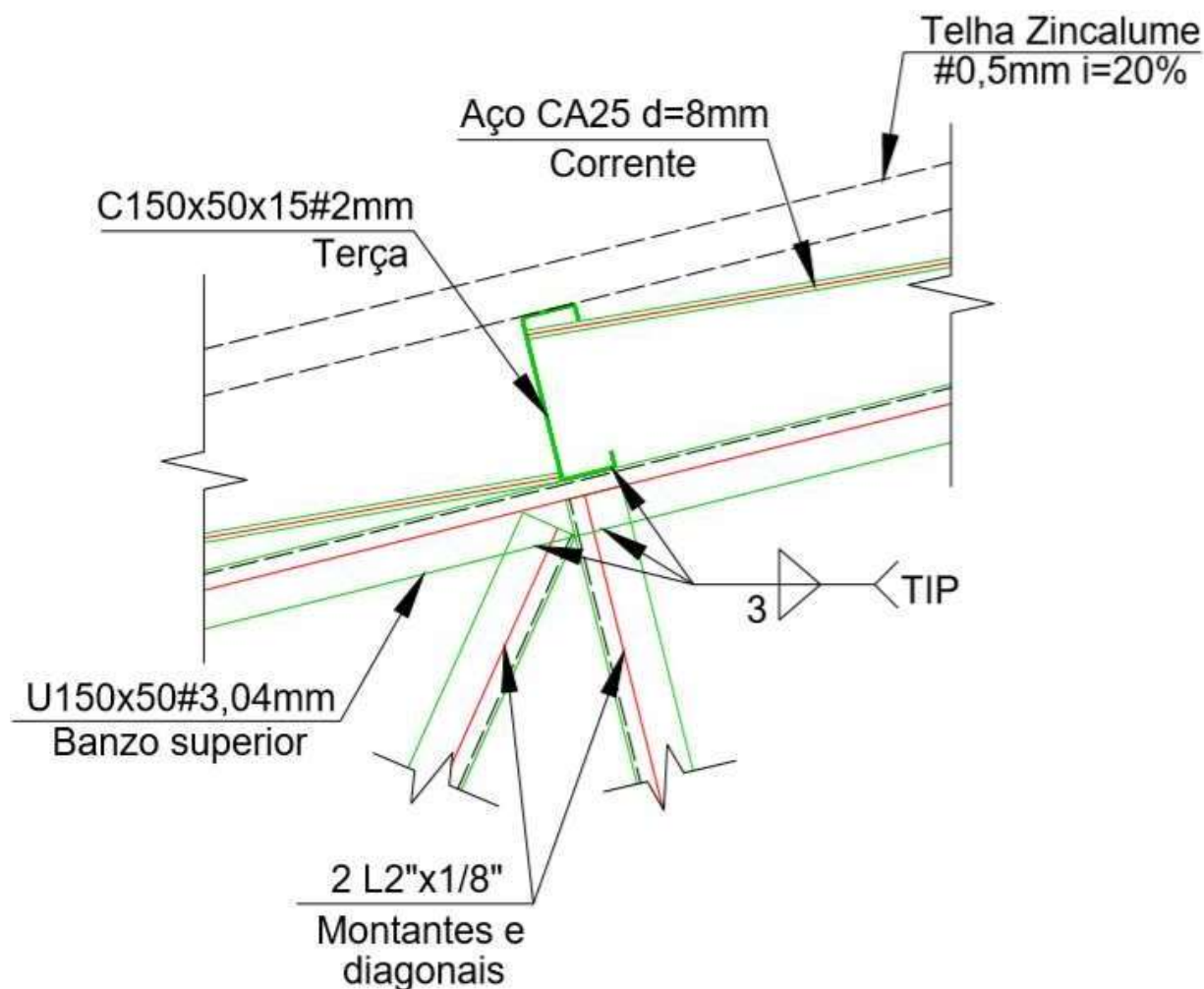


Fonte: Próprio autor, 2023.

Para a vedação lateral do progero A foram utilizadas telhas metálicas zincalume, compostas de chapa de aço de 0,5mm. A estrutura lateral foi feita a partir de terças no perfil “C” (“U” enrijecido) de 150x50x15mm na chapa 14, o que corresponde à espessura de 2mm. Foram dispostas a cada 1,618m com a boca para baixo a fim de evitar qualquer acúmulo de poeira e água. Entre os apoios das terças, em cada vão, foram dispostas duas linhas de correntes com barras redondas de 8mm de diâmetro. Além dessas, também foram utilizados contraventamentos com barras redondas de 10mm de diâmetro, dispostos em “X”, nos vãos externos e nos dois vãos centrais do galpão. Ambos elementos pertencem à classificação de aço CA 25.

7.1 Fixação e travamento de terças

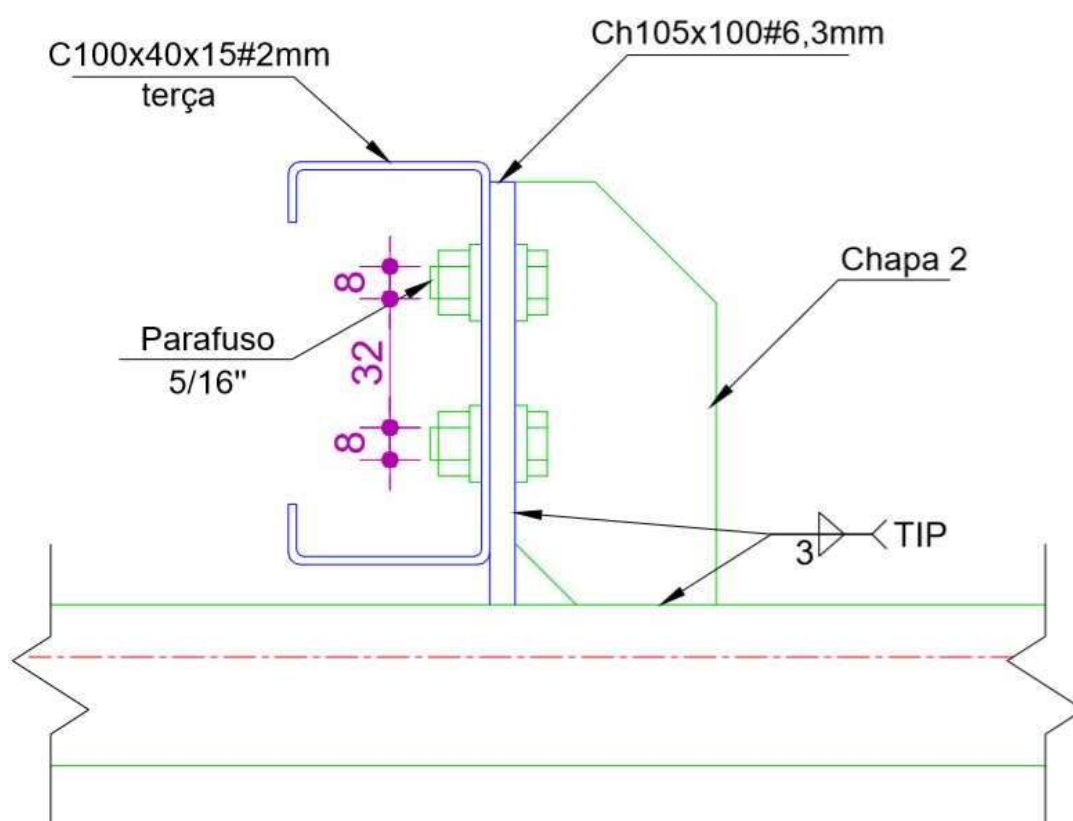
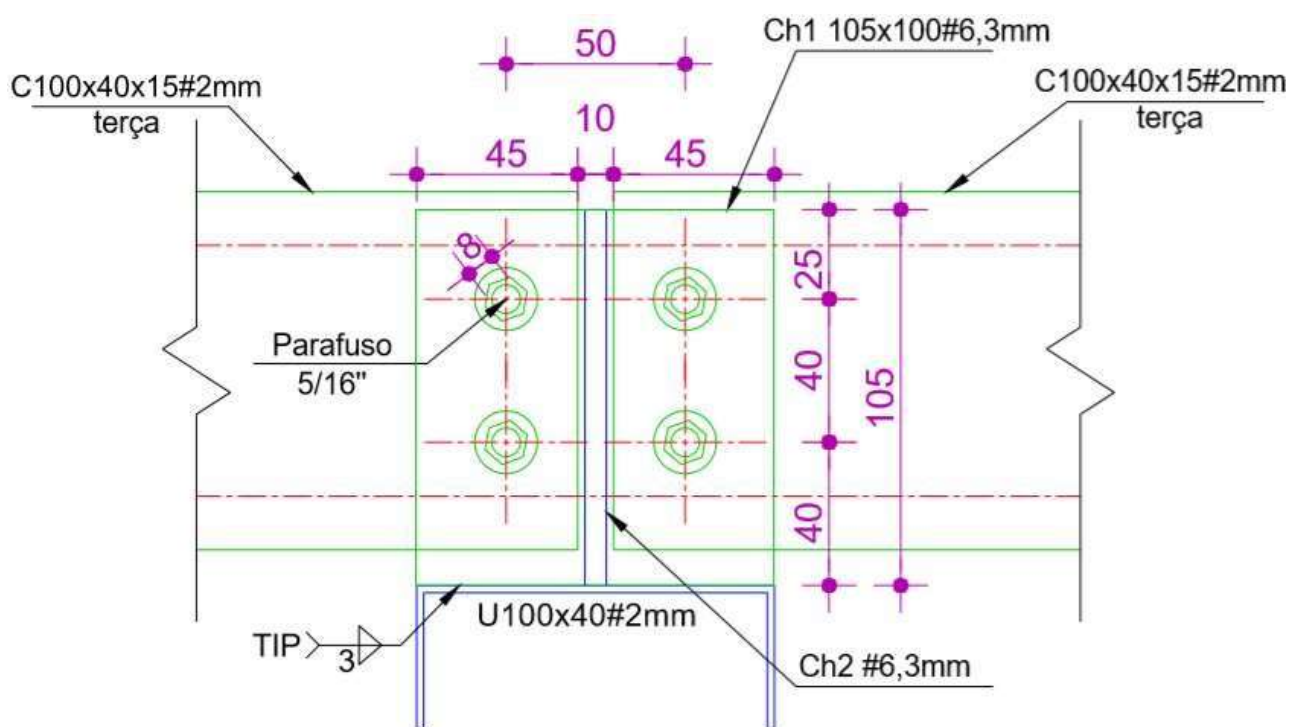
Figura 53 – Detalhe do travamento das terças



Fonte: Próprio autor, 2023.

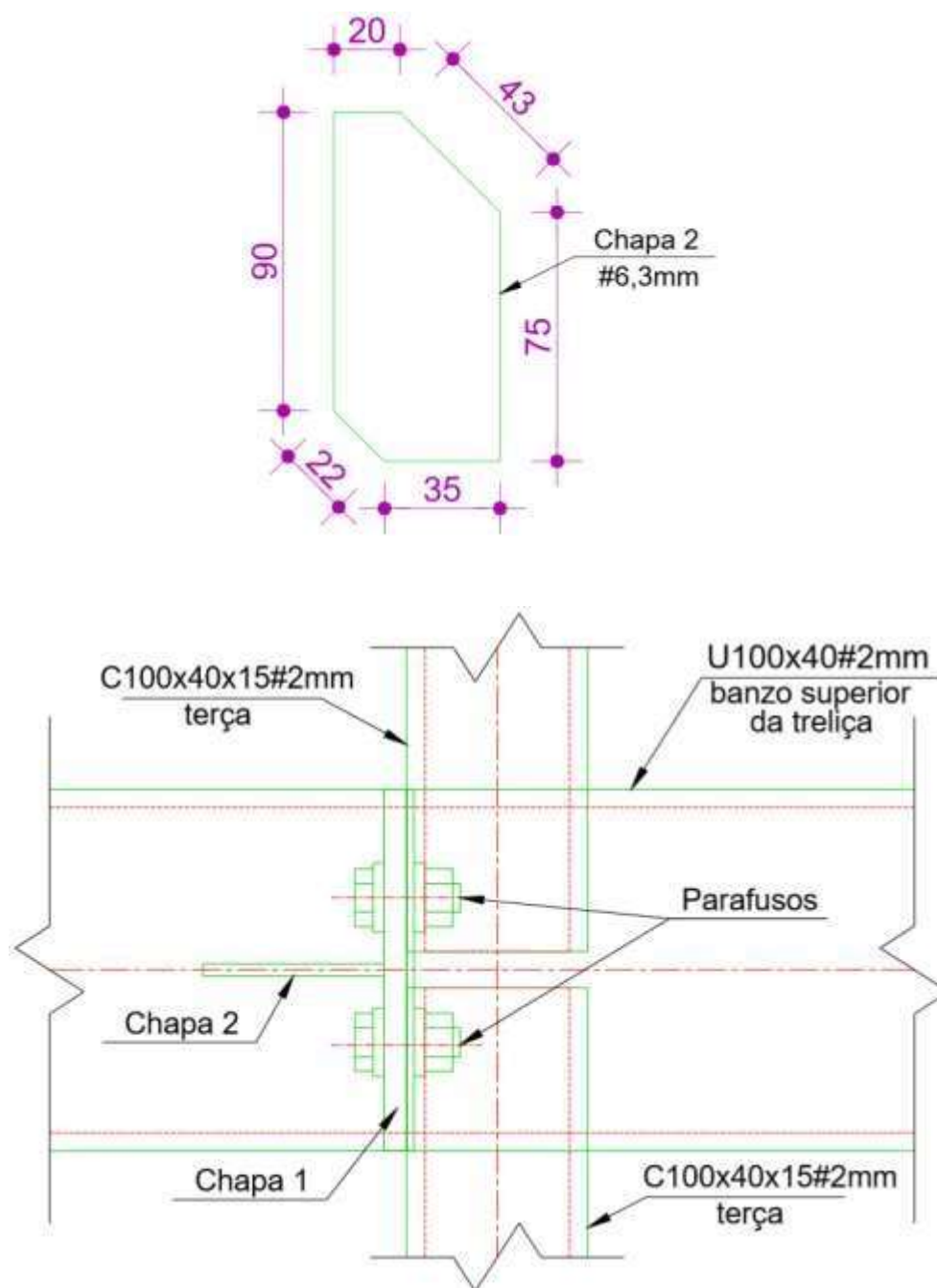
A fixação das terças no projeto A foi feito através da solda de filete de 3mm entre esta e o banzo superior da treliça constituído de perfil formado à frio do tipo “U” de 150x50mm na chapa de 3,04mm de espessura. O travamento das terças foram feitos através de solda de 5mm entre as barras de aço CA25 com diâmetro de 8mm e as terças no perfil formado à frio tipo “C” de dimensões de 150x50x15mm na chapa com espessura de 2mm.

Figura 54 – Detalhe de fixação de terças



Fonte: Próprio autor, 2023.

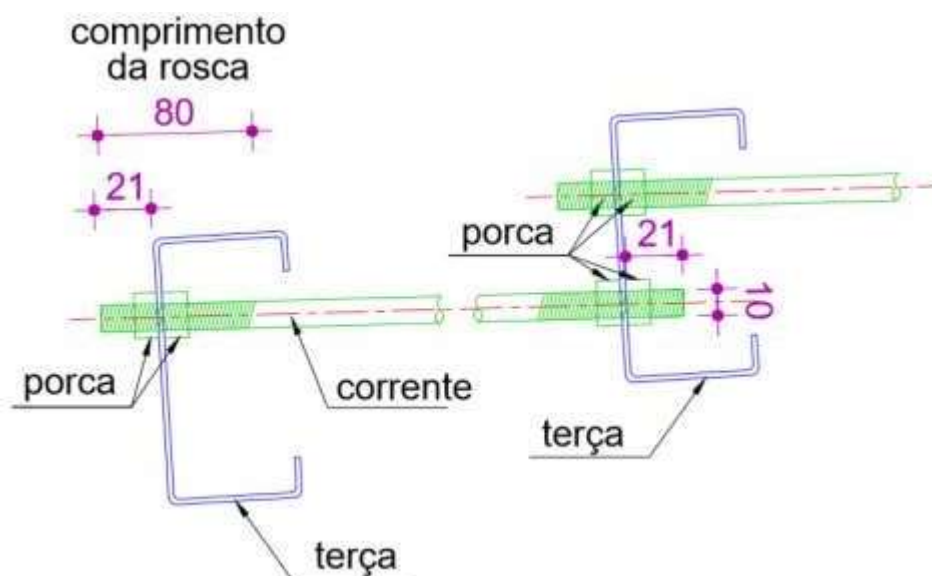
Figura 55 – Detalhe de fixação de terças



Fonte: Próprio autor, 2023.

Outra forma de fixação de terças é através da ligação parafusada, onde as chapas 1 e 2 compõem o elemento que faz a ligação entre a terça e o banzo superior da treliça, sendo ambas soldadas na treliça e a chapa 2 soldada perpendicularmente no meio da chapa 1, dando sustentação ao elemento. A terça é parafusada na chapa 1 através do parafuso 5/16", sendo esse aperto feito com chave de boca.

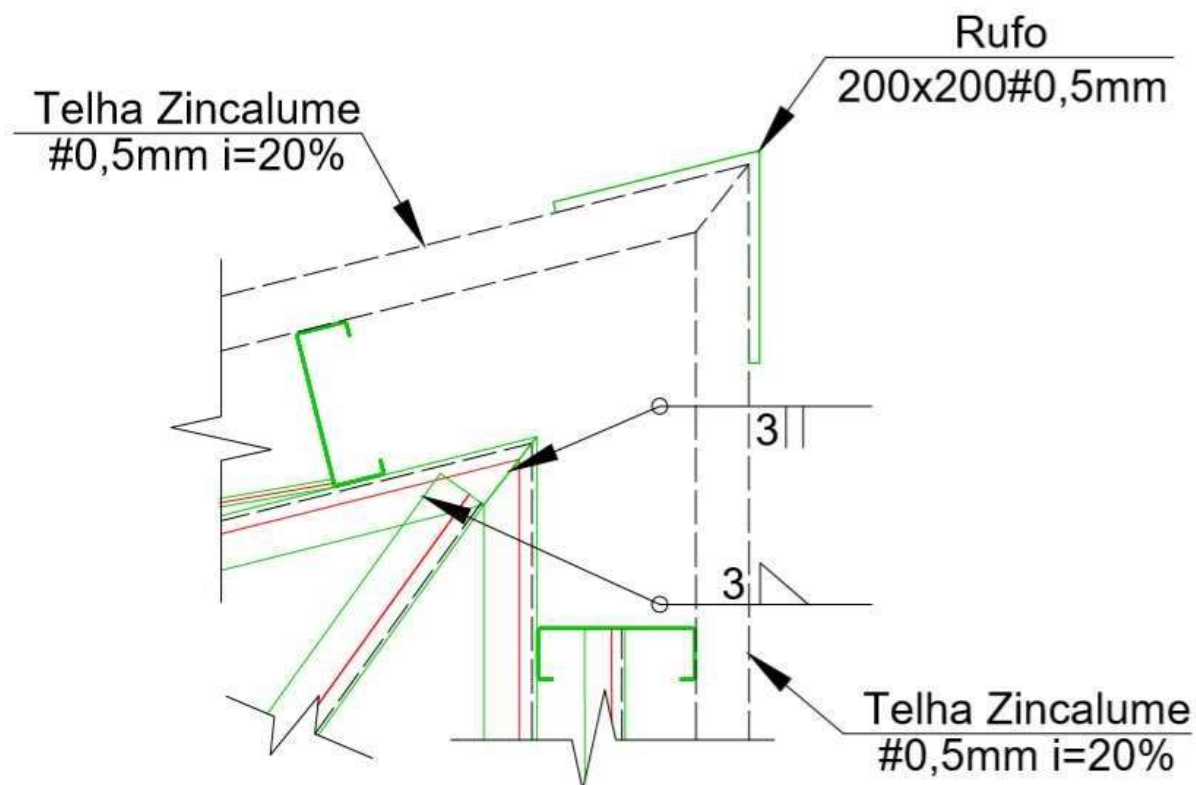
Figura 56 – Detalhe do travamento das terças através de rosca e porcas



Fonte: Próprio autor, 2023.

Outro tipo de travamento de terças é feito através de uma linha de correntes constituídas por barras de 10mm de diâmetro com rosca em suas extremidades permitindo o aperto através de 2 porcas, uma de cada lado da chapa do perfil, fazendo o aperto necessário com a chave de boca.

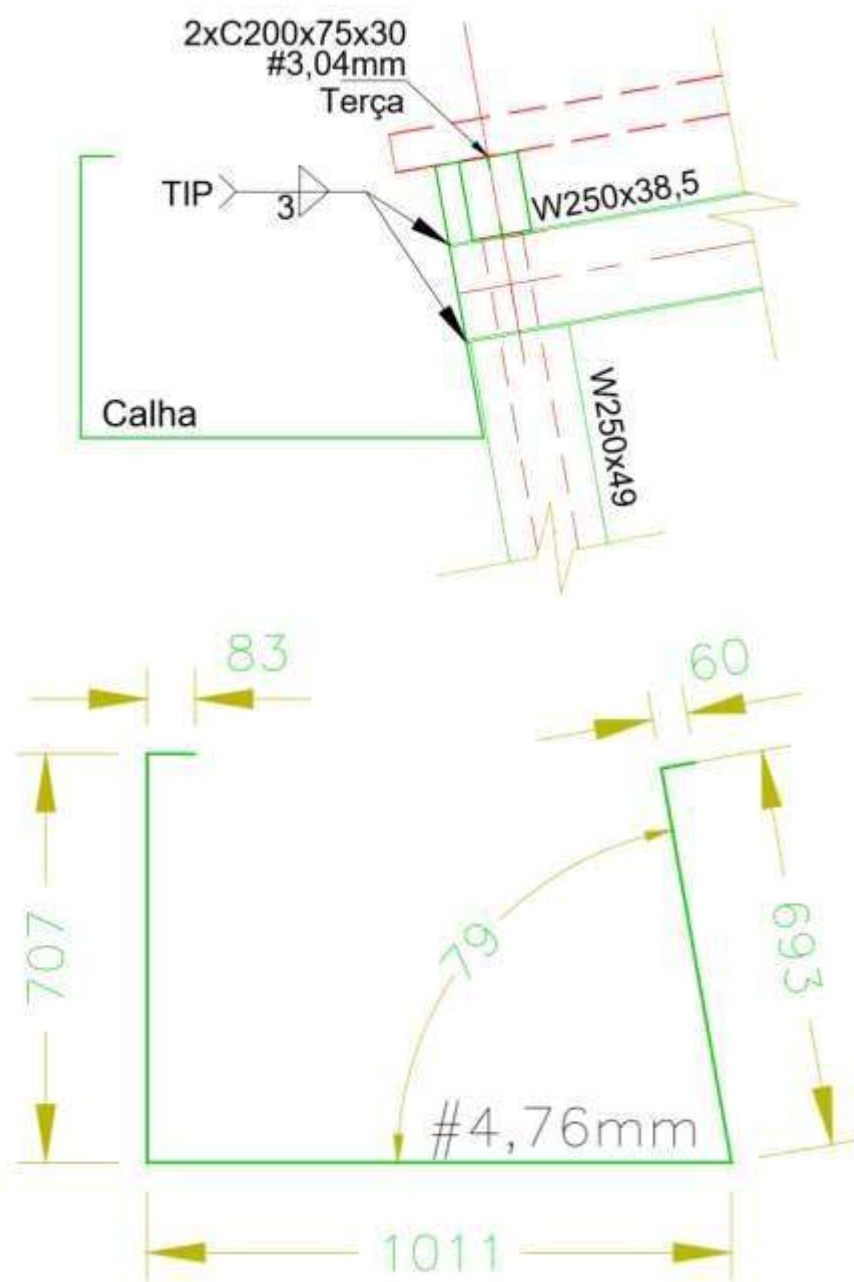
Figura 57 – Detalhe do rufo



Fonte: Próprio autor, 2023.

A figura 57 representa o detalhe do rufo que faz a vedação do encontro entre a telha de cobertura e a telha de fechamento lateral. Além disso, a figura também indica as soldas utilizadas nos elementos da treliça, sendo a solda de filete de 3mm entre as diagonais e montantes da treliça e solda sem chanfro de 3mm no encontro dos bancos das treliças da cobertura e do fechamento lateral.

Figura 58 – Detalhe da calha



Fonte: Próprio autor, 2023.

A figura 58 detalha as dimensões da calha e a ligação dessa com o perfil “W” 250x38,5 através da solda de filete de 3mm. A aba da calha fica rente à terça e a telha entra 10cm para dentro da calha.

8 CONCLUSÃO

Esse trabalho surgiu com a intenção de contribuir com os estudantes de engenharia civil que se interessem nessa área, assim como atores da cadeia produtiva que queiram adquirir mais conhecimentos sobre as estruturas metálicas e seus detalhamentos. Conforme explanado no referencial teórico e nas discussões desse trabalho, para utilização das estruturas metálicas é necessário que o profissional tenha conhecimentos específicos para a produção dos projetos dessa tipologia.

Nas discussões apresentadas no capítulo 7 a partir da apresentação do conjunto de detalhes construtivos, buscou-se evidenciar a importância num primeiro plano do projetista do sistema construtivo eleger as partes mais relevantes do projeto, de modo que o interlocutor, seja projetista ou executor, compreenda a complexidade que por vezes toma parte dos projetos de estruturas metálicas convencionais.

Nesse contexto, notadamente neste recorte da cadeia produtiva, percebe-se que rotinas equivocadas aplicadas em canteiros de obras são motivadas pela falta de detalhamento de projeto, mais especificamente a falta de representações gráficas em escalas maiores, evidenciando partes muito específicas de determinadas fases do projeto, as quais podem ser esclarecidas com o aumento de informações, como estas apresentadas.

Esse trabalho não possui um parecer definitivo e limitado, pois entende-se que existem várias formas de executar essa tipologia de estruturas que também são corretas. É importante ter em mente que o detalhe deve ser construído a fim de facilitar o entendimento dos executores, além de preservar o quanto seja possível os materiais que ali estão sendo utilizados.

Sendo esse um trabalho inicial, considerando o caráter regional, aconselha-se a continuação do estudo do detalhamento das estruturas metálicas para ser produzido um material mais completo e atualizado.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A ponte de ferro. **Ironbridge**, 2022. Disponível em: <https://www.ironbridge.org.uk/about-us/the-iron-bridge/>. Acesso em: 12 de ago. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual técnico telhas de aço**. 1 ed. São Paulo: 2009.

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

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

DIAS, Luís A. M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 3 ed. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Método de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Ligações em estruturas metálicas**. 3 ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2020.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Painéis de vedação**. 2 ed. Rio de Janeiro: Aço Brasil/CBCA, 2003.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Instituto Aço Brasil. **Estatística mensal de julho/2021**. São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2021. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/08/EM_Julho_2021_948351533.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Instituto Aço Brasil. **Estatística mensal de julho/2022**. São

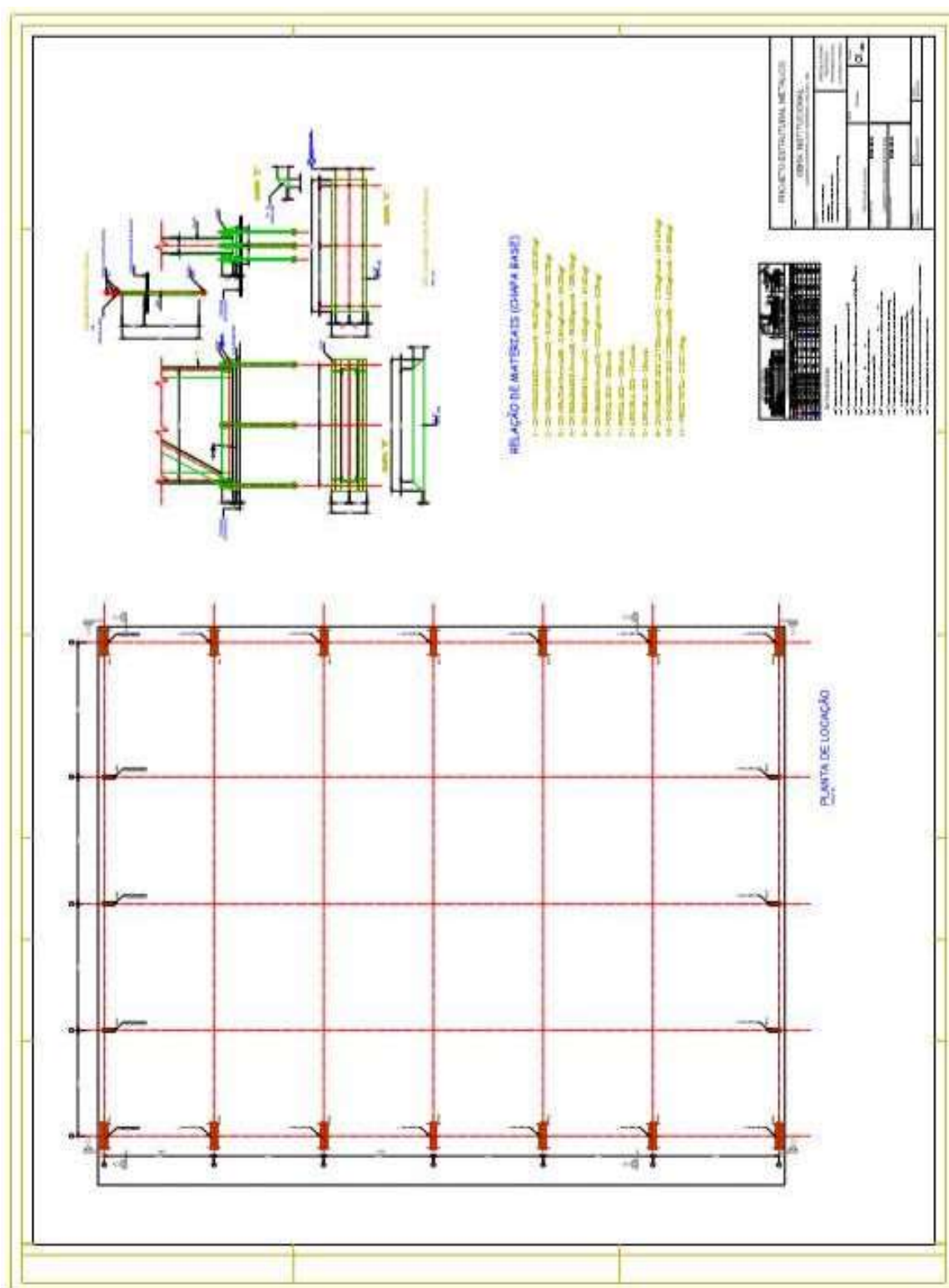
Paulo: Instituto Aço Brasil, 2022. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/07/EM_Julho_2022_957871593.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

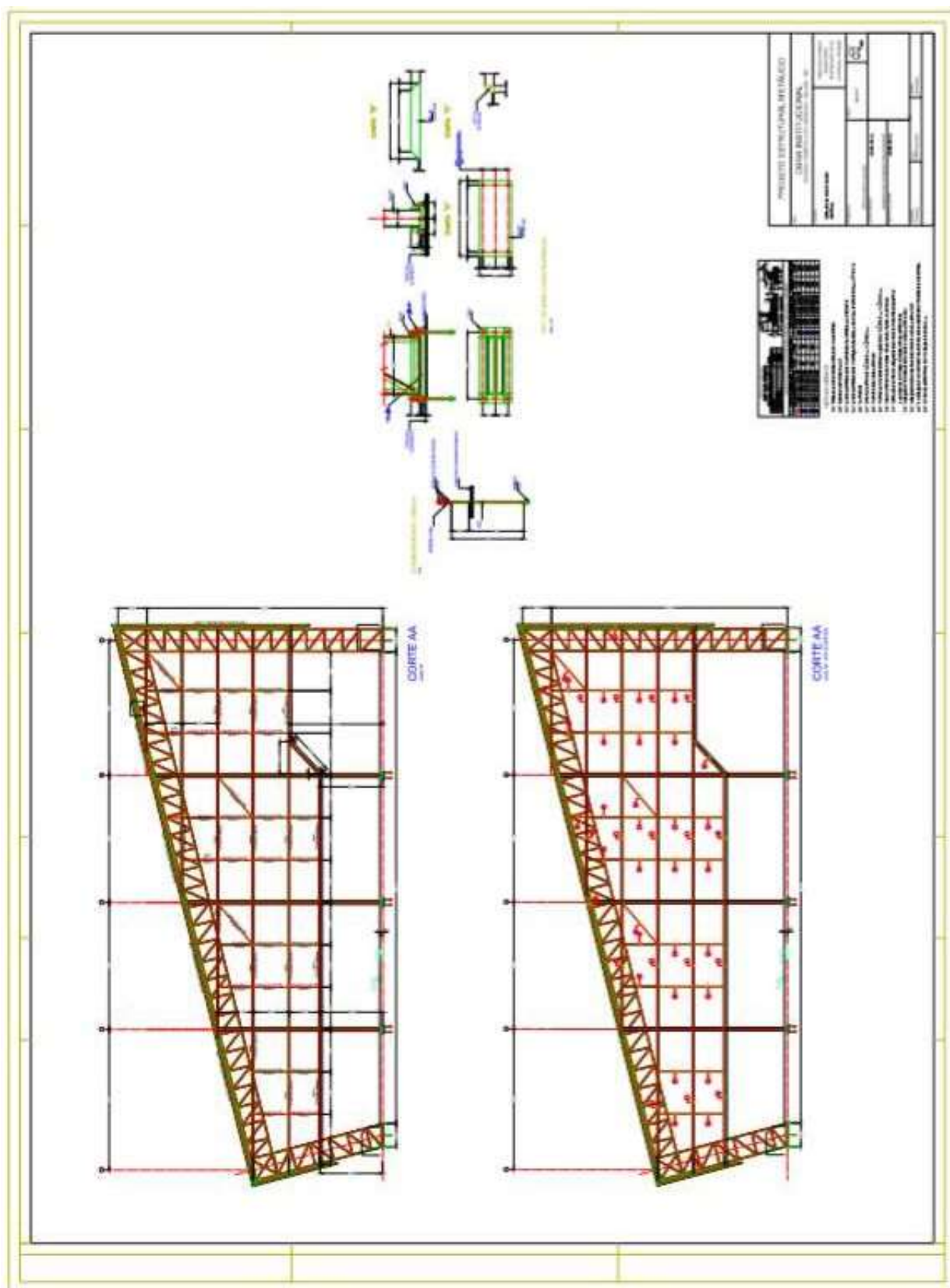
O nascimento da Torre Eiffel. **Tour Eiffel**, 2022. Disponível em: <https://www.toureiffel.paris/fr/le-monument/histoire>. Acesso em: 12 ago. 2022.

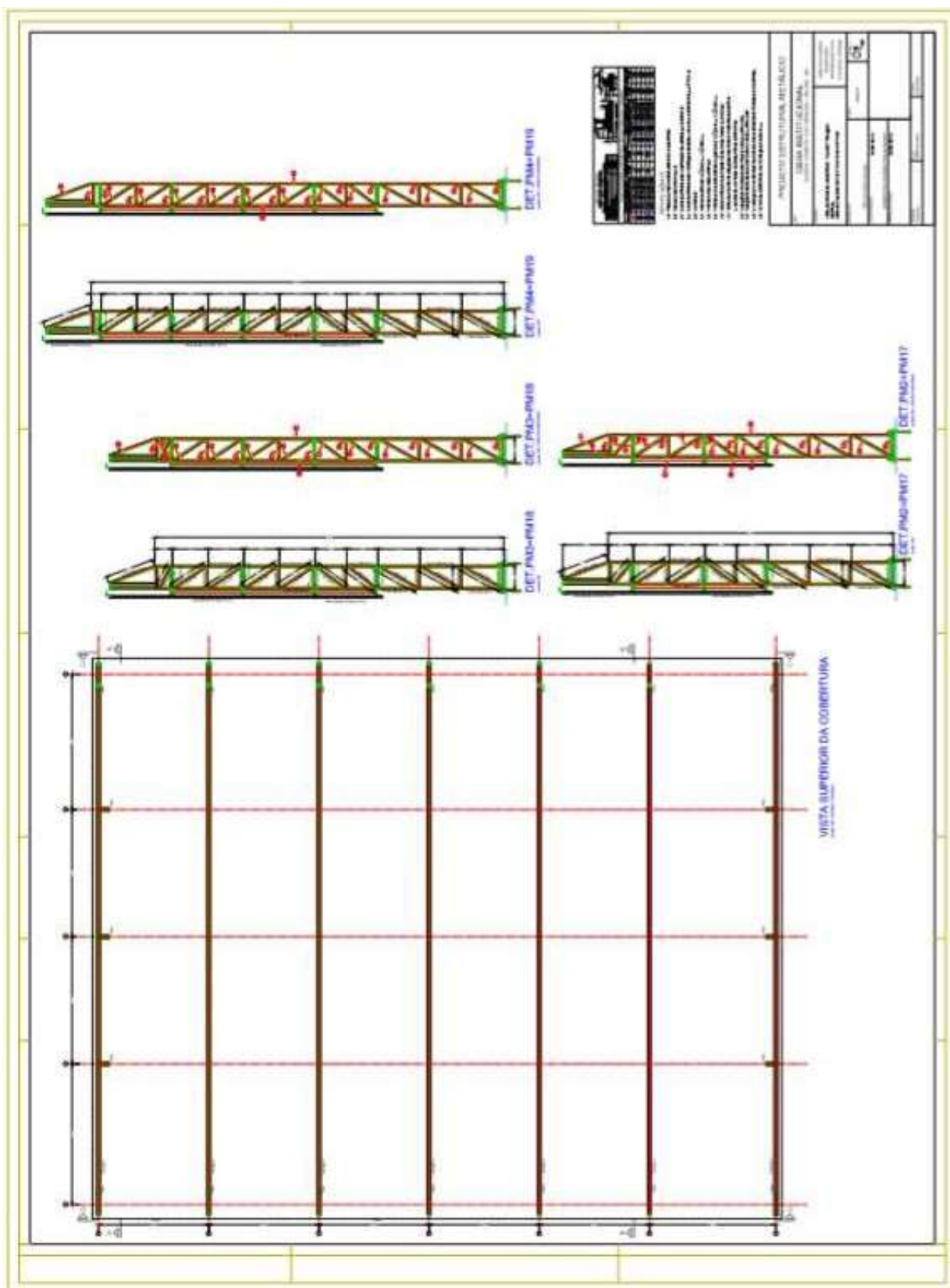
PFEIL, W.; PFEIL M. **Estruturas de aço – Dimensionamento prático**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

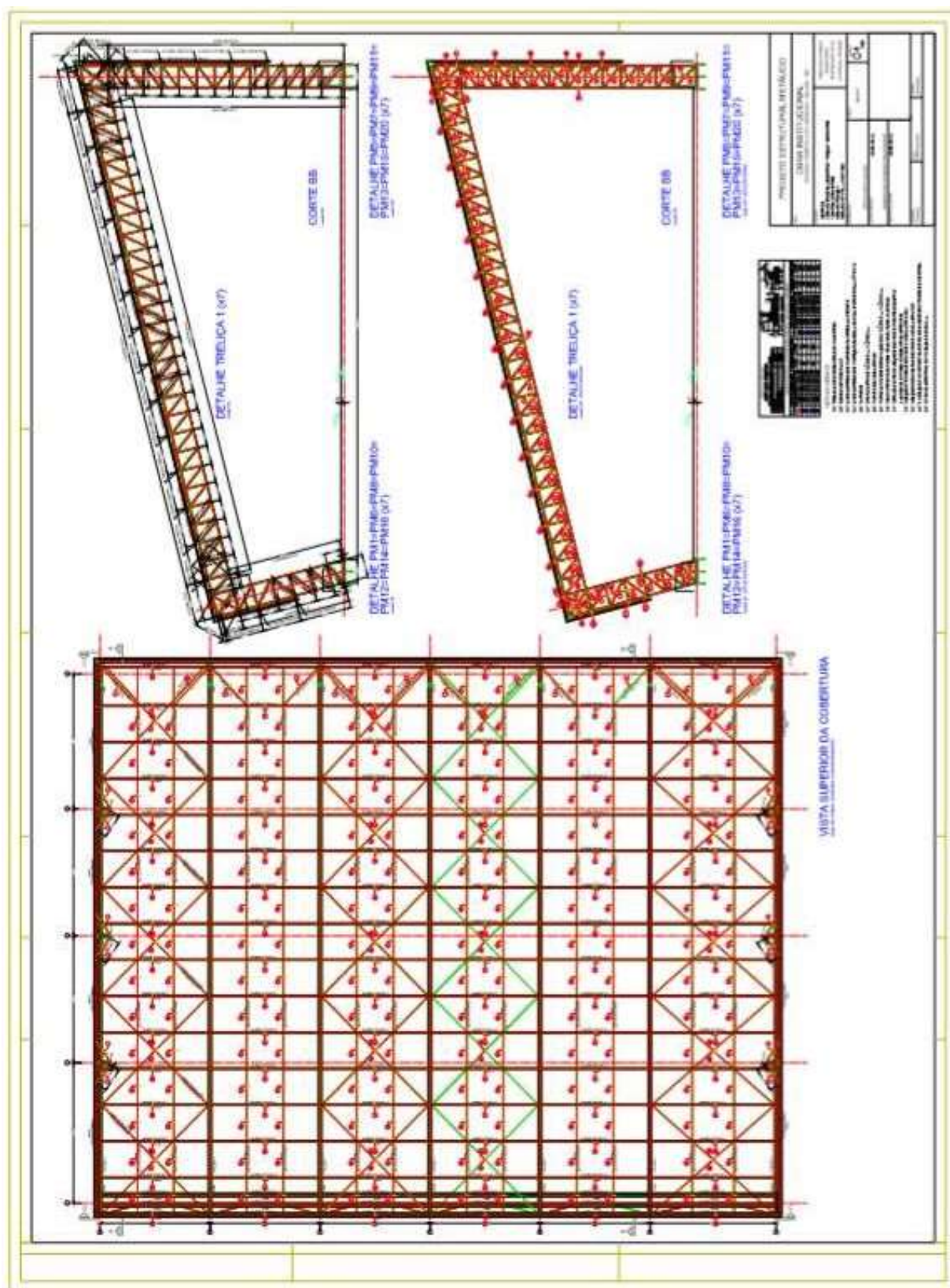
SCHMITT, Eduardo Rodrigues. **Análise comparativa de concepções estruturais predefinidas relativas à cobertura de galpões metálicos**. Orientador: Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva. 2022. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022. Disponível em: <http://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca/Acervo/trabalhos-academicos/engenharia-civil/2022/eduardo-rodrigues-schmitt.pdf/view>. Acesso em: 02 ago. 2022.

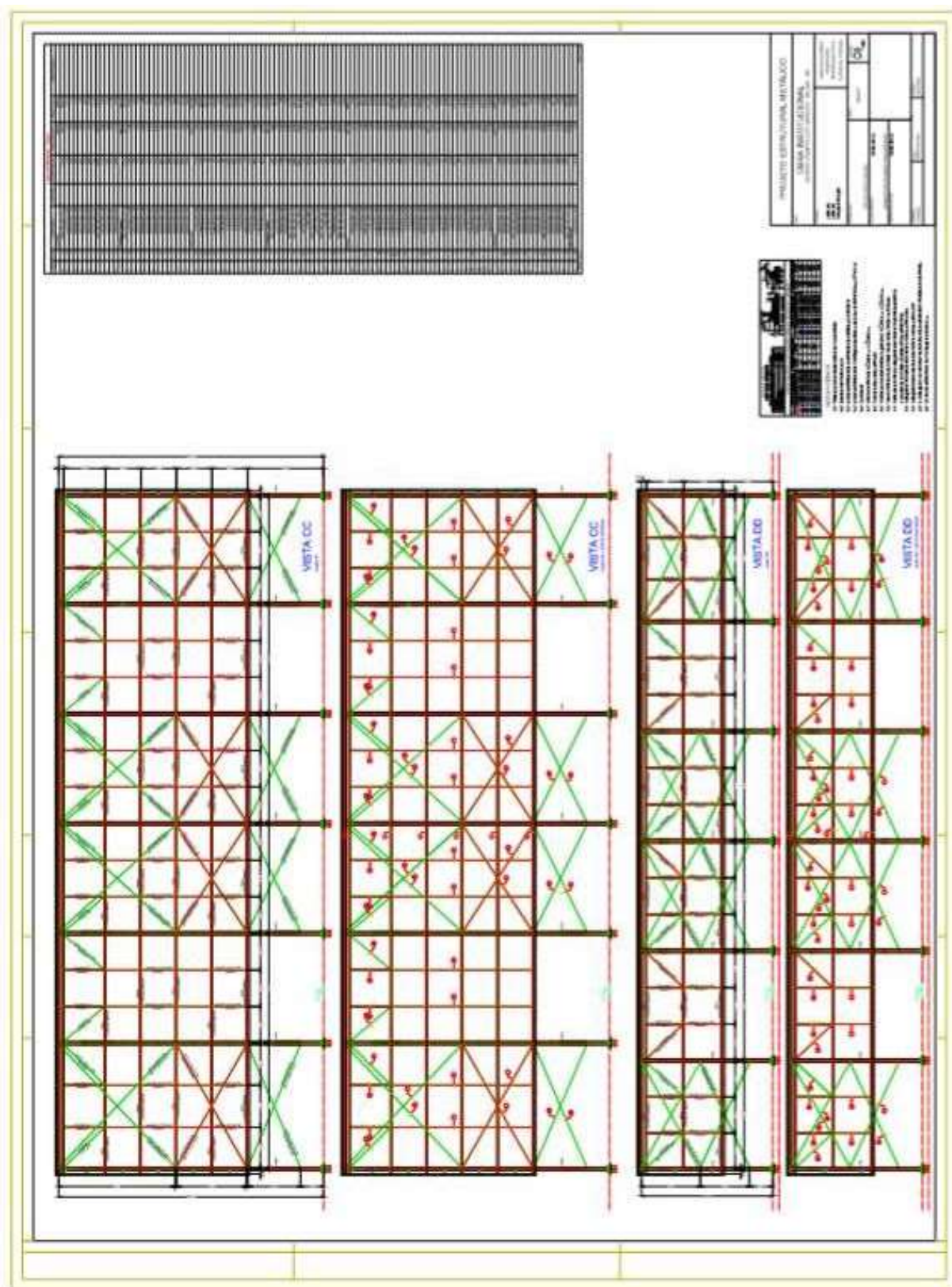
APÊNDICE A – Projeto A

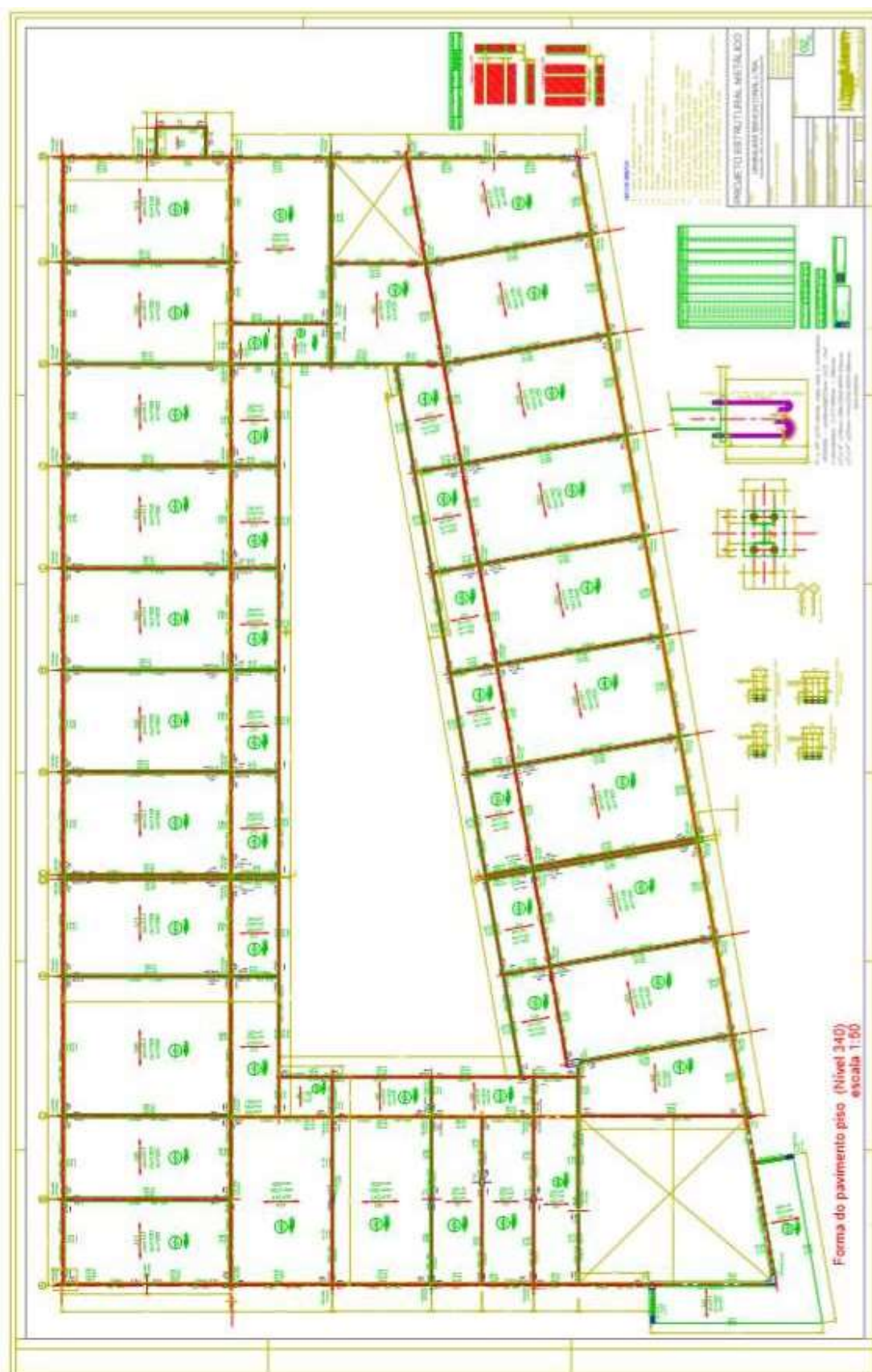


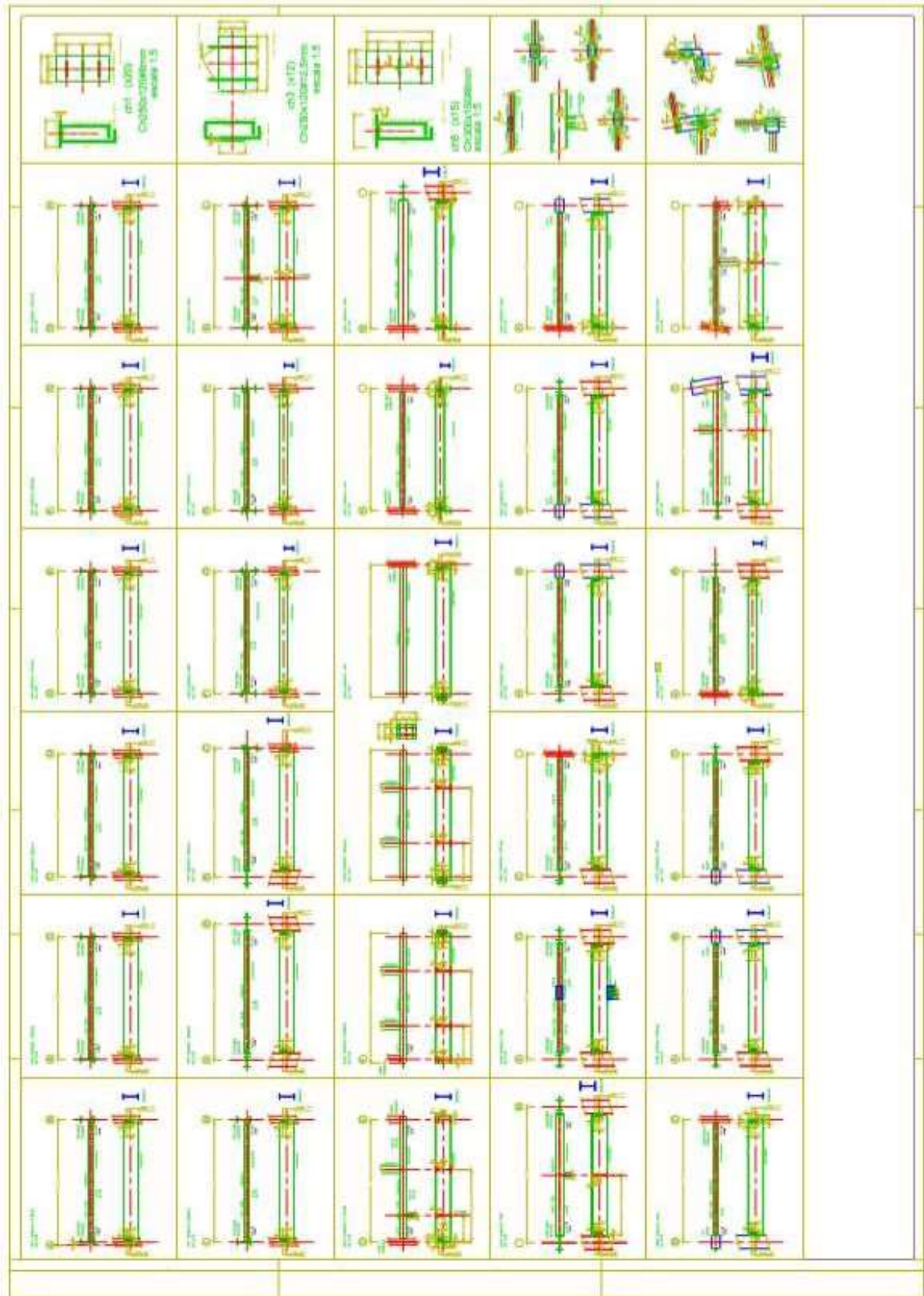


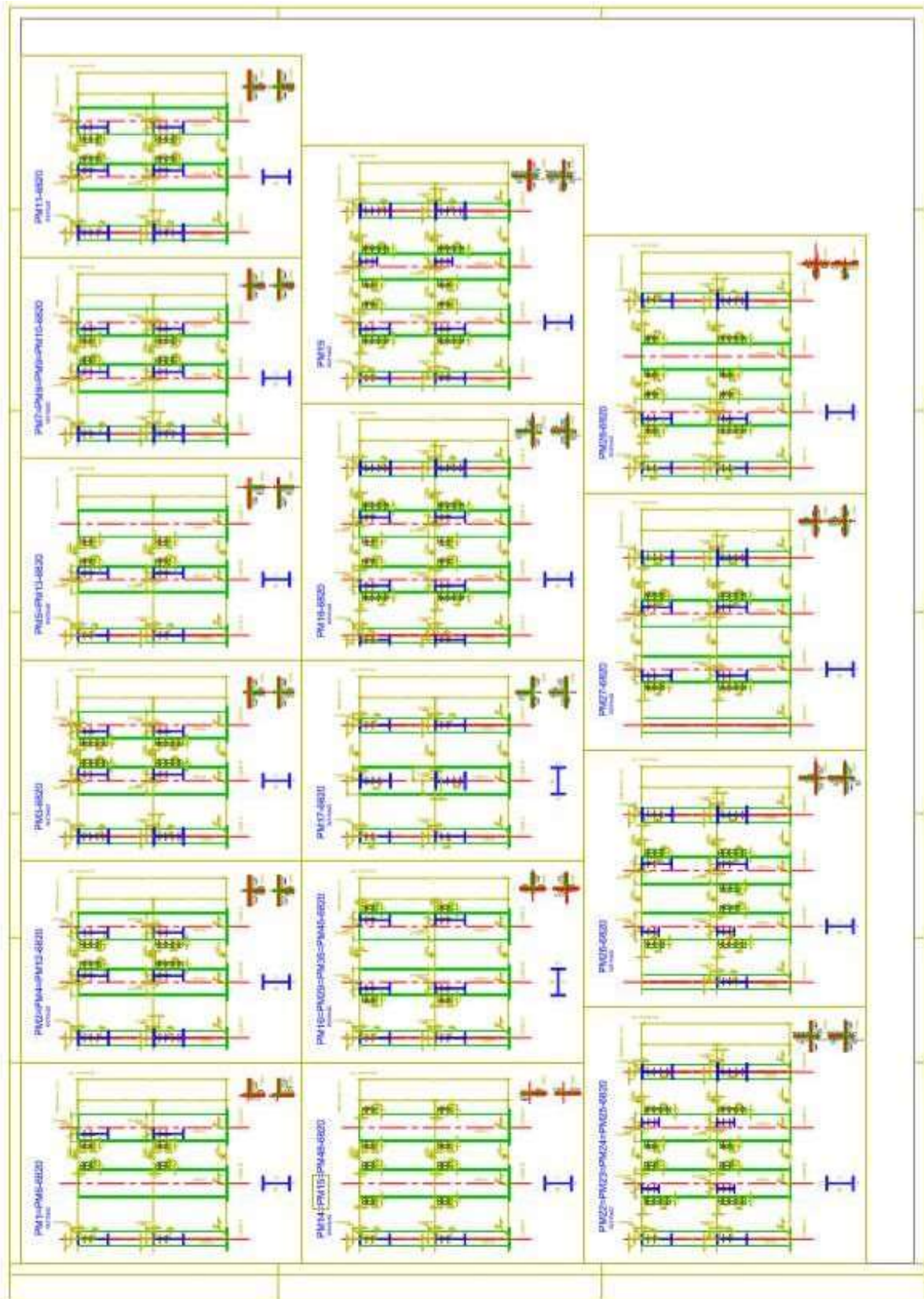












APÊNDICE C – Trechos retirados na norma ABNT NBR 8800:2008 que podem contribuir para o entendimento dos detalhes apresentados no capítulo 7.

6.1.11 Limitações de uso para ligações soldadas e parafusadas

6.1.11.1 Devem ser usados soldas ou parafusos de alta resistência com protensão inicial em ligações por contato ou por atrito nos seguintes casos:

- a) emendas de pilares nas estruturas de andares múltiplos com mais de 40 m de altura;
- b) ligações de vigas com pilares e com quaisquer outras vigas das quais depende o sistema de contraventamento, nas estruturas com mais de 40 m de altura;
- c) ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas de pilares, ligações de contraventamentos de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforço de pórticos e ligações de peças-suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes de capacidade superior a 50 kN;
- d) ligações de peças sujeitas a ações que produzam impactos ou tensões reversas.

6.1.11.2 Para os casos não citados em 6.1.11.1, as ligações podem ser feitas com parafusos de alta resistência sem protensão inicial ou com parafusos comuns.

6.1.13 Recortes de mesa de vigas para ligações e aberturas de acesso para soldagem

6.1.13.1 Todas as aberturas de acesso necessárias para facilitar a operação de soldagem devem ter uma altura de 1,5 vez a espessura do material no qual a abertura é feita, porém, não menor que 25 mm e não necessitando exceder 50 mm. As aberturas de acesso devem ser detalhadas de forma a proporcionar espaço para a chapa de espera.

6.1.13.2 Recortes de mesa de vigas para ligações e aberturas de acesso para soldagem devem ser livres de entalhes e cantos reentrantes.

6.1.13.3 No caso de perfis soldados com mesas ou alma de espessura superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm, superfícies de recortes de vigas e aberturas de acesso para soldagem, obtidas por meio de corte a maçarico, devem ser esmerilhadas ao metal brilhante e inspecionadas por partículas magnéticas ou líquido penetrante antes da deposição de soldas de emenda. A região curva de transição de tais recortes e aberturas não precisa ser esmerilhada se for executada por meio de broca ou serra.

6.2.1.2 As soldas devem ser indicadas nos desenhos de projeto. Detalhes como comprimentos e retornos devem ser indicados nos desenhos de fabricação.

6.2.2.2 Soldas de filete

As seguintes disposições são aplicáveis:

- a) a área efetiva de uma solda de filete deve ser calculada como o produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva;
- b) a garganta efetiva de uma solda de filete é igual à menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda, exceto para soldas de filete com pernas ortogonais executadas pelo processo de arco submerso, quando a garganta efetiva pode ser acrescida de 3 mm, para soldas de filete com perna maior que 10 mm, e pode ser tomada igual à perna, para soldas de filete com perna igual ou inferior a 10 mm. Perna do filete é o menor dos dois lados, situados nas faces de fusão, do maior triângulo que pode ser inscrito na seção da solda. Raiz da solda é a interseção das faces de fusão;
- c) o comprimento efetivo de uma solda de filete, exceto para as situações apresentadas nas alíneas d) e e) a seguir, deve ser igual ao comprimento total da solda de dimensão uniforme, incluindo os retornos nas extremidades;

- d) para soldas de filete longitudinais nas ligações extremas de elementos axialmente solicitados, o comprimento efetivo deve ser tomado como o comprimento total da solda multiplicado pelo fator de redução β , dado por:

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{\ell_w}{d_w} \right), \text{ porém } 0,6 \leq \beta \leq 1,0$$

onde:

ℓ_w é o comprimento total da solda;

d_w é o tamanho da perna do filete de solda.

O comprimento efetivo de uma solda de filete em furos ou rasgos deve ser medido ao longo da linha que passa pelos pontos médios das gargantas efetivas uniformes. Se a área de uma solda de filete executada em furo ou rasgo, calculada a partir desse comprimento, for maior que a área dada em 6.2.2.3, então esta última deve ser usada como área efetiva da solda.

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8
^a Executadas somente com um passe.	

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.3.1 Parafusos de alta resistência

Em ligações com parafusos de alta resistência devem ser atendidos os requisitos de 6.7.

Permite-se aperto normal, exceto nas seguintes situações:

- casos citados em 6.1.11.1;
- parafusos ASTM A490 sujeitos à tração ou tração e cisalhamento;
- parafusos ASTM A325 sujeitos à tração ou tração e cisalhamento, quando o afrouxamento ou a fadiga devidos à vibração ou flutuações de solicitação precisarem ser considerados no projeto.

Considera-se que o aperto normal pode ser obtido por alguns impactos de uma chave de impacto ou pelo esforço máximo de um operário usando uma chave normal, garantindo sempre firme contato entre as partes ligadas. Parafusos montados sem controle de protensão inicial devem ser claramente indicados nos desenhos de projeto, fabricação e montagem.

Quando o aperto normal não for permitido, os parafusos devem ser montados de forma a desenvolver uma força de protensão mínima, obtida conforme 6.7.4.1.

6.3.6 Dimensões e uso de furos e arruelas

6.3.6.1 As dimensões máximas de furos devem obedecer ao indicado na Tabela 12. No entanto, furos de maiores diâmetros podem ser usados nas placas de apoio de pilares, para levar em conta as tolerâncias de locação de chumbadores em bases de concreto, usando-se arruelas especialmente dimensionadas para tal situação, soldadas à placa de base.

6.3.6.2 Nas ligações com furos alargados ou alongados devem ser observados os tipos de ligação permitidos e as limitações indicadas na Tabela 13.

Tabela 12 — Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	$28,5 \times 35$	$28,5 \times 67,5$
	≥ 30	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	$1\ 1/16$	$1\ 1/4$	$1\ 1/16 \times 1\ 5/16$	$1\ 1/16 \times 2\ 1/2$
	$\geq 1\ 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

Tabela 13 — Limitações relativas ao emprego de furos alargados ou alongados

Tipo de furo	Tipo de ligação permitido	Limitações	
		Posição do furo	Arruelas ^a
Alargado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação	Endurecidas, sobre furos alargados em chapas externas da ligação
Pouco alongado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Sobre furos pouco alongados em chapas externas da ligação devem ser usadas arruelas, que devem ser endurecidas quando os parafusos forem de alta resistência
	Por contato	Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação. Maior dimensão normal à direção da solicitação	
Muito alongado	Por atrito	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Arruelas de chapa ou barras chatas contínuas, de aço estrutural, com espessura mínima de 8 mm e com furos-padrão, devem ser usadas sobre furos muito alongados em chapas externas. Tais arruelas ou barras devem ter dimensões suficientes para cobrir totalmente os furos alongados após a instalação dos parafusos. Quando for necessário usar arruelas endurecidas (ver 6.7.4.2 e ^a), estas serão colocadas sobre aquelas arruelas de chapas ou barras contínuas
	Por contato	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Maior dimensão normal à direção da solicitação	

^a Quando forem usados parafusos ASTM A490 de diâmetro superior a 25,4 mm, em furos alongados ou alargados, nas chapas externas da ligação, devem ser usadas arruelas endurecidas de acordo com a ASTM F436, porém de espessura mínima igual a 8 mm, em lugar das arruelas-padrão.

6.3.9 Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, de preferência $3 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada. Além desse requisito, a distância livre entre as bordas de dois furos consecutivos não pode ser inferior a d_b .

6.3.10 Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

6.3.11.1 Furos-padrão

A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

6.3.11.2 Furos alargados ou alongados

A distância do centro de um furo alargado ou alongado a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado para furos-padrão, dado na Tabela 14, acrescido de βd_b , sendo d_b o diâmetro do parafuso e β definido como a seguir:

- $\beta = 0$ para furos alongados na direção paralela à borda considerada;
- $\beta = 0,12$ para furos alargados;
- $\beta = 0,20$ para furos pouco alongados na direção perpendicular à borda considerada;
- $\beta = 0,75$ para furos muito alongados na direção perpendicular à borda considerada (se o comprimento do furo muito alongado for inferior ao dado na Tabela 12, o produto βd_b pode ser reduzido de uma quantia igual à metade da diferença entre o comprimento dado na Tabela e o comprimento real).

Tabela 14 — Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda ^{a)}

Diâmetro d_b		Borda cortada com serra ou tesoura mm	Borda laminada ou cortada a maçarico ^{b)} mm
pol	mm		
1/2		22	19
5/8	16	29	22
3/4		32	26
	20	35	27
7/8	22	38 ^{c)}	29
	24	42 ^{c)}	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 1/4		57	42
	36	64	46
> 1 1/4	> 36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

^{a)} São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

^{b)} Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25 % da força resistente de cálculo.

^{c)} Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas e de chapas de extremidade para ligações flexíveis, esta distância pode ser igual a 32 mm.

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.

6.7 Projeto, montagem e inspeção de ligações com parafusos de alta resistência

6.7.1 Generalidades

6.7.1.1 Esta subseção refere-se ao projeto, à montagem e à inspeção de ligações feitas com parafusos de alta resistência ASTM A325 e ASTM A490.

6.7.1.2 As ligações destinadas a transferir forças paralelas à superfície de contato das partes ligadas podem ser por atrito ou por contato. As ligações nas quais o deslizamento seja altamente prejudicial e aquelas que estiverem sujeitas a forças repetitivas, com reversão de sinal, devem ser por atrito.

6.7.2 Parafusos, porcas e arruelas

6.7.2.1 Os parafusos devem estar em conformidade com as atuais especificações ASTM A325 ou ASTM A490. A especificação ASTM A325 prevê três tipos de parafusos de alta resistência, um dos quais com resistência à corrosão atmosférica comparável à do aço ASTM A588. O responsável pelo projeto deve especificar o tipo dos parafusos a serem utilizados. Para exigências relativas ao uso de parafusos ASTM A325 galvanizados, ver a ASTM A325; parafusos ASTM A490 não podem ser galvanizados.

6.7.2.2 As dimensões dos parafusos devem estar em conformidade com as atuais especificações da ASME B18.2.6 para parafusos estruturais pesados, de cabeça hexagonal. O comprimento do parafuso deve ser tal que, após a instalação, sua extremidade coincida com ou ultrapasse a face externa da porca; para isto é necessário dar uma folga no cálculo do comprimento, de modo a compensar as tolerâncias de execução do parafuso e da estrutura.

6.7.2.3 As dimensões das porcas devem estar em conformidade com as especificações da ASME B18.2.6 para porcas hexagonais pesadas.

6.7.2.4 Podem ser usados outros tipos de parafusos, desde que satisfaçam as prescrições relativas a material, processo de fabricação e composição química constantes na ASTM A325 ou ASTM A490, que atendam aos requisitos de propriedades mecânicas dessas mesmas especificações, com comprovações por ensaios em escala natural, e também que tenham diâmetro do fuste e áreas de contato sob a cabeça e porca, ou suas equivalentes, não inferiores aos valores correspondentes às exigências de 6.7.2.2 e 6.7.2.3 para um parafuso e porca de mesmas dimensões nominais. Os métodos de instalação e inspeção podem diferir dos indicados respectivamente em 6.7.4.3, 6.7.4.4, 6.7.4.5 e 6.7.5; nesse caso, tais métodos devem ser documentados por especificação detalhada, sujeita à aprovação do engenheiro responsável pelo projeto.

6.7.2.5 As arruelas planas circulares e arruelas biseladas quadradas devem estar em conformidade com as últimas especificações ASTM F436. As dimensões das arruelas são especificadas na ASME B18.2.6.

6.7.4.2 Arruelas

Adicionalmente às exigências de 6.7.3.1 e da Tabela 13, devem ser usadas arruelas endurecidas nas seguintes situações:

- c) sob o elemento que gira (porca ou cabeça do parafuso) durante o aperto;
- d) sob o elemento que não gira durante o aperto, no caso de parafusos A490, quando esse elemento assenta sobre um aço estrutural com resistência ao escoamento inferior a 280 MPa.

6.7.4.3 Aperto pelo método da rotação da porca

Quando for usado o método de aperto pela rotação da porca para aplicar a força de protensão mínima especificada na Tabela 15, deve haver número suficiente de parafusos na condição de pré-torque, de forma a garantir que as partes estejam em pleno contato. A condição de pré-torque é definida como o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um operário usando uma chave normal. Após essa operação inicial, devem ser colocados parafusos nos furos restantes e tais parafusos também levados à condição de pré-torque. Todos os parafusos da ligação devem então receber um aperto adicional, através da rotação aplicável da porca, como indicado na Tabela 16, devendo essa operação começar na parte mais rígida da ligação e prosseguir em direção às bordas livres. Durante essa operação, a parte oposta àquela em que se aplica a rotação não pode girar.

6.7.4.4 Aperto com chave calibrada ou chave manual com torquímetro

6.7.4.4.1 Não existe uma relação geral entre força de protensão em parafusos e torque aplicado durante o aperto da porca, devido a vários fatores, incluindo as condições de atrito nas superfícies com movimento relativo. Não podem ser usadas tabelas de torque baseadas em experiências passadas ou fornecidas em literatura técnica. Assim, as prescrições dadas em 6.7.4.4.2 devem ser obedecidas quando forem usados métodos de aperto baseados no torque.

6.7.4.4.2 As chaves calibradas, quando usadas, devem ser reguladas para fornecer uma protensão pelo menos 5 % superior à protensão mínima dada na Tabela 15. As chaves devem ser calibradas pelo menos uma vez por dia de trabalho, para cada diâmetro de parafuso a instalar. Elas devem ser recalibradas quando forem feitas mudanças significativas no equipamento ou quando for notada uma diferença significativa nas condições de superfície dos parafusos, porcas e arruelas. A calibração deve ser feita através do aperto de três parafusos típicos de cada diâmetro, retirados do lote de parafusos a serem instalados, em um dispositivo capaz de indicar a tração real no parafuso. Na calibração deve ser certificado que, durante a instalação dos parafusos na estrutura, a calibragem escolhida não produza uma rotação da porca ou da cabeça do parafuso, a partir da posição de pré-torque, superior à indicada na Tabela 16. Caso sejam usadas chaves manuais com torquímetro, quando o torque for atingido as porcas devem estar em movimento de aperto. Durante a instalação de vários parafusos na mesma ligação, aqueles já apertados previamente devem ser conferidos com a chave e reapertados caso tenham “folgado” durante o aperto de parafusos subsequentes, até que todos os parafusos atinjam o aperto desejado.

Tabela 16 — Rotação da porca a partir da posição de pré-torque ^a

Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça à extremidade)	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20 (sem arruela biselada)	Ambas as faces inclinadas em relação ao plano normal ao eixo do parafuso não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)
Inferior ou igual a 4 diâmetros	1/3 de volta	1/2 volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros, inclusive	1/2 volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros ^b	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

^a A rotação da porca é considerada em relação ao parafuso, sem levar em conta o elemento que está sendo girado (porca ou parafuso). Para parafusos instalados com 1/2 volta ou menos, a tolerância na rotação é de mais ou menos 30°; para parafusos instalados com 2/3 de volta ou mais, a tolerância na rotação é de mais ou menos 45°.

^b Nenhuma pesquisa foi feita para estabelecer o procedimento a ser usado para aperto pelo método da rotação da porca, para comprimentos de parafusos superiores a 12 diâmetros. Portanto, a rotação necessária deve ser determinada por ensaios em um dispositivo adequado que meça a tração, simulando as condições reais.

6.8 Bases de pilares

Informações para o projeto e o cálculo de bases de pilares podem ser obtidas em S.2. Quando aplicável, a ancoragem dos chumbadores no bloco de concreto deve obedecer às prescrições da ABNT NBR 6118.

12.3.1 Alinhamento de bases de pilares

As bases de pilares devem ser niveladas e posicionadas na elevação correta, estando em pleno contato com a superfície de apoio.

12.3.4 Alinhamento

As ligações permanentes soldadas ou parafusadas só devem ser completadas depois que a parte da estrutura, que vai se tornar rígida após a execução de tais ligações, for devidamente alinhada, nivelada e aprumada. Entretanto, a segurança durante a montagem deve ser garantida a todo momento.