

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

DANIEL ANTONIO ZAPARTY

APLICAÇÃO DO SOFTWARE CYPE NO PROJETO DE UM GALPÃO EM
ESTRUTURA METÁLICA

Xanxerê/SC

2023

DANIEL ANTONIO ZAPARTY

**APLICAÇÃO DO SOFTWARE CYPE NO PROJETO DE UM GALPÃO EM
ESTRUTURA METÁLICA**

Monografia apresentada ao
Curso de engenharia
mecânica do Câmpus
Xanxerê do Instituto Federal
de Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador:
Samuel Scheleski

Xanxerê/SC

2023

Z35a Zaparty, Daniel Antonio
Aplicação do software Cype no projeto de um galpão em estrutura metálica /
Daniel Antonio Zaparty; orientador: Samuel Scheleski. — Xanxerê, 2023.
60 p. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica).
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.
Inclui referências.

1. Produção. 2. Modelo de processos. 3. Planejamento. I. Scheleski, Samuel. II.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus
Xanxerê. III. Título.

DANIEL ANTONIO ZAPARTY

APLICAÇÃO DO SOFTWARE CYPE NO PROJETO DE UM GALPÃO EM
ESTRUTURA METÁLICA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

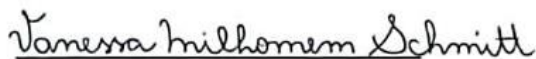
Xanxerê, 20, novembro e 2023.



Prof. Samuel Scheleski, Me.

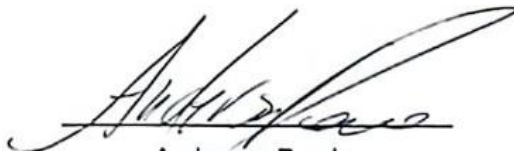
Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Vanessa Milhomem Schmitt, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina



Anderson Percio.

Engenheiro Mecânico

Dedico este trabalho aos meus pais, Antonio Primo Zaparty
e Natalina Pierog Zaparty, que acreditaram
em mim e, com imensa dedicação,
possibilitaram a minha educação.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha profunda gratidão à minha esposa Amanda, cujo apoio constante e motivação foram essenciais ao longo da minha jornada, contribuindo significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Além disso, sou imensamente grato ao meu filho Rafael, cuja presença diária me enche de alegria e motivação, mesmo com apenas um ano de idade, me ensina o valor de cada momento e transforma a minha perspectiva de vida.

Quero estender meus agradecimentos aos meus pais e ao meu irmão Samuel, que têm sido uma constante fonte de inspiração e apoio, estando ao meu lado em cada desafio e conquista.

A vocês, o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

Este artigo científico aborda o uso do software CYPE para dimensionar estruturas metálicas em galpões industriais. O estudo se justifica pela crescente adoção de estruturas metálicas na construção civil e a necessidade de eficiência e precisão no projeto estrutural. A pesquisa é de natureza descritiva e quantitativa, focada em explorar detalhadamente o software CYPE. Por meio de um estudo de caso com uma empresa especializada em estruturas metálicas, o software é aplicado para atender às normas técnicas brasileiras. Foram coletados os dados necessários para o dimensionamento para um posterior levantamento das cargas e das ações provenientes desta. Os componentes estruturais foram avaliados por meio de simulações e, quando necessário, substituídos para garantir a conformidade com as normas e otimização do uso de materiais. O artigo destaca a eficácia do software CYPE na automação do dimensionamento, melhorando a segurança e a precisão. Como perspectiva futura, considera-se o aprimoramento da estrutura e outras melhorias sem aumentar significativamente as dimensões das barras, mas sim o design estrutural das treliças, demonstrando a utilidade contínua do software na engenharia de estruturas metálicas.

Palavras-Chave: Dimensionamento. Estrutura. Cype.

ABSTRACT

This scientific article addresses the use of CYPE software to design metallic structures in industrial warehouses. The study is justified by the increasing adoption of metallic structures in civil construction and the need for efficiency and precision in structural design. The research is descriptive and quantitative in nature, focused on exploring the CYPE software in detail. Through a case study with a company specializing in metallic structures, the software is applied to meet Brazilian technical standards. The necessary data for sizing was collected for a subsequent survey of loads and actions arising from this. The structural components were evaluated through simulations and, when necessary, replaced to ensure compliance with standards and optimize the use of materials. The article highlights the effectiveness of CYPE software in automating sizing, improving safety and accuracy. As a future perspective, the improvement of the structure and other improvements is considered without significantly increasing the dimensions of the bars, but rather the structural design of the trusses, demonstrating the continued usefulness of the software in the engineering of metallic structures.

Keywords: Design. Structure. Cype.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Galpão Metálico	16
Figura 2 - Tipos de treliças	17
Figura 3 - Elementos de uma estrutura treliçada.....	18
Figura 4 - Modelo de galpão em estrutura mista	19
Figura 5 - Pilares Mistos.....	20
Figura 6 - Ligação Parafusada	22
Figura 7 - Ligação soldada.....	23
Figura 8 - Conectores de Cisalhamento.....	23
Figura 9 - Tipos de Base para colunas.....	24
Figura 10 - Velocidade básica V_0 (m/s).....	28
Figura 11 - Valores dos coeficientes de ponderação	30
Figura 12 - Valores dos fatores de combinação	31
Figura 13 - Fluxograma para um projeto típico.....	33
Figura 14 - Galpão sem a cobertura.....	36
Figura 15 - Galpão com fechamentos laterais e cobertura.....	37
Figura 16 - Fluxograma para o Estudo de Caso.....	38
Figura 17 – Seleção de Normas.....	40
Figura 18 - Preenchimento dos materiais e hipóteses adicionais.....	41
Figura 19 - Preenchimento dos materiais e hipóteses adicionais.....	42
Figura 20 - Coeficiente de pressão externa nas paredes.....	45
Figura 21 - Coeficiente de pressão externa no telhado.....	45
Figura 22 - Inserção de cargas aos panos	47
Figura 23 - Inserções de cargas às placas.....	47
Figura 24 - Simulação do projeto proposto	48
Figura 25 - Simulação após as adequações	51
Figura 26 - Deslocamentos máximos -Y	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Problema	13
1.3	Objetivos	13
1.3.1	Objetivo geral.....	13
1.3.2	Objetivo específico	13
2	DESENVOLVIMENTO	13
2.1	Aços em Estruturas Metálicas	14
2.1.1	Vantagens e Desvantagens do Aço em Estruturas.....	15
2.2	Características e Elementos Estruturais em Galpões	16
2.2.1	Elementos Estruturais.....	16
2.2.2	Elementos em Concreto	19
2.2.3	Conexões	21
2.2.4	Bases de Colunas.....	24
2.3	Ações Atuantes na Estrutura	25
2.3.1	Estados Limites	25
2.3.2	Ações Permanentes	26
2.3.3	Ações Variáveis	27
2.3.3.1	<i>Ação do Vento</i>	27
2.3.4	Ações Excepcionais.....	29
2.3.5	Majoração dos Esforços e Combinações de Ações.....	29
2.4	Projeto Estrutural e o Software CYPE 3D	32
2.4.1	CYPE.....	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Levantar os dados do galpão a ser dimensionado	39
3.2	Configuração e Modelagem do galpão no software CYPE 3D	40
3.2.1	Modelagem Estrutural.....	41
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
4.1	Levantamento das Ações Atuantes	43
4.1.1	Carga permanente.....	43
4.1.2	Sobrecarga	43
4.1.3	Ação do Vento	44
4.1.4	Lançamento das Ações	46
4.2	Dimensionamento dos elementos estruturais	48
4.2.1	Deslocamentos	51
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A – Deslocamentos Máximos NBR 8800	56
	ANEXO A – memorial de cálculo resumido	57

1 INTRODUÇÃO

O uso de softwares na engenharia é altamente benéfico para a análise e simulação de estruturas metálicas, permitindo uma maior eficiência no processo e economia de tempo e recursos. Este trabalho tem como objetivo estudar o software CYPE aplicado a uma estrutura metálica, abordando sua introdução e histórico, bem como a importância dos projetos para estruturas metálicas. Será apresentada uma justificativa para a realização deste estudo, além de objetivos gerais e específicos a serem abordados.

Segundo Pinheiro (2005), é possível observar na paisagem urbana o destaque existente das estruturas em aço. O aço, aliado a outros elementos da construção civil, permite ampliar a plasticidade arquitetônica em várias situações de projeto. De acordo com Cortez (2017), o uso de estruturas de aço na construção civil é uma tendência mundial há décadas, sendo que o Brasil segue essa tendência, embora de forma recente. O país vem despertando para o grande mercado da construção civil industrializada, que utiliza estruturas metálicas em edificações de múltiplos andares.

“O uso das estruturas metálicas proporcionou uma revolução nos padrões de engenharia e arquitetura, pois cada vez mais é necessário materiais e métodos que otimizem a qualidade e o tempo total gasto, desta forma as estruturas metálicas preenche essas lacunas por se tratar de um material de alta qualidade e de um método simples e de fácil aplicação tornando esse tipo de estrutura cada vez mais viável” (ALMEIDA, et al, 2021, p. 5).

Um galpão tem sua importância evidenciada devido a sua grande aplicabilidade, o autor D’alambert (2018), diz que galpões em estruturas metálicas são utilizados tanto para simples armazenagem como para a infraestrutura industrial de uma maneira geral, os galpões estruturados em aço oferecem inúmeras vantagens em relação a outras soluções, atendendo as mais diversas modulações e composições.

Segundo os autores Santos e Lima (2022), as estruturas metálicas apresentam características muito próprias e diferenciadas e devem ser observadas em todas as fases do processo construtivo. Para qualquer sistema construtivo é imprescindível a utilização de um projeto adequado realizado por profissionais capacitados e que atendam aos parâmetros estipulados pelas normas vigentes.

Segundo D’Alambert (2018), a rapidez e a racionalização são características da construção em aço, que trazem benefícios diretos para construtores e investidores através da redução dos prazos de execução das obras, também apresentando a

informação de que no mercado brasileiro da construção em aço, um dos segmentos que têm maior demanda é o de galpões.

1.1 Justificativa

O dimensionamento de estruturas metálicas diversas (pórticos, pontes, galpões, torres e etc.), além de uma das atribuições de um engenheiro mecânico, é um tema que traz recorrência de aplicabilidade em todo o mundo. O estudo para o dimensionamento de uma estrutura metálica junto da importância que um projeto adequado às normas e realizado por um profissional capacitado pode trazer uma melhor relação de custo-benefício e maior segurança da integridade estrutural.

“Aspecto fundamental da formação está relacionado com o estudo e a avaliação do comportamento dinâmico de sistemas estruturais correntes em engenharia civil (aço, concreto e sistemas mistos), tais como: pisos de edificações, pontes rodoviárias, passarelas de pedestres, torres de telecomunicações e de transmissão de energia etc. Essa formação também deve contemplar o projeto de pórticos industriais em seus aspectos estruturais e construtivos. Dentro desse âmbito, o estudo de ligações semirrígidas também se enquadra como um dos principais fatores para o melhor aproveitamento do aço” (ANDRADE, 2016).

Segundo Almeida (2017), o emprego das estruturas metálicas evidencia uma quebra de paradigmas em relação a sua utilização e se torna uma alternativa fundamental na construção civil, por trazer uma melhor relação custo-benefício em casos como obras comerciais e industriais, como shoppings centers e galpões, nos quais o tempo de execução é um fator determinante e influencia diretamente no retorno financeiro do empreendimento.

O autor Andrade (2016) aponta as vantagens das construções mistas (concreto e estrutura metálica), onde estas apresentam vantagens, como redução das seções de vigas de aço, economia de peso e altura total da estrutura. Essas vantagens são significativas em edifícios de vários pavimentos, pontes e viadutos. As vigas mistas são mais rígidas e resistentes que as de aço não mistas equivalentes. A principal desvantagem é o custo adicional relacionado à compatibilidade de deformações entre o concreto e o aço na interface. No entanto, considerando esse custo adicional, exceto para vigas com vãos curtos ou pouca carga, ele é sempre menor do que a redução de seção de aço obtida nas soluções mistas.

Os autores Santos e Lima (2022), afirmam que os projetos de estruturas metálicas apresentam diversos detalhes que devem ser seguidos à risca para que a estrutura não apresente falhas. Estes detalhes vão desde a especificação do aço, até

a especificação da solda que deve ser realizada. É importante destacar que estes detalhes são essenciais para um bom funcionamento da estrutura, mesmo que pareçam irrelevantes para uma pessoa leiga na teoria das estruturas.

O software CYPE é uma aplicação BIM para o projeto que aplica a norma brasileira NBR 8800 e demais normas quanto as ações atuantes, realizando análise e dimensionamento de estruturas de edifícios e de obras de infraestrutura. Para a utilização, foi entrado em contato com a empresa que disponibilizou o acesso por 6 meses ao programa para fins acadêmicos, bem como informações e manuais.

1.2 Problema

A aplicabilidade de galpões em diversas áreas, justifica a grande quantidade de composições existentes, especialmente em suas dimensões e elementos construtivos, além disso, o local onde uma estrutura metálica está sendo instalada também influencia no dimensionamento devido às ações do vento serem diferentes para cada região do mundo, fazendo com que não exista um modelamento padrão para o projeto dessas estruturas. Assim, esse trabalho de conclusão de curso visa analisar e aplicar o software CYPE para o dimensionamento de uma estrutura específica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Aplicar o software CYPE no dimensionamento de um galpão em estrutura metálica.

1.3.2 Objetivo específico

- Levantar os dados do galpão a ser dimensionado;
- Configuração e Modelagem do galpão no software CYPE 3D;
- Levantamento das Ações Atuantes;
- Dimensionamento dos elementos estruturais.

2 DESENVOLVIMENTO

Para a compreensão do tema deste trabalho, é fundamental realizar o estudo e apresentar referências teóricas que sustentem o que será investigado. Neste capítulo, serão tratadas as estruturas metálicas, desde suas principais características e elementos estruturais até as estruturas mais comuns para a aplicação em questão.

Além disso, serão apresentados os fundamentos de cálculo e dimensionamento de estruturas metálicas de acordo com as normas técnicas.

2.1 Aços em Estruturas Metálicas

Para estabelecer algumas definições, Pfeil (2021) afirma que o aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, contendo outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre; e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material, denominados elementos de liga.

Segundo Souza (1989), o aço-liga é um aço com suficientes elementos químicos adicionados a ele para modificar as propriedades de um aço-carbono simples. O carbono é o principal elemento adicionado para aumentar a dureza e resistência mecânica do ferro, especialmente após os tratamentos térmicos.

Determinar o material correto para uma aplicação de engenharia é um fator de grande importância para garantir a integridade do que está sendo projetado. Segundo Ferraz (2003), “Suas propriedades são de fundamental importância, especificamente no campo de estruturas metálicas, cujo projeto e execução nelas se baseiam”, este autor ainda apresenta os principais requisitos para aços aplicados à aplicação estrutural, sendo eles:

- Elevada tensão de escoamento para prevenir a deformação plástica generalizada;
- Elevada tenacidade para prevenir fratura rápida (frágil) e catastrófica;
- Boa soldabilidade para o mínimo de alterações das características do material na junta soldada;
- Boa formabilidade para o material ou a peça que necessitar receber trabalho mecânico;
- Custo reduzido.

Atendendo a norma NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), os aços utilizados devem ser adotados os seguintes valores de propriedades mecânicas:

- a) módulo de elasticidade, $E = 200\ 000\ \text{MPa}$;
- b) coeficiente de Poisson, $\nu = 0,3$;
- c) módulo de elasticidade transversal, $G = 77\ 000\ \text{MPa}$;

d) coeficiente de dilatação térmica, $\beta_a = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

e) massa específica, $\rho_a = 7\ 850 \text{ kg/m}^3$

2.1.1 Vantagens e Desvantagens do Aço em Estruturas

O autor Silva e Pannoni (2010), explica que é comum, na área das estruturas de aço, não haver soluções estruturais preestabelecidas, mas alternativas a serem escolhidas para cada obra em função do uso e da funcionalidade, da concepção arquitetônica e da economia. Para todas as alternativas há vantagens e desvantagens” (SILVA e PANNONI, 2010).

Segundo Almada *et al.* (2021), a estrutura metálica é bem compensatória, uma vez que a diferença de preço, se comparada com madeira e concreto armado, é amplamente diluída no processo de fabricação e montagem, na qualidade e na economia de tempo.

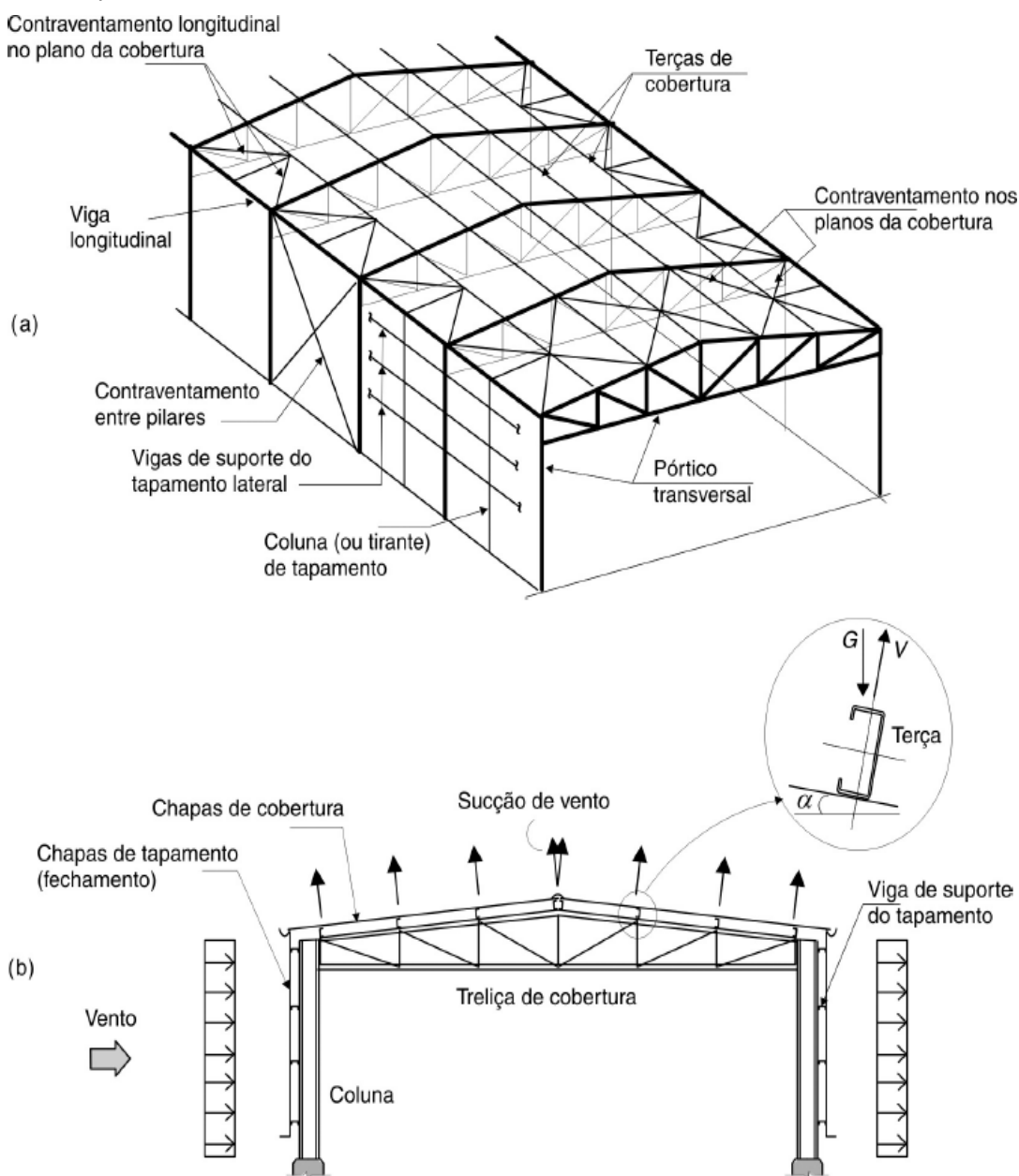
O autor Moreira *et al.* (2019), observa que a utilização deste método construtivo agrega muitas vantagens, pois o uso de estruturas metálicas, se comparado com estruturas convencionais de concreto armado, além de reduzir o peso do sistema como um todo, também possibilita uma maior variedade de arranjos arquitetônicos e menor tempo na incorporação do projeto, atendendo melhor às necessidades dos clientes.

2.2 Características e Elementos Estruturais em Galpões

2.2.1 Elementos Estruturais

“Uma estrutura é um conjunto de elementos construtivos concebido para suportar esforços” (SILVA, 2010). Para tanto, A Figura 1 (a), ilustra o esquema de um galpão, trazendo a nomenclatura dos elementos estruturais em uma vista ortogonal, esta, complementada pela Figura 1 (b), com a indicação desses elementos com o galpão em uma vista frontal.

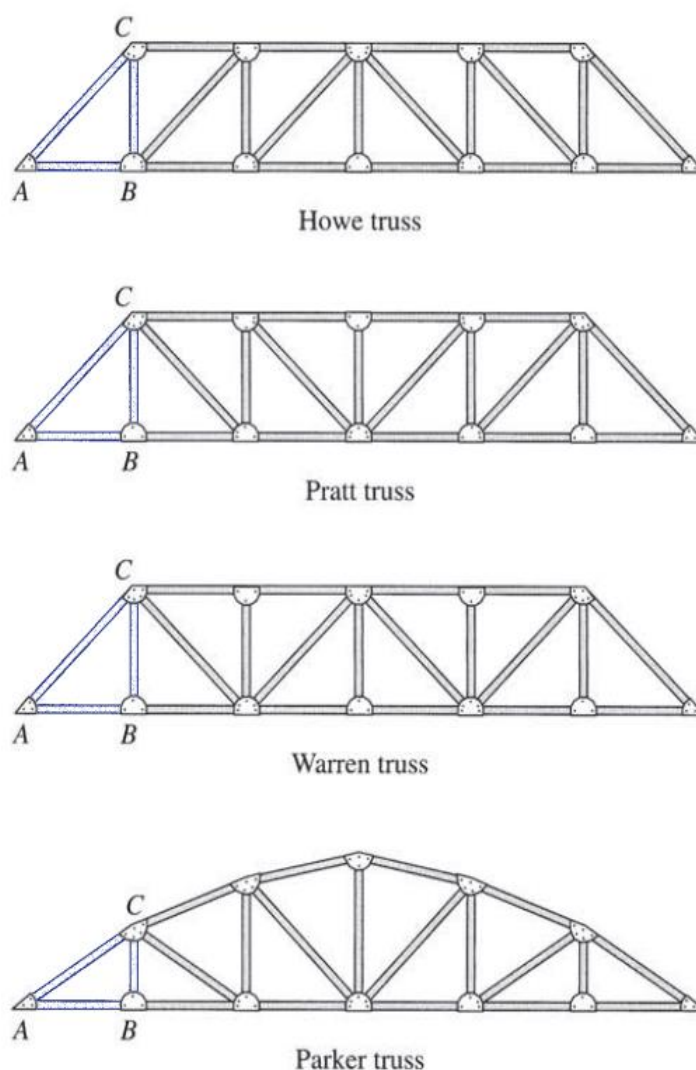
Figura 1 - Galpão Metálico



Fonte: Pfeil, 2021.

Existem diversos modelos possíveis para uma treliça, ou tesoura, como também é conhecido, Pfeil (2021) diz que uma treliça é um sistema utilizado tipicamente em coberturas de edifícios industriais (galpões). Nesse tipo de estrutura treliçada, as hastes trabalham predominantemente por tração ou compressão simples. Segundo o autor Kassimali (2020), as treliças consistem em formas estruturais de aço ou alumínio ou suportes de madeira, para chapas de reforço por conexões aparafusadas ou soldadas, para uma cobertura suportada por treliças planas. Neste caso, duas ou mais treliças são conectadas em suas juntas por vigas, denominadas terças, para formar uma tridimensional estrutura, a Figura 2 mostra treliças comumente utilizadas para coberturas e pontes.

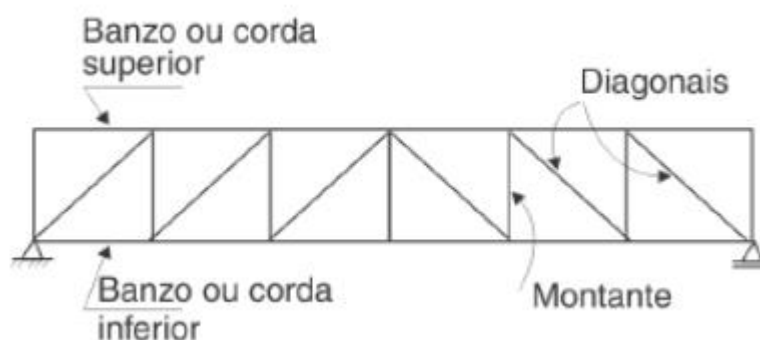
Figura 2 - Tipos de treliças



Fonte: Kassimali, 2020.

Segundo Silva e Pannoni (2016), as treliças são estruturas de grande rigidez, pois os deslocamentos de seus nós dependem somente da deformação axial. No caso dos pórticos, os deslocamentos nodais podem ser função tão somente de deformação axial, mas também de deformação por flexão. Os elementos de uma treliça são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Elementos de uma estrutura treliçada



Fonte: Silva e Pannoni, 2016

Terças e Vigas Longitudinais, Segundo Pfeil (2021), estão dispostas nos planos da cobertura e destinadas a transferir à estrutura principal as cargas atuantes naqueles planos, tais como peso do telhamento e sobrepressões e sucção devido ao vento.

Segundo Silva e Pannoni (2010), pórtico é uma subestrutura formada por pilares e vigas coplanares sujeitas a forças no mesmo plano. A constituição de um pórtico pode adotar diferentes tipologias, como com pilares e vigas de perfis maciços, chamado de alma cheia, e pilares treliçados, como é mostrado na imagem abaixo, onde também há a ligação de um pilar de apoio acima do pilar treliçado para a instalação de uma ponte rolante (PRAVIA; DREHMER; JÚNIOR, 2018).

Segundo Matos (2014), contraventamentos são elementos estruturais compostos por barras adicionadas às estruturas com a finalidade de reduzir ou impedir deslocamentos horizontais, utilizados principalmente para fornecer estabilidade às estruturas que sofrem ação do vento, podem ser utilizados na vertical (travamento de vigas e pilares) ou na horizontal (travamento de coberturas).

Sobre a cobertura, os autores Pravia; Drehmer e Júnior (2018), dizem que inclinação do telhado é definida pelo tipo de telha na cobertura e que o espaçamento entre terças para telhas trapezoidais pode ser definido consultando os manuais do

fabricante para cada tipo de espessura, a ABNT NBR 8800 define que: “Todas as coberturas e pisos de edifícios sujeitos ao recebimento de água de chuva, com inclinação inferior a 5% devem ser verificados” (ABNT, 2008)

2.2.2 Elementos em Concreto

O modelo de estrutura mostrado na Figura 4 trata-se de um galpão em estrutura mista, termo que é geralmente empregado para caracterizar sistemas estruturais que utilizam elementos estruturais de concreto e perfis de aço soldados, laminados ou em chapa dobrada ligados mecanicamente por conectores de cisalhamento.

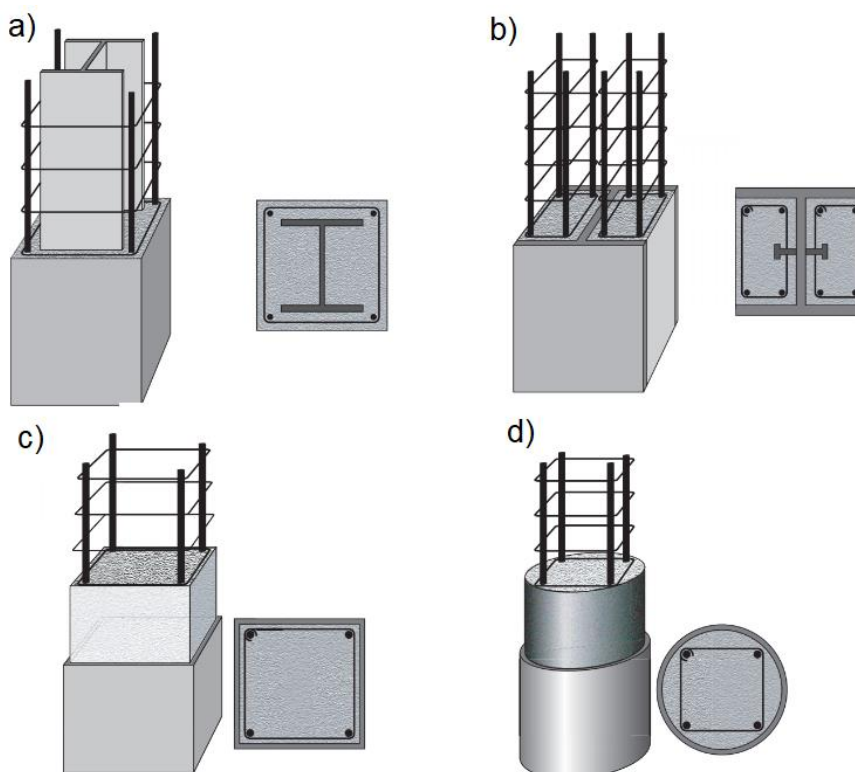
Figura 4 - Modelo de galpão em estrutura mista



Fonte: Ledstar, 2023.

O autor Silva (2010) diz que pilares mistos oferecem vantagens de maior resistência, rigidez e resistência ao fogo. Esses elementos são apresentados na Figura 5, como descritos na NBR 8800, onde está, faz uma recomendação para que sejam: a) Pilar totalmente revestido, b) Pilar parcialmente revestido, c) Pilar preenchido tubular retangular, c) circular.

Figura 5 - Pilares Mistos



Fonte: Adaptado de Silva, 2010.

O autor Mois (2020) define vigas como perfis metálicos laminados, soldados ou tubulares geralmente submetidos à tração e trabalhando em conjunto com a laje. Esses perfis podem ser revestidos por concreto ou não, sendo os primeiros menos suscetíveis à flambagem lateral devido ao efeito de contraventamento exercido pelo concreto estrutural sobre o aço. As vigas, mais comumente na forma de perfis "I" ou "H", podem apresentar simetria simples ou simetria dupla em torno de seu eixo principal, o que altera completamente seu comportamento dependendo da carga aplicada.

Segundo Pfeil (2021), a utilização de vigas mistas em estruturas de edifícios e pontes, onde a laje desempenha suas funções de forma eficiente, resulta em soluções econômicas. Um sistema comumente empregado é o de vigas com fôrma metálica incorporada à seção, onde a concretagem da laje é realizada sobre chapas de aço corrugadas que permanecem incorporadas à viga mista após o endurecimento do concreto. Com as nervuras da chapa paralelas ou perpendiculares ao eixo da viga, a aderência proporcionada pelas endentações e mossas da chapa permite que ela atue

como armadura da laje de concreto, além de funcionar como escoramento. Essa abordagem resulta em um sistema estrutural altamente eficiente e econômico de laje mista em aço e concreto.

As lajes mistas podem ser encontradas no mercado em diferentes configurações, com suas principais variações sendo a geometria e o comportamento das chapas de aço, presentes na interface dos elementos que as compõem. As lajes maciças são constituídas por barras de aço em ambas as direções principais, funcionando de forma semelhante a uma laje de concreto sem a presença de perfil metálico. Por outro lado, as lajes nervuradas possuem a chapa de aço colaboradora, atuando exclusivamente na direção das nervuras da chapa. (MOIS, 2020)

2.2.3 Conexões

Para Silva e Pannoni (2010), o projeto da conexão entre vigas e pilares pode influenciar significativamente no custo da estrutura. Ele deve ser concebido considerando-se: o comportamento da conexão, limitações construtivas, facilidade de fabricação e montagem.

Os tipos de conexões comumente utilizada para estruturas metálicas podem ser divididas entre conexões rígidas e conexões flexíveis ou articuladas, segundo o autor Kassimali (2020), conexões ou juntas fixas evitam rotação e translação dos membros conectados, sendo assim, essas conexões quando expostas a tensões são capazes de transmitir forças bem como momentos para a estrutura. Já as conexões articuladas evitam apenas a translação, sendo capazes de transmitir forças mas não momentos, essas considerações idealizam uma junta perfeitamente rígida ou flexível, mas podem ser levadas em consideração para estruturas metálicas, já que as conexões soldadas e parafusadas, quando em estruturas metálicas planejadas, se comportam como o idealizado.

Segundo Vasconcellos (2011), as ligações podem ser classificadas em soldadas ou parafusadas. Os elementos de ligação são todos os componentes incluídos no conjunto para permitir ou facilitar a transmissão dos esforços:

- Enrijecedores;
- Chapas de ligação;
- Placas de base;

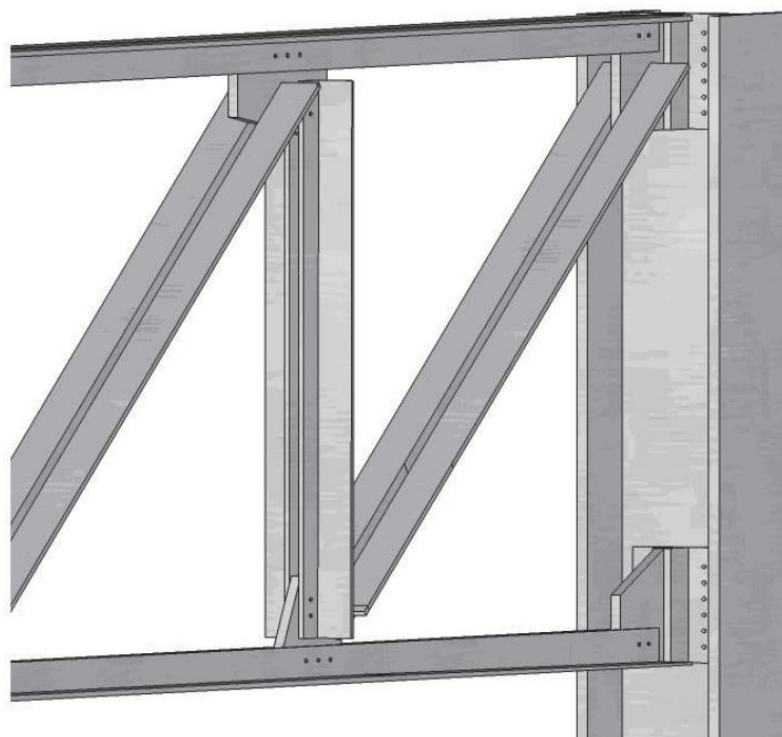
- Cantoneiras;
- Consolos;
- Talas de emenda e parte das peças ligadas envolvidas localmente na ligação.

Ainda segundo o Vasconcellos (2011), os meios de ligação são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação:

- Soldas;
- Parafusos;
- Barras redondas rosqueadas;
- Pinos.

A Figura 6 apresenta uma ligação parafusada de conexão da tesoura com alma de perfil I em um perfil de alma cheia, utilizada em estruturas metálicas.

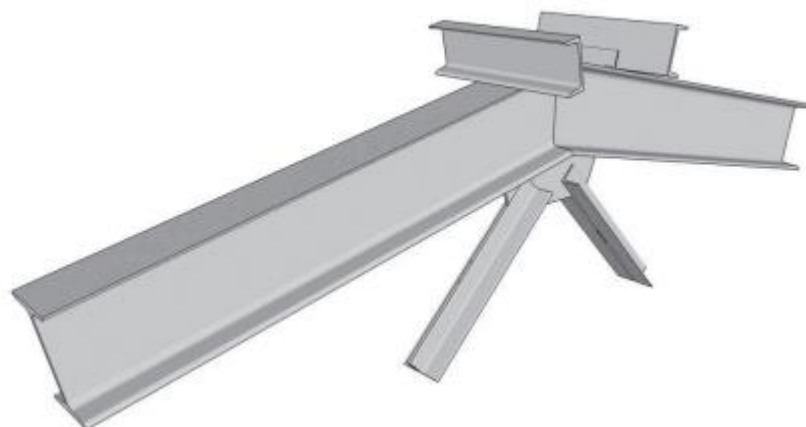
Figura 6 - Ligação Parafusada



Fonte: Pravia, Drehmer e Júnior, 2018

Na Figura 7 é uma ligação soldada das terças centrais de uma cobertura à tesoura, as telhas usadas para essa finalidade são chamadas de cumeiras. (PRAVIA; DREHMER; JÚNIOR, 2018).

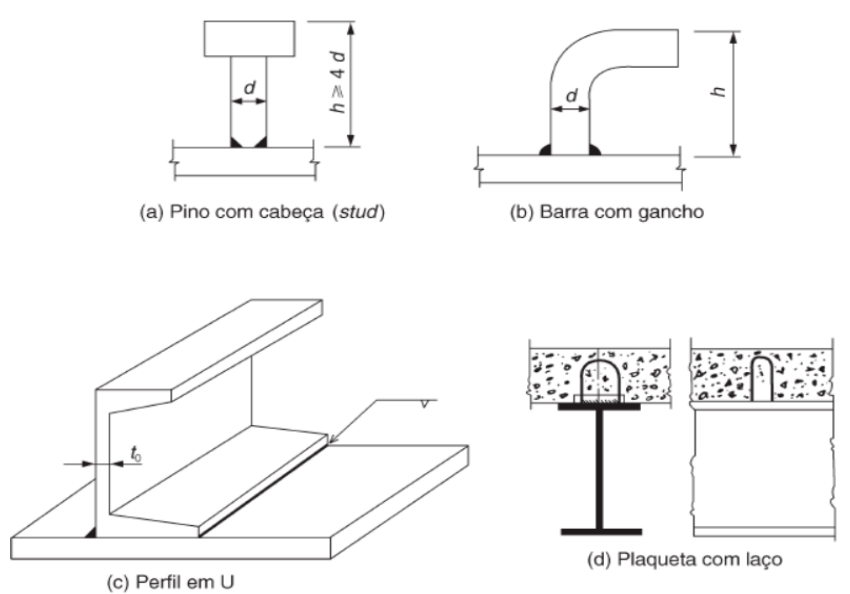
Figura 7 - Ligação soldada



Fonte: Pravia, Drehmer e Júnior, 2018

Os conectores de cisalhamento são elementos mecânicos projetados para garantir a interação eficiente entre a seção de aço e a laje de concreto. Esses conectores são responsáveis por absorver os esforços cisalhantes horizontais que ocorrem na direção longitudinal na interface entre a laje e a mesa superior da seção de aço, evitando a separação física desses componentes. Diferentes formas construtivas são empregadas para desempenhar essas duas funções, a Figura 8, mostra tipos de conectores. (Pfeil, 2021)

Figura 8 - Conectores de Cisalhamento



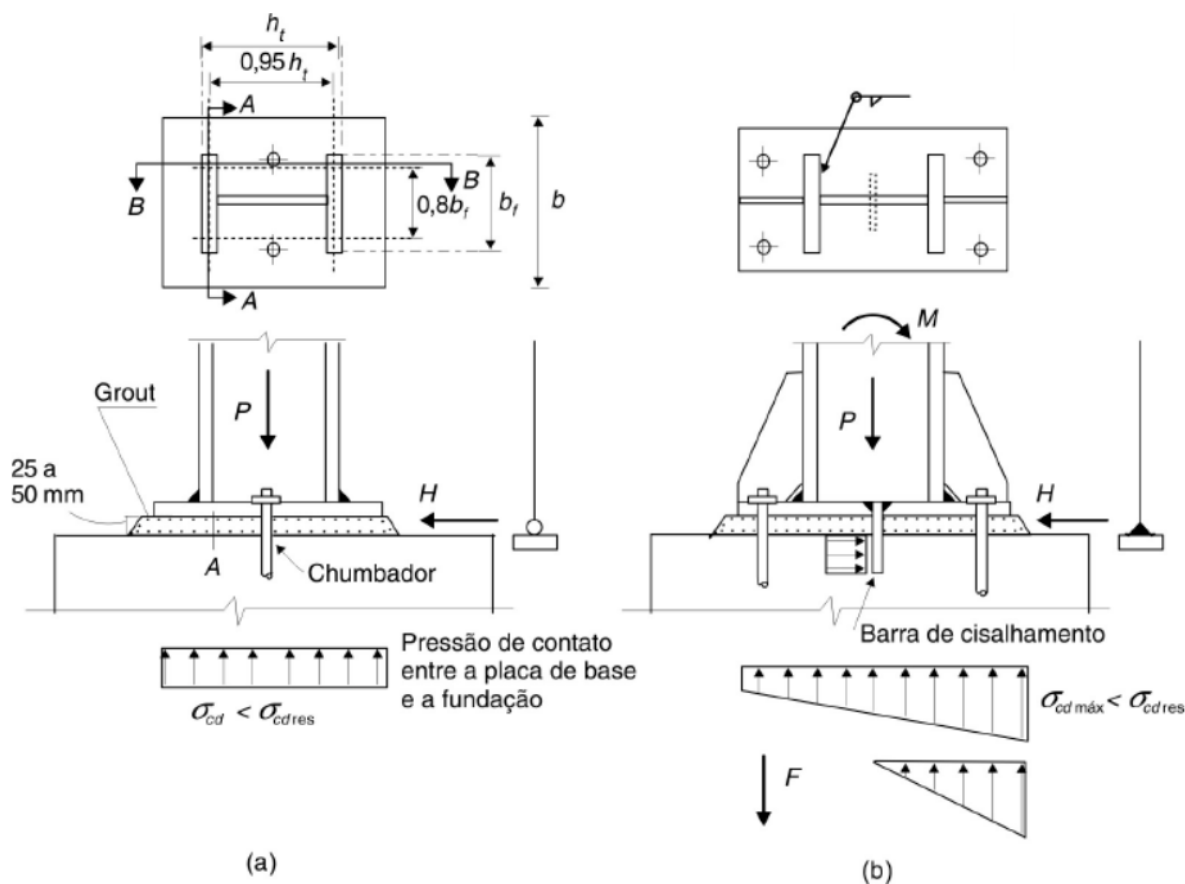
Fonte: Pfeil, 2021.

2.2.4 Bases de Colunas

Segundo Pfeil (2021), as bases podem ser divididas quanto ao tipo de forças transferidas ao solo, essas bases são apresentadas na Figura 9, sendo elas:

- Bases destinadas a transferir à fundação forças de compressão e de corte: A base da coluna é considerada rotulada na fundação, adota-se adotando-se ancoragens construtivas convencionais.
- Bases para transferência de momento à fundação, além da força vertical e horizontal: A resultante de tração é absorvida pelos tirantes de ancoragem (chumbadores), é utilizada apenas para pequenas excentricidades de carga, onde as tensões de compressão se estendem por toda a superfície de contato, bastando adotar ancoragens construtivas.

Figura 9 - Tipos de Base para colunas



Fonte: Pfeil (2021)

2.3 Ações Atuantes na Estrutura

O objetivo dos dimensionamentos estruturais para estrutura, é de projetar uma estrutura capaz de resistir a todas as cargas a que for exposta. O autor Kassimali (2020), diz que as cargas mínimas de projeto e as combinações de cargas para as quais as estruturas devem ser projetadas são geralmente especificadas em normas de construção

“Estados limites são estados a partir dos quais uma estrutura não mais atende aos objetivos para os quais foi projetada. Existem dois tipos básicos de estados limites: os últimos (ou de ruína) e os de utilização” (ANDRADE, 2016).

Segundo Kassimali (2020), além de estimar a magnitude das cargas de projeto, um engenheiro deve considerar a possibilidade de que algumas dessas cargas possam agir simultaneamente sobre a estrutura.

Para o estabelecimento das regras de combinação das ações, se faz uso da norma regulamentadora NBR 8681 (ABNT, 2003), que estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, estas são classificadas segundo sua variabilidade no tempo em três categorias:

- Ações permanentes;
- Ações variáveis;
- Ações excepcionais.

2.3.1 Estados Limites

Para os efeitos da norma regulamentadora NBR 8800 (ABNT, 2008), devem ser considerados os estados-limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS). Os estados-limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional. As condições usuais de segurança referentes aos estados-limites últimos, quando é verificada isoladamente em relação a cada um dos esforços atuantes é:

$$R_d \geq S_d \quad (1)$$

- S_d : Valores de cálculo dos esforços atuantes;
- R_d : Valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes.

Para Andrade (2016), os estados limites últimos, ocorrem quando parte da estrutura, ou a estrutura como um todo, atinge a ruína. Esses estados limites possuem baixa probabilidade de ocorrer durante o período previsto para a vida útil da estrutura. Também corroborando com o autor anteriormente citado Pfeil (2021), “Os estados limites últimos estão associados à ocorrência de cargas excessivas e consequente colapso da estrutura em razão de, por exemplo:”

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

Ainda segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), os estados-limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização. As condições usuais referentes aos estados-limites de serviço são expressas por desigualdades do tipo:

$$S_{ser} \leq S_{lim} \quad (2)$$

- S_{ser} : Valores dos efeitos estruturais de interesse;
- S_{lim} : Valores-limites adotados para esses efeitos

Onde, se um ou mais estados-limites forem excedidos, a estrutura não atende mais aos objetivos para os quais foi projetada.

2.3.2 Ações Permanentes

Ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção, as ações permanentes são subdivididas em diretas e indiretas e devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança. As ações permanentes diretas são: peso próprio da estrutura, pesos próprios dos elementos construtivos fixos, instalações permanentes e empuxo de terra. Já as ações permanentes indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio

(somente precisam ser considerados quando gerarem esforços significativos em relação ao conjunto das outras ações) e imperfeições geométricas. (ABNT, 2008)

2.3.3 Ações Variáveis

As ações variáveis comumente existentes são causadas pelo uso e ocupação da edificação, como as ações decorrentes de sobrecargas em pisos e coberturas, de equipamentos e de divisórias móveis, de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela ação do vento e pela variação da temperatura da estrutura (causados pela variação da temperatura da atmosfera e pela insolação direta). Os esforços causados pela ação do vento devem ser determinados de acordo com a ABNT NBR 6123. (ABNT, 2008)

2.3.3.1 Ação do Vento

Segundo Kassimali (2020), as cargas de vento são produzidas pelo fluxo de vento ao redor da estrutura. As magnitudes das cargas de vento que podem atuar sobre uma estrutura dependem da localização geográfica. As cargas do vento serão apresentadas a seguir fazendo uso da norma NBR 6123, utilizando-se da versão mais recente “corrigida 2:2013”. (ABNT, 2013)

Para a determinação das forças estáticas devidas ao vento deve-se determinar o valor da velocidade básica do vento (V_0), que é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. Em seguida determinar a velocidade característica do vento (V_k) e por fim a pressão dinâmica. A velocidade característica do vento e a pressão dinâmica são calculadas a partir das seguintes equações:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (3)$$

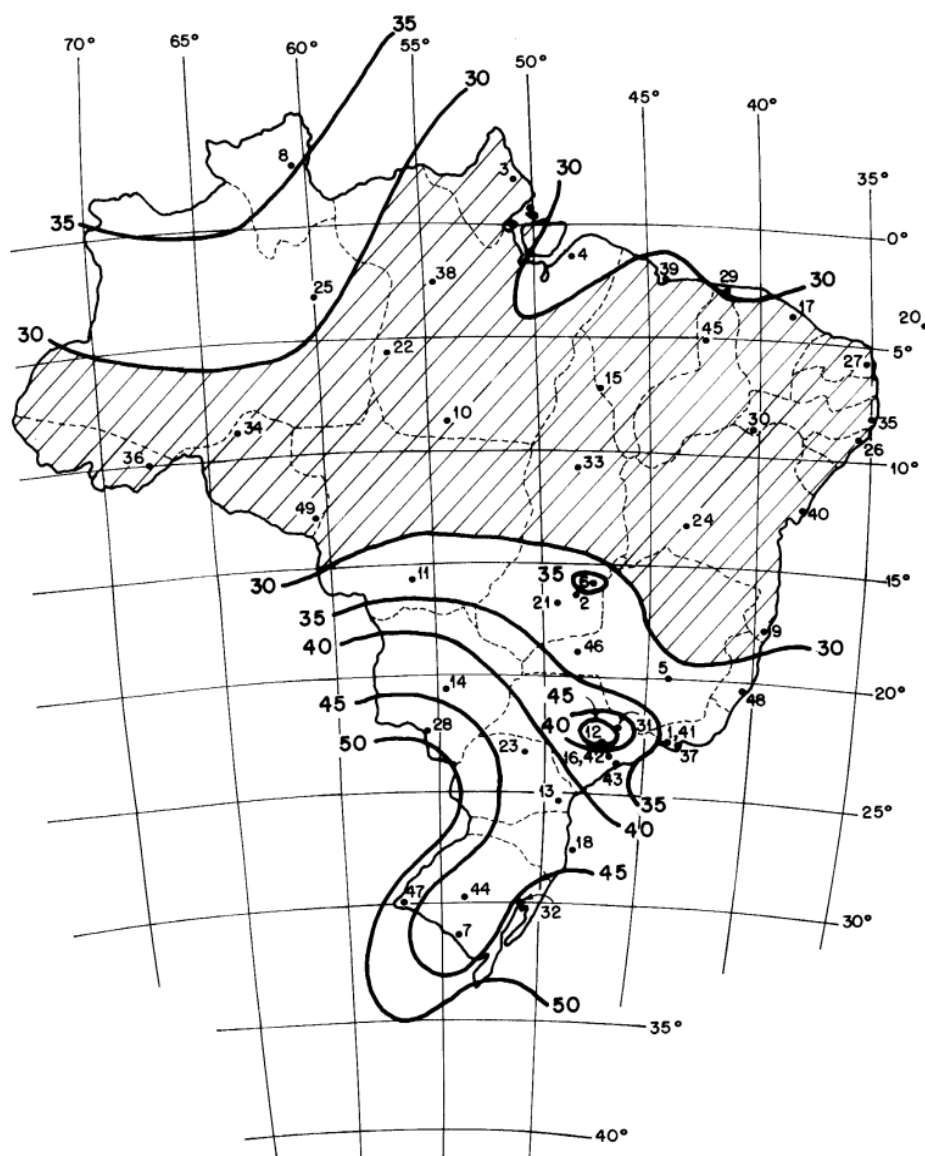
$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (4)$$

Onde,

- V_k : Velocidade característica do vento;
- V_0 : Velocidade básica do vento;
- S_1 : Fator topográfico;
- S_2 : Fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;
- S_3 : Fator estatístico;
- q : Pressão dinâmica.

Como regra geral, é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal. Para determinar a velocidade básica do vento, a Figura 10 apresenta um mapa do Brasil que indica as condições de vento em suas diferentes regiões, conforme especificado na norma NBR 6123.

Figura 10 - Velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: (ABNT, 2013)

A partir da localização do ponto onde a construção será executada e com a determinação de V_0 segue-se para a determinação e cálculos dos fatores S. Onde o fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno (para terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$).

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração, sendo necessário diversas considerações quanto a essas condições. Já o fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Por fim, a forma da construção e ângulo de ação do vento é considerada, sendo determinados os coeficientes aerodinâmicos de pressão e de forma, para isso a norma fornece diversas tipologias de construção tabeladas, a que devem ser avaliadas para o uso dos dados de forças em posteriores cálculos de dimensionamento.

2.3.4 Ações Excepcionais

Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção, como: explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos excepcionais. (ABNT, 2008)

2.3.5 Majoração dos Esforços e Combinações de Ações

O autor Kassimili (2020), diz que em uma estrutura elástica linear, o efeito combinado de várias cargas atuando simultaneamente é igual à soma algébrica dos efeitos de cada carga atuando individualmente.

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), um carregamento é definido pela combinação das ações que deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Para o efeito de cálculos e seguimento das normas, as informações a seguir foram retiradas da norma NBR 8800.

Para as ações que não tenham sua variabilidade adequadamente expressa por distribuições de probabilidade, os valores característicos são substituídos por valores característicos nominais, dado por:

$$\gamma_f = \gamma_{f1}\gamma_{f2}\gamma_{f3} \quad (5)$$

Onde,

- γ_{f1} : Considera a variabilidade das ações;
- γ_{f2} : Considera a simultaneidade de atuação das ações;
- γ_{f3} : Considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações, seja por problemas construtivos, seja por deficiência do método de cálculo empregado, de valor igual ou superior a 1,10.

Os coeficientes de ponderação das ações no estado-limite último para os valores de $\gamma_{f1} * \gamma_{f3}$ e para γ_{f2} , e o coeficiente γ_{f2} é igual ao fator de combinação ψ_0 . Tais dados dispõem de tabelas na norma e são apresentados a seguir nas Figuras 11 e 12, onde o valor do coeficiente de ponderação de cargas permanentes de mesma origem, num dado carregamento, deve ser o mesmo ao longo de toda a estrutura. (ABNT, 2008)

Figura 11 - Valores dos coeficientes de ponderação

Ações	Combinações		
	Normais	Especiais ou de construção	Excepcionais
Peso próprio de estruturas metálicas	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)	1,10 (1,00)
Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)	1,15 (1,00)
Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	1,35 (1,00)	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)
Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)
Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1,50 (1,00)	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)
Deformações impostas por recalques de apoio, imperfeições geométricas, retração e fluência do concreto	1,20 (1,00)	1,20 (1,00)	0 (0)
Efeito de temperatura	1,20	1,00	1,00
Ação do vento	1,40	1,20	1,00
Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação	1,50	1,30	1,00

Fonte: (Pfeil, 2021)

Figura 12 - Valores dos fatores de combinação

Ações		Ψ_{r2}		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ⁽¹⁾	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ⁽²⁾	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Fonte: (Pfeil, 2021)

As combinações de ações assim definidas são utilizadas para verificação dos estados limites de serviço conforme o rigor com que se deseja aplicar os valores limites dos efeitos verificados. Um carregamento é definido pela combinação das ações, aplica-se a seguinte expressão para combinações últimas normais:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (6)$$

- $F_{Gi,k}$ Representa os valores característicos das ações permanentes;
- $F_{Q1,k}$ É o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;
- $F_{Qj,k}$ Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

Dependendo da necessidade, além da equação apresentada, podem ser utilizadas equações para os carregamentos especiais (atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especial), Combinações últimas de construção (riscos de

ocorrência de estados-limites últimos durante a fase de construção) e Combinações últimas excepcionais (carregamento excepcional transitório, com duração extremamente curta).

Já as combinações de serviço são classificadas de acordo com sua permanência na estrutura em quase permanente, frequentes e raras. Onde, as combinações quase permanentes são aquelas que podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, as combinações frequentes de serviço se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura, da ordem da 10^5 vezes em 50 anos, por fim, as combinações raras de serviço são aquelas que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura.

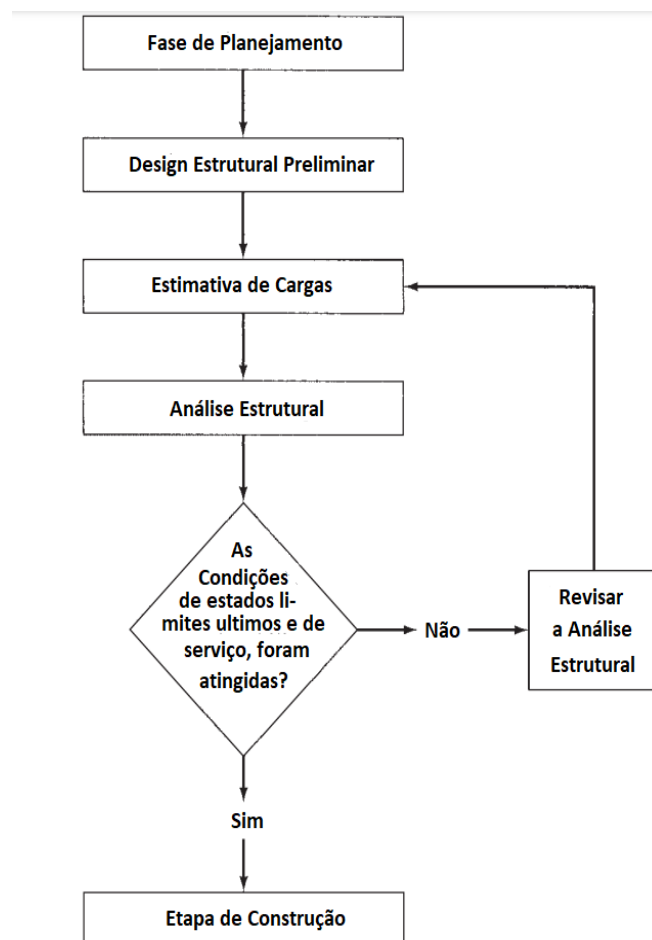
2.4 Projeto Estrutural e o Software CYPE 3D

Para Pfeil (2021), as etapas de um projeto, em específico, estrutural podem ser reunidas em três fases:

- a) Anteprojeto ou projeto básico, quando são definidos o sistema estrutural, os materiais a serem utilizados, o sistema construtivo.
- b) Dimensionamento ou cálculo estrutural, fase na qual são definidas as dimensões dos elementos da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura.
- c) Detalhamento, quando são elaborados os desenhos executivos da estrutura contendo as especificações de todos os seus componentes.

O planejamento de projeto e construção faz parte da ciência da engenharia estrutural, para o planejamento de estruturas metálicas o autor Kassimali (2020), dizendo que a análise envolve os requisitos funcionais, layout e dimensões da estrutura e o tipo de estrutura, como exemplo para estruturas em aço as estruturas rígidas ou treliçadas, para isso o autor apresenta um fluxograma de fases para um projeto típico de engenharia estrutural, mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma para um projeto típico



Fonte: Adaptado de Kassimali, 2020

Segundo Pahl (2005), entende-se por detalhamento a parte do projeto, que complementa a estrutura de construção para um objeto técnico, por meio de prescrições definitivas para a forma, o dimensionamento e o acabamento superficial de todos os componentes. O resultado do detalhamento é a definição da técnica de produção da solução, incluindo a compilação das indicações para sua utilização (documentação do produto).

2.4.1 CYPE

A evolução das demandas da engenharia impulsionou o desenvolvimento de novas ferramentas, incluindo o Building Information Modeling (BIM). O BIM é um processo que utiliza um modelo virtual tridimensional do empreendimento para facilitar a validação e execução de projetos, desde o planejamento até a construção e gestão. Ao antecipar incompatibilidades, melhorar o planejamento e a execução, e fornecer

informações para operação e manutenção, o BIM reduz os custos e permite a análise e simulação do modelo virtual antes da construção física. Além disso, a implementação do BIM requer definir seus principais usos, como visualização, melhor comunicação entre disciplinas e orçamento mais assertivo. O processo BIM também oferece benefícios ao transporte do modelo para análises, visualização e documentação do projeto. (CARDOSO, 2020)

O software CYPE é um programa para computador desenvolvido pela Cype Ingenieros, uma empresa espanhola com mais de 35 anos de experiência em Arquitetura, Engenharia e Construção. Como referencial bibliográfico, serão utilizadas as informações contidas no site oficial da empresa no Brasil (cype.pt), que disponibiliza cursos, videoaulas, catálogos, manuais de uso e exemplos práticos de dimensionamento. Esse software é uma aplicação BIM para projetos, utilizado para cálculos estruturais por milhares de escritórios técnicos e órgãos de controle em todo o mundo, o software desenvolvido pela CYPE garante a máxima confiabilidade nos cálculos e permite que os usuários proponham soluções técnicas e econômicas para o projeto.

Esse software tem como principal argumento para utilização a compatibilidade com as normas brasileiras para dimensionamento em estruturas de aço, sendo a principal delas a NBR 8800, além de cálculos em três dimensões de barras de aço, alumínio e madeira, fornecendo as resultantes de forças e deslocamentos com base em um dimensionamento automático. Possui também um grande banco de dados de perfis de aços laminados, soldados e formados a frio. A estrutura pode igualmente ser redesenhada e, portanto, obter sua otimização máxima.

O método aplicado pelo software é de análise linear elástica usando fórmulas matriciais, com análises de 2º grau. O autor Ribeiro (2014), explica de forma breve a aplicação desse método, onde a solução completa é obtida pela combinação da distribuição individual e aproximada de deslocamentos e tensões de modo a satisfazer o equilíbrio de forças e a compatibilidade de deslocamentos nas junções dos elementos inicialmente idealizados com uma montagem de elementos estruturais discretos com formas presumidas da distribuição de deslocamentos e tensões. As equações que regem o problema a resolver são formuladas matricialmente, seja a partir de equações de equilíbrio de forças ou de compatibilidade de deslocamentos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a pesquisa e execução deste projeto quanto sua natureza, objetivo, método e técnicas de coleta de dados empregados. Assim, a metodologia deste trabalho é classificada quanto a sua natureza como uma pesquisa aplicada, que “tem por objetivo a produção de conhecimentos que tenham aplicação prática e dirigidos à solução de problemas reais específicos, envolvendo verdades e interesses locais” (NEVES, 2007).

A pesquisa adotada neste estudo é de natureza descritiva, concentrando-se na análise de um software específico, e é também quantitativa, pois envolve o dimensionamento de uma estrutura metálica com base em dados numéricos. O objetivo principal dessa pesquisa exploratória, conforme definido pelos autores Prodanov e Freitas (2013), é fornecer informações abrangentes sobre o assunto em investigação, permitindo sua definição e delineamento. Para isso, serão utilizadas principalmente fontes bibliográficas e um estudo de caso.

O estudo de caso selecionado para realizar o dimensionamento foi obtido em colaboração com uma empresa especializada em estruturas metálicas e pré-moldados. Essa empresa possui várias obras em andamento e geralmente opta por elementos estruturais padronizados, que não são dimensionados especificamente para cada característica construtiva. No entanto, o interesse principal da empresa para este estudo é a aplicação de um software BIM no projeto de suas estruturas. Assim, a empresa pretende integrar os projetos estruturais dos pórticos, cobertura, fechamentos laterais e fundações por meio dessa ferramenta. Dessa forma, a empresa busca aprimorar sua eficiência e precisão no processo de projeto.

Para a coleta de dados, em visita ocorrida no dia 18 de maio de 2023 na empresa, foi apresentado um projeto de um galpão em estrutura mista, onde as opções escolhidas para a sua construção não foram alvo de um dimensionamento específico para o caso. A Tabela 1 contém os principais dados e características do galpão em questão, coletados com a empresa. Também foram fornecidas imagens do galpão feitas através do software SketchUp, para uma melhor visualização dos elementos contidos, estas são apresentados nas Figuras 14 e 15.

O galpão será instalado na cidade de Xanxerê, localizado no estado de Santa Catarina, em que será construído um laboratório de análise de sementes. Esses tipos

de galpões possuem ampla utilidade comercial, sendo ideais para armazenamento e diversos fins industriais.

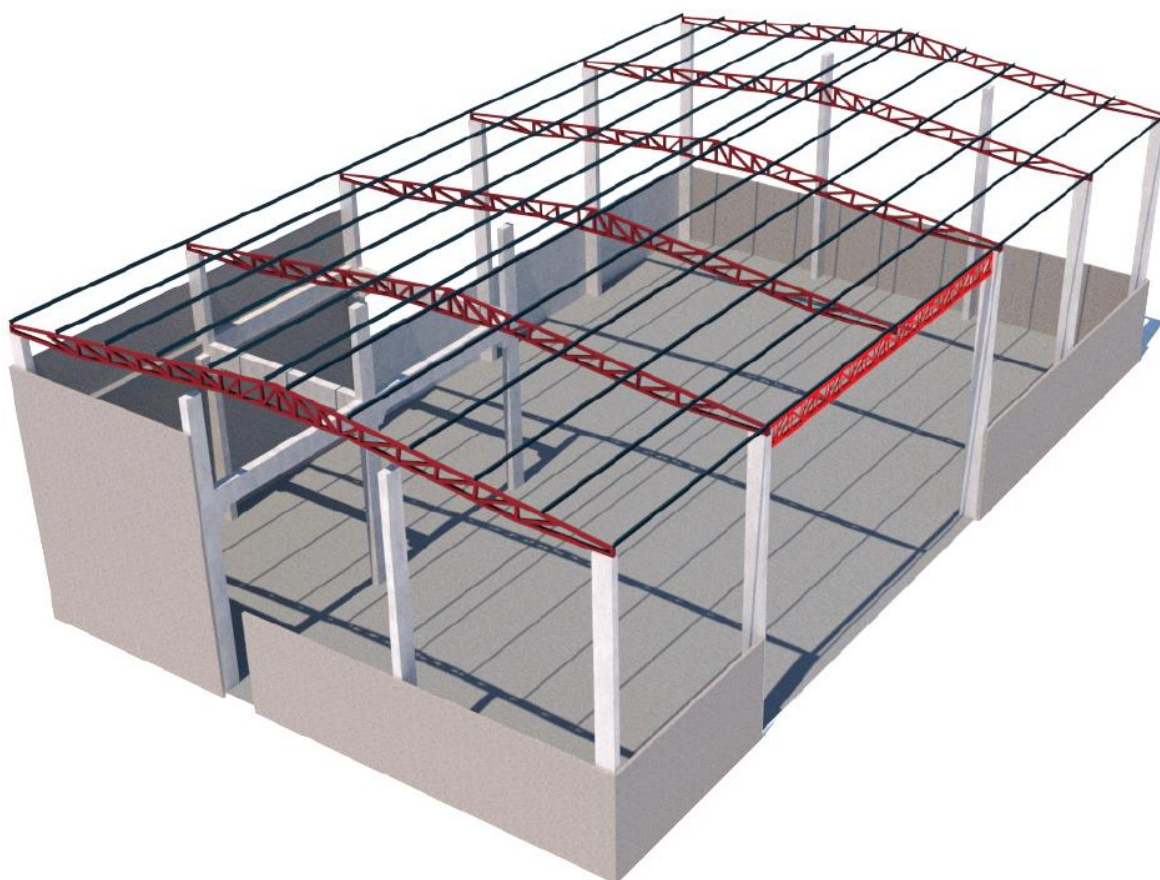
A estrutura faz uso de pilares e vigas mistas pré-moldadas, a cobertura é constituída de telhas metálicas sustentadas por tesouras e terças em estrutura metálica, além de uma viga treliçada para o vão de entrada. Os fechamentos laterais são constituídos em parte em alvenaria e outra parte em telhas metálicas. O conjunto de vigas constituem um apoio para laje, onde serão instaladas duas caixas d'água.

Tabela 1 - Dados do Galpão

Característica	Quantidade
Largura Frontal	15 metros
Comprimento do Galpão	25 metros
Altura do Pilar até a tesoura	7 metros
Distância entre pórticos	5 metros
Quantidade de Terças por água	6

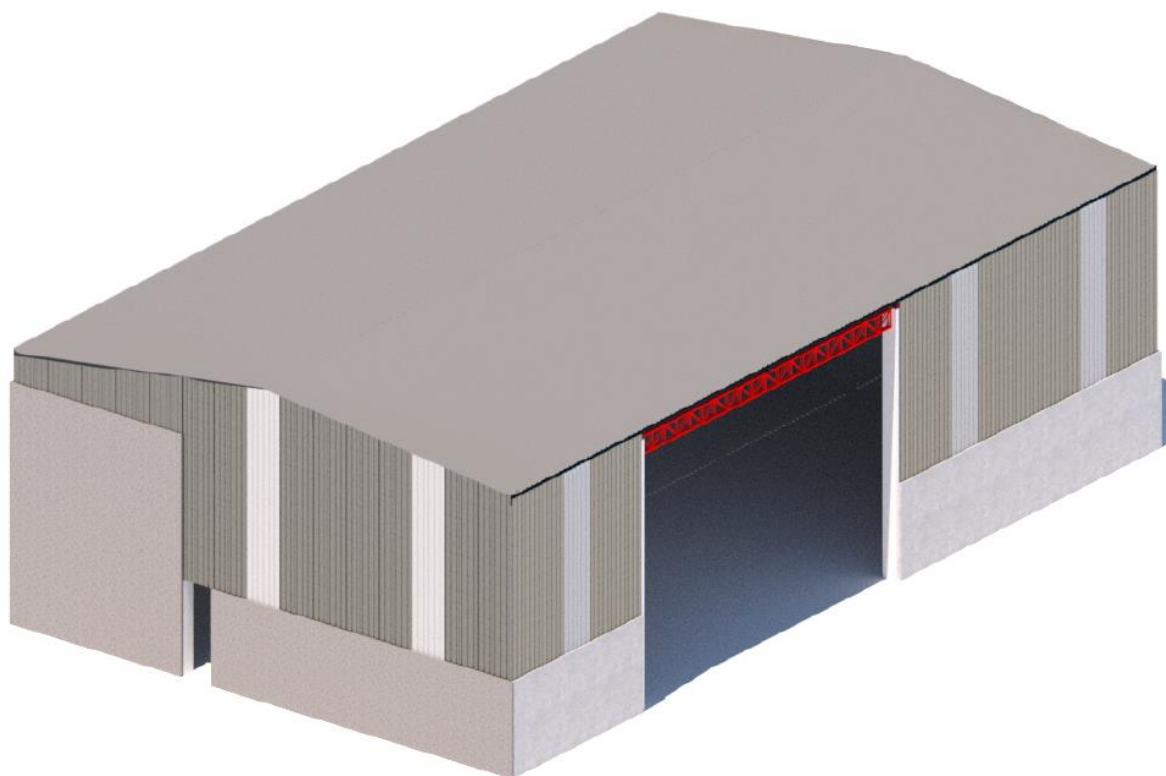
Fonte: Autoria própria

Figura 14 - Galpão sem a cobertura



Fonte: Empresa do ramo de estruturas metálicas e pré-moldados.

Figura 15 - Galpão com fechamentos laterais e cobertura



Fonte: Empresa do ramo de estruturas metálicas e pré-moldados.

A ferramenta escolhida para realizar o dimensionamento é o software CYPE, conforme mencionado anteriormente neste estudo. Trata-se de uma aplicação BIM versátil, adequada para o projeto de galpões em estruturas metálicas, madeira, alvenaria e estruturas mistas. O software foi fornecido gratuitamente na versão campus para fins deste estudo.

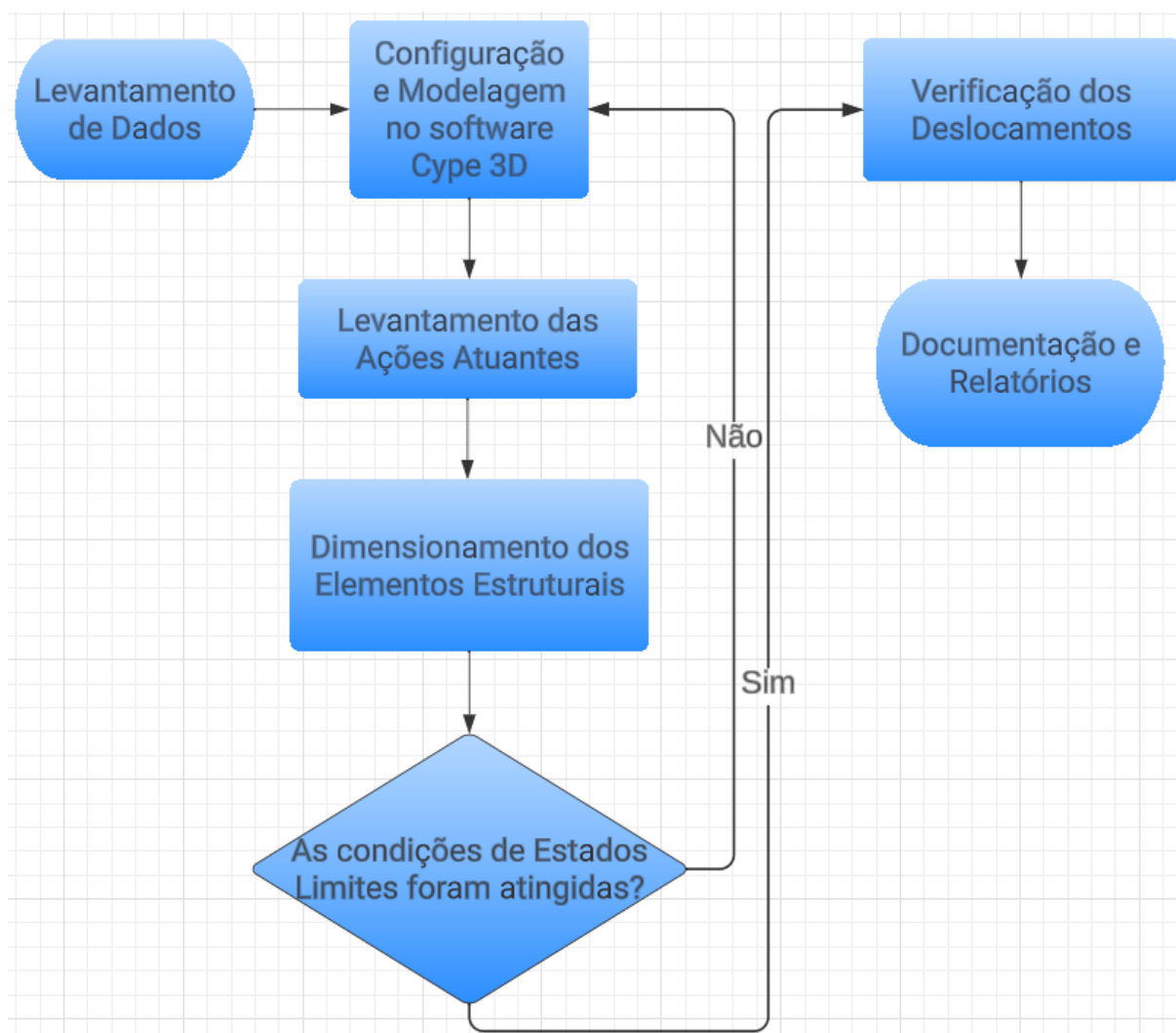
A escolha do CYPE como ferramenta de trabalho é justificada pelo fato de ele ser compatível com as normas técnicas brasileiras (NBR), em particular a NBR 8800, que trata do projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto para edifícios. Essa conformidade normativa torna o uso do software adequado e confiável para a análise e dimensionamento das estruturas de acordo com os padrões brasileiros.

Para o estudo das cargas e validação dos elementos estruturais, foram adotadas as seguintes normas: NBR 6123 - Forças devidas ao Vento em edificações; NBR 8681 - Ações e seguranças na estrutura; NBR 8800 - Projetos de Estrutura de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto para Edifícios. Essas normas foram

consultadas tanto por meio de pesquisas diretas como pelo uso do software CYPE, que já considera os cálculos de acordo com as diretrizes normativas.

Tendo em vista os métodos e ferramentas apresentadas, foi construído um fluxograma, Figura 16, para esquematizar o processo com que a partir dos estudos já apresentados, foi realizado o estudo de caso.

Figura 16 - Fluxograma para o Estudo de Caso



Fonte: Autoria Própria

A definição dos parâmetros do projeto, incluindo as dimensões do galpão, as cargas aplicadas, o material utilizado, entre outros, foi realizada por meio de uma coleta de dados em colaboração com uma empresa, conforme apresentado anteriormente neste capítulo. Com base nessas informações coletadas, foi criado o modelo estrutural no software CYPE, levando em consideração também as propriedades dos materiais, como a resistência do aço e do concreto.

Seguindo para a estimativa das cargas, foram verificadas as cargas permanentes e variáveis presentes no projeto, para então aplicá-las ao modelo. Para então análise das ações e esforços internos na estrutura. Com essa análise, o software aponta possíveis erros de projeto e/ou oportunidades de melhoria, com base nos critérios de segurança e estabilidade necessários. Assim, foi realizada a seleção dos materiais apropriados em termos de dimensão, garantindo a adequação ao modelo estrutural, mantendo a premissa da não alteração do design estrutural.

Com os componentes estudados e adequados para a estrutura, foi realizada a verificação dos deslocamentos, analisando como esta característica influencia na estrutura para cada combinação de ações permanentes e variáveis consideradas.

O estudo de caso foi concluído com a apresentação da documentação técnica do projeto, composto de lista de elementos estruturais utilizados, memorial de cálculo e vistas do projeto. Todos os dimensionamentos serão realizados com atenção aos manuais e arquivos instrutivos fornecidos pelo software CYPE para a sua utilização.

3.1 Levantar os dados do galpão a ser dimensionado

Os resultados obtidos vieram do seguimento do fluxograma apresentado na figura 16, a obtenção de dados continuou com uma segunda visita à empresa durante a construção dos componentes do galpão, assim foram levantados dados complementares que foram utilizados para o dimensionamento e validação inicial no software sendo eles:

- Pilares de 30x25 cm:
 - 6 vergalhões verticais de 1/2”;
 - Concreto classe C30 usinado.
- Vigas de 20x40 cm:
 - 5 vergalhões verticais de base de 5/8”;
 - 3 vergalhões verticais na parte superior com 3/8”;
 - Terão finalidade de comportar lajes com a carga de duas caixas d’água, totalizando 30 toneladas.
- Treliças da cobertura:
 - Externa = Perfil U 50x100mm com 2 mm de espessura;
 - Interna = Perfil U 33x95mm com 3 mm de espessura.
- Fechamento externo em perfil U 40x100 mm com 2,65 mm de espessura.

- Trelça para viga de entrada:
 - 9,75 m de comprimento e 40 cm de altura;
 - Externa = Perfil U 50x100mm com 3 mm de espessura;
 - Interna = Perfil U 33x95mm com 3 mm de espessura.
- Terça enrijecida com 40x75 mm e 2 mm de espessura.
- Telha trapezoidal TP-40 com 50 mm de espessura.
- Placas em concreto usinado C20.

3.2 Configuração e Modelagem do galpão no software CYPE 3D

Ao iniciar um novo projeto no software Cype 3D, é necessária uma configuração inicial de materiais, normas e hipóteses adicionais, na Figura 17, estão as normas brasileiras que foram utilizadas para concreto, aço dobrado e aço laminado.

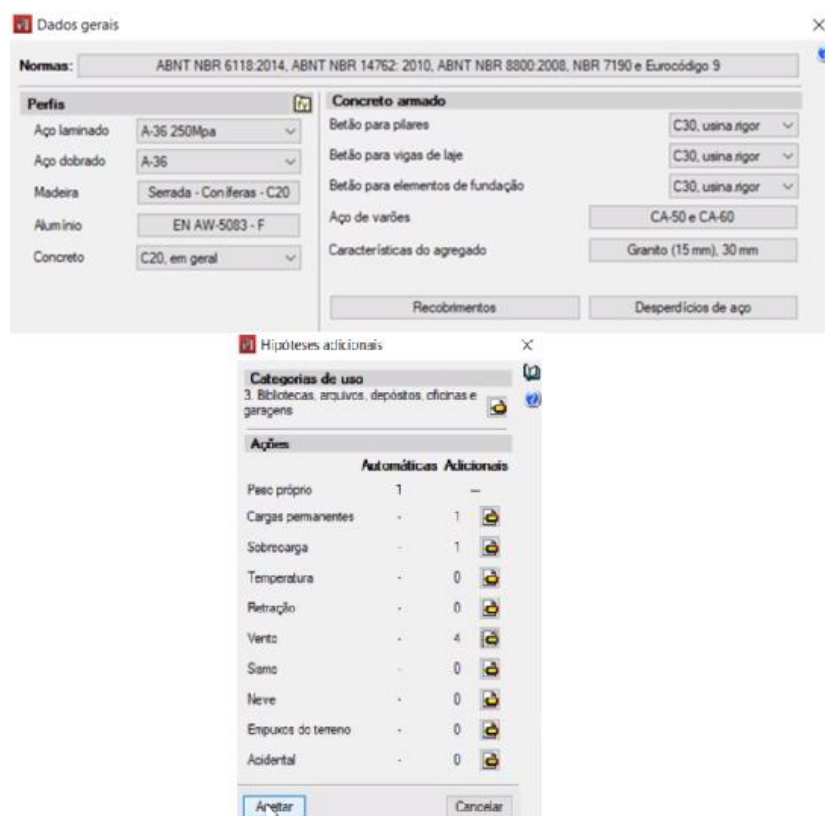
Figura 17 – Seleção de Normas

Material	Norma
Concreto	ABNT NBR 6118:2014 (Brasil)
Aço dobrado	ABNT NBR 14762: 2010 (Brasil)
Aço laminado	ABNT NBR 8800:2008 (Brasil)
Madeira	NBR 7190
Alumínio	Eurocódigo 9

Fonte: Software Cype

O software exige a escolha das normas para alumínio e madeira, mas estas não serão utilizadas para o dimensionamento devido a inexistência destes itens no projeto. Em seguida, como apresentado na Figura 18, foram preenchidos os dados dos materiais e hipóteses adicionais. Itens preenchidos conforme o levantamento de dados e considerações das cargas permanentes e variáveis existentes na estrutura.

Figura 18 - Preenchimento dos materiais e hipóteses adicionais



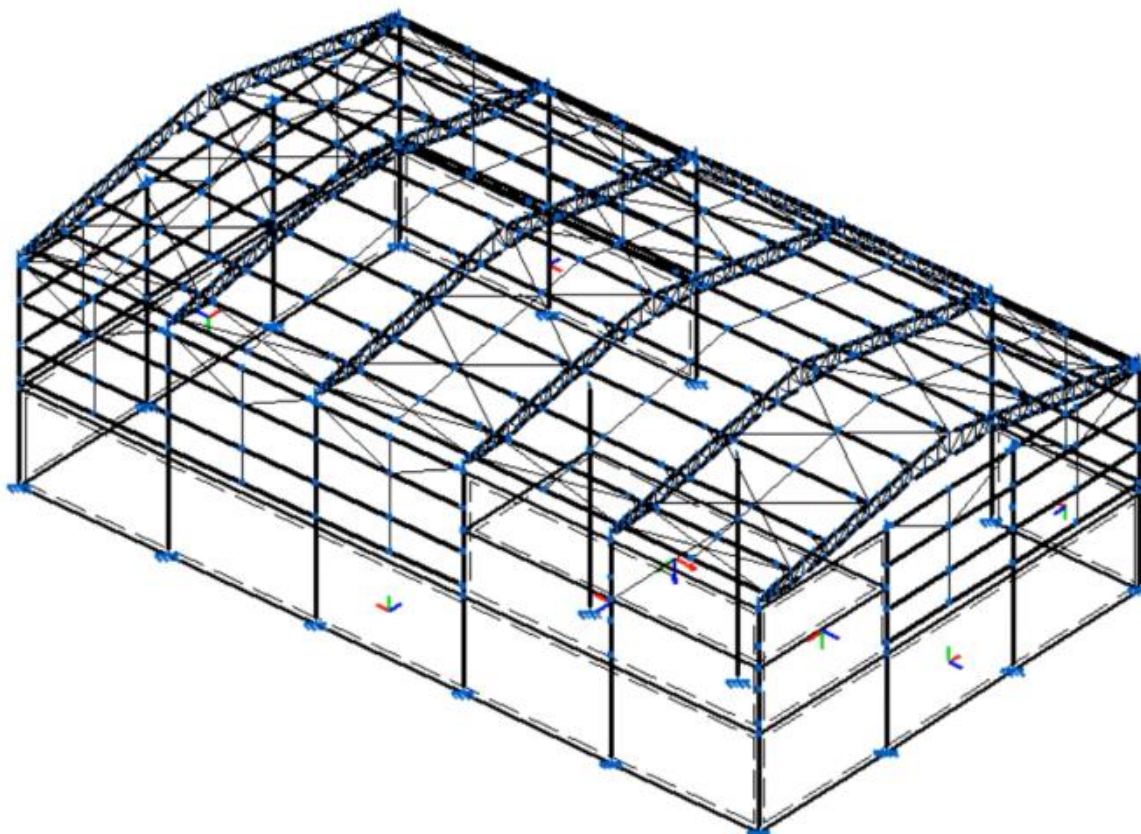
Fonte: Software Cype

As hipóteses são as ações atuantes na estrutura, o peso próprio é automaticamente selecionado, foram adicionadas as hipóteses de carga permanente, sobrecarga e quatro ações do vento, sendo elas: +X, -X, +Y e -Y, para atender as possibilidades direcionais do vento.

3.2.1 Modelagem Estrutural

Para a introdução do modelo ao software, foram utilizadas as ferramentas de desenho do próprio software, inserção de barras, placas, pilares e nós. Inicialmente desenhando um pórtico e o replicando, para então fazer a inserção de terças, contraventamentos e correntes. A Figura 19 mostra o resultado da modelagem, os elementos estruturais foram inseridos de acordo com o levantamento de dado.

Figura 19 - Preenchimento dos materiais e hipóteses adicionais



Fonte: Software Cype

O software permite a seleção de itens específicos, dessa forma foram inseridas as especificações dos pilares e perfis de aço e posicionados na posição correta para a construção, para maior assertividade é importante a verificação das conexões entre os elementos, esta foi realizada com uma simulação direta no software, mesmo sem cargas não estando inseridas o software faz uma simulação com o peso próprio da estrutura, assim qualquer elemento solto fica em destaque, facilitando ajustes.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão discutidos os resultados alcançados por meio da metodologia apresentada, considerando os dados levantados e a modelagem estrutural descrita no capítulo 3.

4.1 Levantamento das Ações Atuantes

O software Cype possui um banco de informações com os dados das barras e modelos de pilares para que de forma automática determine o peso próprio da estrutura, assim as ações atuantes faltantes são as permanentes, de sobrecarga e a carga do vento.

4.1.1 Carga permanente

As cargas permanentes existentes são compostas da massa das telhas trapezoidais e a das caixas d'água. A informação quanto a carga do modelo de telhas é de catálogos de fabricantes, com valores sempre próximos a 5 kgf/cm^2 , por isso esse é o valor que será utilizado. As duas caixas d'água terão uma massa de 15 toneladas cada, sendo que ambas caixas estarão instaladas em duas lajes de 15 m^2 cada, resultando em uma carga distribuída de 1 tonf/m^2 .

4.1.2 Sobrecarga

As sobrecargas atuantes na estrutura são provenientes da cobertura e da laje de armazenamento das caixas d'água.

Conforme a NBR 8800, item B.5, as coberturas comuns devem prever uma sobrecarga característica mínima de $0,25 \text{ kN/m}^2$ ou 25 kgf/m^2 . Esta sobrecarga deve incluir as cargas das instalações elétricas, hidráulicas, isolamento térmico e acústico, além de pequenas peças que possam ser eventualmente fixadas na estrutura. (ABNT, 2008)

Conforme NBR 6120, Tabela 10, coberturas e/ou cargas para estruturas de concreto armado, mistas de aço e concreto e alvenaria estrutural com acesso apenas para manutenção ou inspeção, considera-se uma carga distribuída de 1 kN/m^2 ou 100 kgf/m^2 . (ABNT, 2019)

4.1.3 Ação do Vento

No dimensionamento das ações do vento foi utilizado o software VisualVentos, este, é limitado para galpões normatizados e tabelados no formato retangular com cobertura de duas águas, como esse é o caso do estudo, o programa é assertivo e perfeitamente condizente com a norma brasileira NBR 6123.

A primeira condição é quanto a geometria do galpão, preenchida diretamente no software VisualVentos de acordo com as dimensões já apresentadas. O próximo passo é o cadastro da velocidade básica do vento, para isto foi utilizado o mapa da Figura 10, onde com a condição para a cidade de Xanxerê, Santa Catarina, local da instalação da edificação, com V_0 de 45 m/s. Os demais fatores inseridos se encontram no Quadro 1.

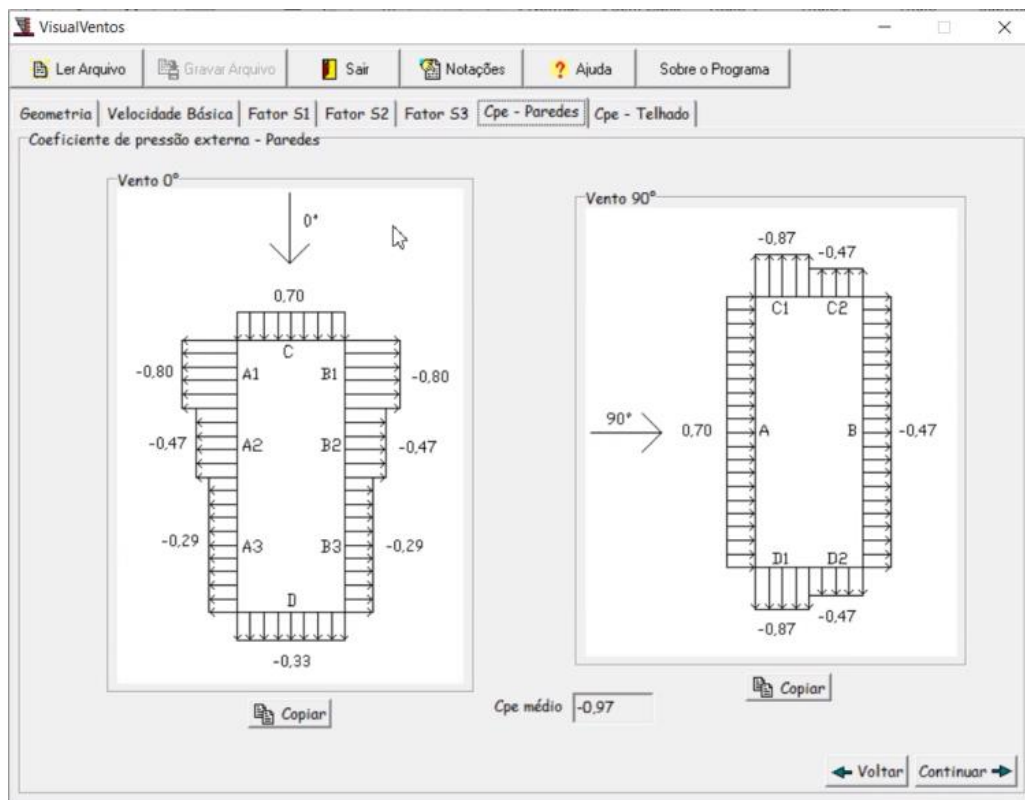
Quadro 1 – Preenchimento dos materiais e hipóteses adicionais

Fator	Valor	Justificativa
Fator Topográfico	$S1 = 1$	Terreno plano ou fracamente acidentado.
Fator de Rugosidade	$S2 = 0,82$	Categoria IV = Cidades pequenas e seus arredores Classe B = Maior dimensão 25 metros.
Fator Estatístico	$S3 = 0,95$	Edificações ou instalações industriais com baixo fator de ocupação

Fonte: Autoria própria

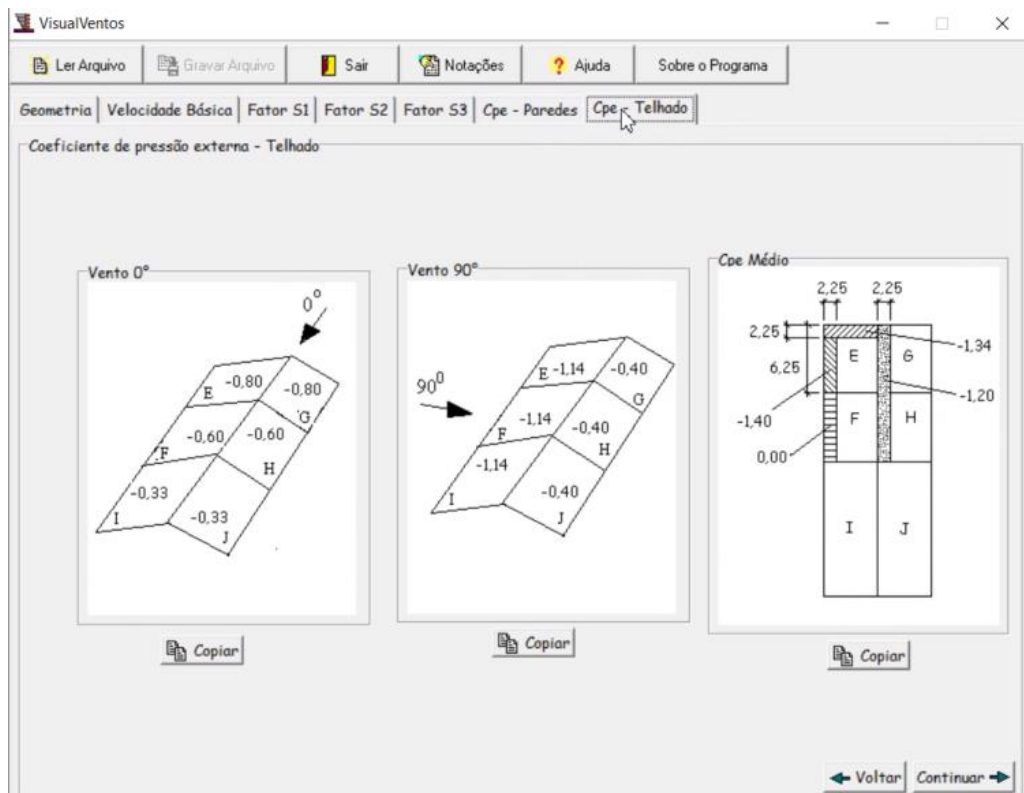
Como resultado, são obtidos coeficientes de pressão externa na parede (conforme mostrado na Figura 20) e no telhado (conforme demonstrado na Figura 21) para as direções de vento de 0° e 90° .

Figura 20 - Coeficiente de pressão externa nas paredes



Fonte: Software VisualVentos

Figura 21 - Coeficiente de pressão externa no telhado



Fonte: Software VisualVentos

Com os dados apresentados foi utilizada a equação (4) para calcular a pressão dinâmica do vento na estrutura ($q = 75 \text{ kgf/m}^2$). Os dados fornecidos pelo VisualVentos mostram uma razão percentual da pressão dinâmica atuante em cada fração de uma parede ou cobertura. Portanto, a pressão dinâmica foi dimensionada para as frações mais impactantes, ou seja, para a região que apresenta o maior percentual para cada componente na direção do vento, da seguinte forma:

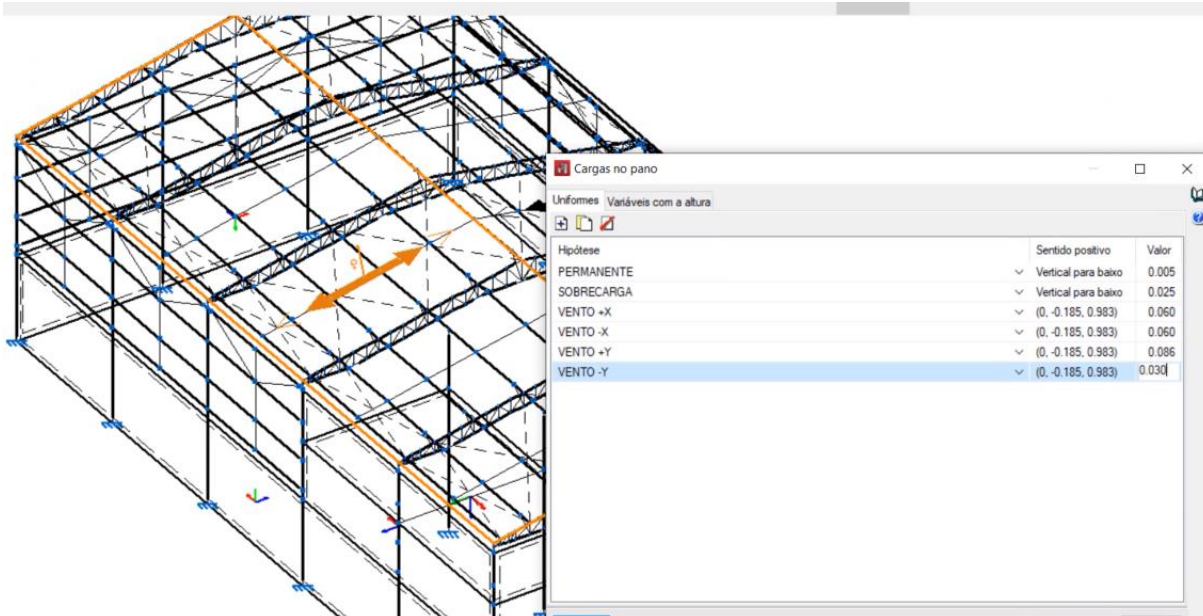
- Coeficiente de pressão externa na cobertura;
 - Vento 0 graus (Frontal) = - 0,8
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,8) = - 60 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 90 graus (Face Exposta) = - 1,14
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 1,14) = - 86 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 90 graus (Face Oposta) = - 0,4
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,4) = - 30 \text{ kgf/m}^2$
- Coeficiente de pressão externa nas paredes;
 - Vento 0 graus (Face Exposta) = 0,7
 - Pressão dinâmica = $75 \times 0,7 = 53 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 0 graus (Faces Laterais) = - 0,8
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,8) = - 60 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 0 graus (Face Oposta) = - 0,33
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,33) = - 25 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 90 graus (Face Exposta) = 0,7
 - Pressão dinâmica = $75 \times 0,7 = 53 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 90 graus (Faces laterais) = - 0,87
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,87) = - 66 \text{ kgf/m}^2$
 - Vento 90 graus (Face Oposta) = - 0,47
 - Pressão dinâmica = $75 \times (- 0,47) = - 56 \text{ kgf/m}^2$

4.1.4 Lançamento das Ações

Com o levantamento das ações atuantes é necessário o lançamento das mesmas no software, para isso são criados panos de carregamento, que se tratam de áreas de aplicação da carga distribuída. Em cada uma das paredes são lançados panos individuais, as placas inseridas não são aceitas no pano, pois devem ter as forças inseridas individualmente.

A Figura 22 mostra um exemplo de inserção de cargas em um pano do telhado (destacado em laranja), o pano foi dividido em duas partes, e todas as cargas descritas nos itens 4.3.1 a 4.3.3 foram incorporadas, com especial atenção às direções dessas cargas.

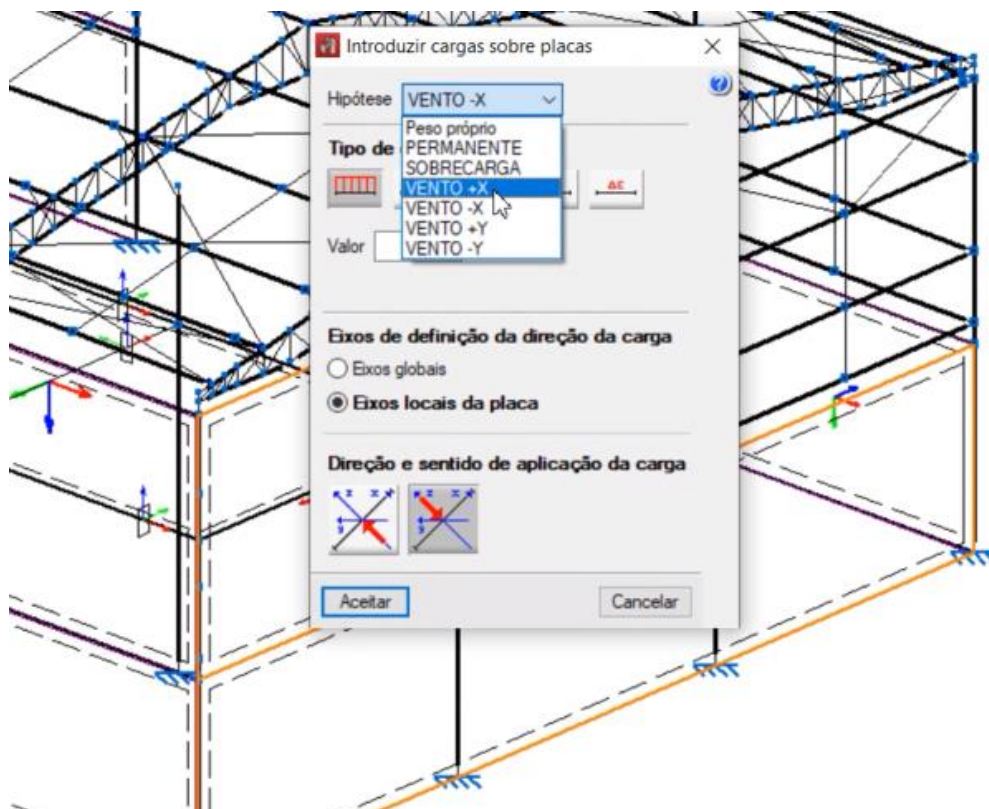
Figura 22 - Inserção de cargas aos panos



Fonte: Software VisualVentos

Em seguida, na Figura 23, é apresentada a janela de inserção de cargas em placas, em que o campo de hipóteses é preenchido de forma individual para uma seleção de placas identificadas em laranja. Os valores são preenchidos da mesma maneira que nos panos, considerando cuidadosamente o sentido de cada hipótese.

Figura 23 - Inserções de cargas às placas.

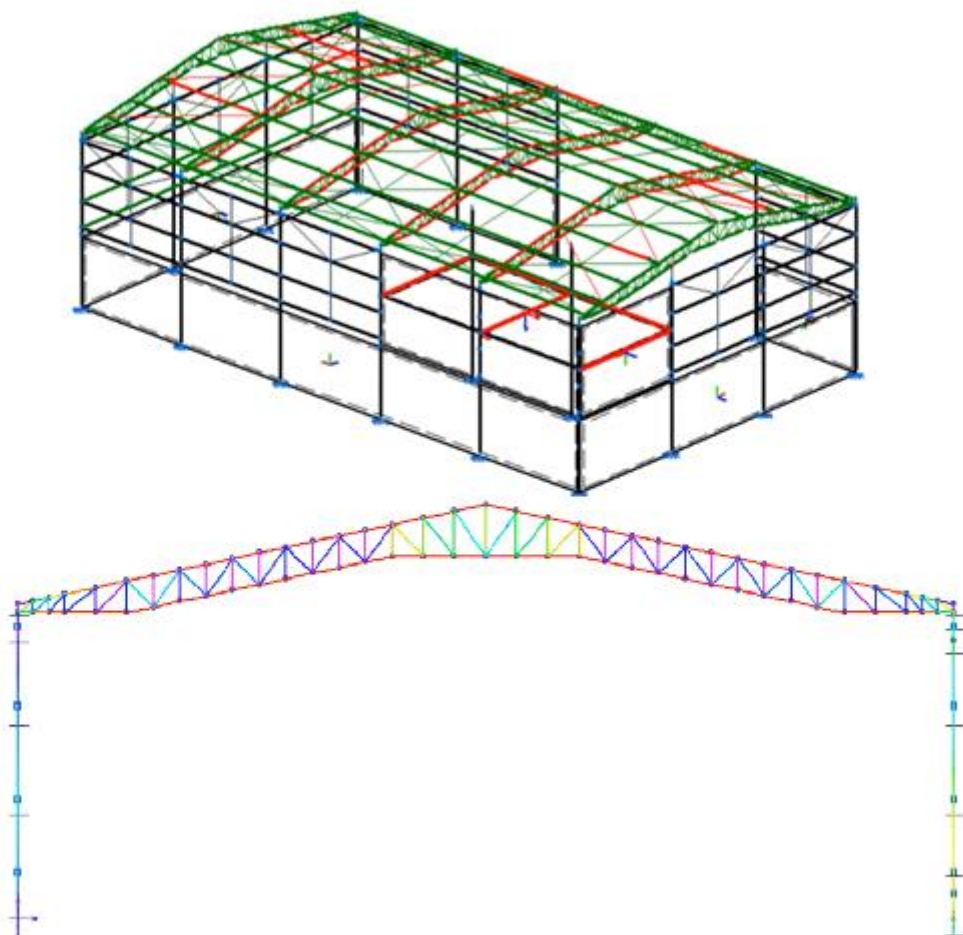


Fonte: Software Cype

4.2 Dimensionamento dos elementos estruturais

Após a aplicação das cargas, foi realizada a simulação do projeto, seguindo os perfis utilizados pela empresa de estruturas metálicas. A Figura 24 apresenta o resultado gerado pelo software, que se trata de uma representação visual de uma tabela conhecida como "passa ou não passa". Nessa tabela, todas as hipóteses fornecidas são combinadas (com exceção do vento em direções opostas) e comparadas com a resistência dos componentes, de acordo com as normas especificadas.

Figura 24 - Simulação do projeto proposto



Fonte: Software Cype

Todos os componentes estruturais destacados em vermelho não atenderam aos critérios, enquanto os componentes em verde passaram e estão em conformidade com a norma, embora possam ainda estar superdimensionados. No Anexo A, estão

disponíveis tabelas resumo que apresentam informações detalhadas sobre os elementos estruturais.

Foram analisados os componentes reprovados individualmente, com ênfase na substituição desses componentes sem alterações no projeto estrutural do galpão. Os itens selecionados foram escolhidos com base em critérios normativos para garantir o melhor aproveitamento possível. Isso se deve ao fato de que o aumento das dimensões dos perfis teria um impacto direto no aumento da massa da estrutura, resultando em uma carga adicional devido ao peso próprio. Foi priorizada a escolha do componente mais solicitado entre os tipos disponíveis, uma vez que o perfil mais solicitado orienta o dimensionamento dos demais componentes.

Foram analisados os componentes reprovados individualmente, com ênfase na substituição desses componentes sem alterações no projeto estrutural do galpão. Os itens selecionados foram escolhidos com base em critérios normativos para garantir o melhor aproveitamento possível. Isso se deve ao fato de que o aumento das dimensões dos perfis teria um impacto direto no aumento da massa da estrutura, resultando em uma carga adicional devido ao peso próprio. Foi priorizada a escolha do componente mais solicitado entre os tipos disponíveis, uma vez que o perfil mais solicitado orienta o dimensionamento dos demais componentes.

Quadro 2 – Componentes substituídos

Componentes Dimensionados		
Item	Projeto Original	Substituição
Pilar	30x25 cm	Mantido
Pilar da caixa d'água	30x25 cm	Mantido
Vigas	20x40 cm	Mantido
Terças	C40x75X2	C150X60X20X2.00
Corrente Lateral	Não Especificado	R 12
Corrente Superior	Não Especificado	L 2 x 1/8"
Banzo da Tesoura	U50x100X2 mm	U200X50X4.76 mm
Diagonais da tesoura	U33x95X3 mm	U200X50X2.28 mm
Banzos da entrada	U50x100X3 mm	Mantido
Diagonais da entrada	U33x95X3 mm	U100X40X2.00 mm
Terças Laterais	U40x100x2,65 mm	C100x50x17x2,5 mm

Fonte: Autoria Própria

Os componentes de corrente lateral e corrente superior não foram especificados pela empresa, logo foram diretamente escolhidos componentes comerciais que atendem a estrutura com a menor massa possível.

Um ponto relevante a ser observado é a reprovação das vigas, sendo que a análise dos critérios de reprovação revelou que somente o critério de flecha ativa foi responsável por essa reprovação, conforme evidenciado no Anexo A - Memorial de Cálculo Resumido.

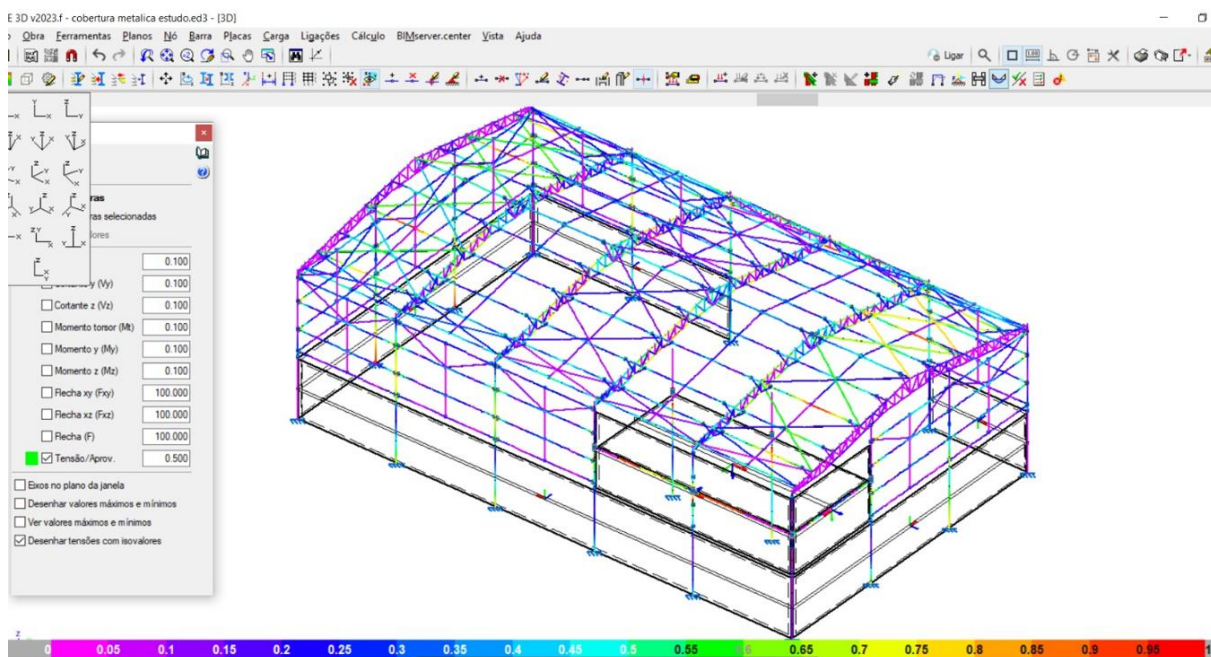
A flecha ativa leva em consideração a deformação e a sobrecarga resultante do uso. No Cype, são considerados três meses de carga ativa, em conformidade com a NBR 6118. Segundo a norma: "Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode causar um desvio do plano maior que $L/350$ ".

Como as vigas tem um $L = 5$ metros, a contraflecha máxima é de 0,0142 metros. O software apresentou um deslocamento de 13,96 mm, o que atende a norma. Desta forma, a obtenção de uma contraflecha de 13,96 mm na fabricação das vigas não representa um problema, o que confere segurança à viga.

O software Cype 3D não suporta a inclusão de contraflechas, o que é uma limitação do programa. No entanto, devido à conformidade com as normas estabelecidas, a opção foi manter o uso da viga de 20x40 cm, considerando essa condição de fabricação.

Após as substituições, uma nova simulação foi conduzida no software para verificar os componentes, e os resultados dessa simulação podem ser vistos na Figura 26. Todos os componentes atenderam às condições estabelecidas pela norma NBR 8800.

Figura 25 - Simulação após as adequações



Fonte: Software Cype

O índice de cores reflete a eficiência no uso dos materiais, calculado pela divisão do somatório das forças solicitantes pelo somatório das forças resistentes. Nesse caso, o índice deve ser superior a 1. Embora nenhum dos componentes tenha atingido exatamente 1, vários deles chegaram muito perto desse valor. Isso é o resultado desejado no dimensionamento, pois implica em um uso mais eficiente dos materiais.

4.2.1 Deslocamentos

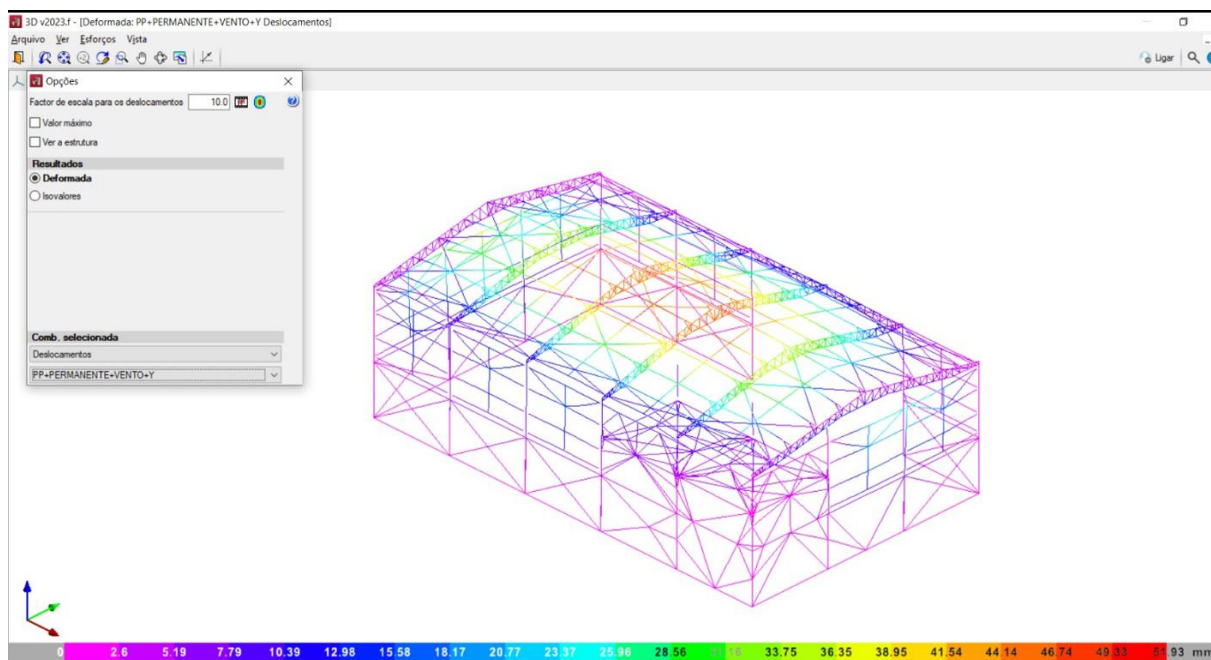
O software também fornece a aproximação para os deslocamentos existentes na estrutura, a finalidade da análise destes deslocamentos são fatores de aprovação ou não para a estrutura, porém estes já estão inclusos na simulação, e a aprovação mostrada na Figura 25 já considera os deslocamentos. O projeto teve todas barras aprovadas. Os fatores de deslocamento para cada barra podem ser observados no Apêndice A – Deslocamentos máximos NBR 8800, os fatores de majoração de esforços calculados pelo software consideram as flechas máximas encontradas nesta tabela.

Uma estrutura com alto deslocamento pode atender as normas, mas pode não ser um sinônimo de conforto para as pessoas que estão dentro e também não é aconselhável para edificações específicas, por exemplo laboratórios que utilizem

equipamentos de precisão, para isto, pode-se consultar a norma ABNT NBR 6118/2014 na tabela 13.3 – Limites para Deslocamentos. O projeto aqui dimensionado não tem como requisito tal precisão.

A Figura 27 mostra uma das simulações de deslocamento para a estrutura, mesmo não sendo um requisito do projeto, esta projeção de deslocamentos ajuda na compreensão dos efeitos das cargas na estrutura.

Figura 26 - Deslocamentos máximos -Y



Fonte: Software Cype

A projeção utiliza o peso próprio da estrutura, sobrecarga e considera o vento na direção $-Y$, os deslocamentos são considerados para cada direção do vento. No quadro de seleção situado na parte superior esquerda da imagem é possível observar que foi utilizado um fator de escala 10, onde os deslocamentos foram aumentados dez vezes para melhorar a visualização.

5 CONCLUSÃO

A avaliação do galpão com os elementos estruturais utilizados resultou em reprovação de acordo com as normas vigentes. A construção de uma estrutura metálica que não esteja em conformidade com essas normas representa um risco não apenas para a carreira do engenheiro responsável, mas também para a segurança das pessoas que utilizam o espaço.

Devido à complexidade e à multiplicidade de combinações de cálculos, o dimensionamento manual de uma estrutura metálica pode ser exaustivo, levando os engenheiros a tomar decisões, como ignorar combinações difíceis de calcular ou de baixa probabilidade de ocorrência. Isso evidencia a viabilidade do uso do software Cype, capaz de realizar automaticamente o dimensionamento de todas as ações exigidas pelas normas em questão, eliminando a possibilidade de erros humanos em cálculos, especialmente em estruturas complexas como essa. Além disso, foi verificada a precisão dos cálculos em comparação com os requisitos das normas ABNT.

Como um projeto futuro, a adequação da cobertura para outros detalhes estruturais, que possam melhorar a segurança estrutural sem a necessidade significativa de aumentar as dimensões das barras, é considerada. Além disso, uma análise da parte civil da construção dos pilares pode ser realizada, visando reduzir e modificar a disposição dos vergalhões. Isso se torna relevante, uma vez que, após o aumento das dimensões das barras e, conseqüentemente, do peso próprio da estrutura, os pilares ainda se mostraram adequados e apresentaram um baixo percentual de deslocamento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Forças devidas ao Vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: **Ações e seguranças na estrutura**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projetos de Estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- ALMADA, M. S. de *et al.* **Estudo de viabilidade do uso das estruturas metálicas nas edificações**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, [S. l.], p. 1-6, 15 a 17 set. 2021.
- ALMEIDA, W. R. **Utilização de sistemas estruturais metálicos no atual cenário da construção civil brasileira**: Estudo de caso para a montagem de estrutura e cobertura de galpão industrial de médio porte. 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- ANDRADE, S. **Comportamento e Projeto de Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.
- CARDOSO, M. C. **Autodesk® Civil 3D 2020**: Aplicações BIM para projetos de infraestrutura. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. *E-book*. ISBN 9788536532899.
- CORTEZ, L. A. DA R. et al. Uso das estruturas de aço no Brasil. **Cadernos de Graduação**, v. 4, n. 2, p. 217–228, 2017.
- D'ALAMBERT, F. **Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados**. 7ª Edição. Belo Horizonte: GERDAU Açominas, 2018.
- FERRAZ, Henrique. **O aço na construção civil**. Revista eletrônica de ciências. São Paulo, n. 22, 2003.
- KASSIMALI, A. **Análise estrutural**. Stamford: Editora Cengage Learning, 2016.
- LEDSTAR. *In*: **Luminária para galpão industrial e barracão**. São Paulo. 2023. Disponível em: <https://ledstar.com.br/portfolio-item/luminaria-galpao-industrial-barracao/>. Acesso em: 3 jun. 2023.

MATOS, R. C. B. **Sistemas de Contraventamentos em Edifícios de Estrutura Metálica**. 2014. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Brasília, Brasília/DF, Brasil, 2014.

MOREIRA, E. M. dos R. et al. Estudo de patologias em estruturas metálicas e o impacto ambiental na produção do material. **Semioses**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 108-118, jul/set 2019.

MOIS, J. G. R. **Modelação de estruturas mistas com aço e betão em edifícios**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

NEVES, E. B; DOMINGUES, C. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: EB/CEP, p. 204, 2007.

PAHL, G. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

PINHEIRO, A. C. B. da F. **Estruturas metálicas**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 9ª Edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021.

PRAVIA, Z. M. C.; DREHMER, G. A; JÚNIOR, E. M. **Galpões para Usos Gerais**. 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2018.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. de; **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Edição. Nova Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

RIBEIRO, I. S. et al. **Análise linear elástica de pórticos espaciais**. XI Simpósio de Mecânica Computacional-II Encontro Mineiro de Modelagem Computacional. Juiz de Fora, 2014.

SANTOS, G. A. dos; LIMA, D. S. **Estruturas metálicas para cobertura: Obras sem projeto**. REPOSITÓRIO DE TCC, 2022.

SILVA, V. P.; PANNONI, F. D. **Estruturas de Aço para Edifícios: Aspectos Tecnológicos e de Concepção**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

SOUZA, S. A. de. **Composição química dos aços**. São Paulo: Editora Blucher, 1989.

VASCONCELLOS, A. L. **Ligações em estruturas metálicas**. 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011. 60 p. v. 1.

APÊNDICE A – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS NBR 8800

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{g)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).

^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).

^c Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.

^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.

^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.

^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.

^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.

^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.

ⁱ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.

^j Considerar combinações raras de serviço.

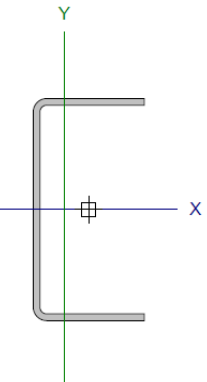
^k No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.

^l O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.

^m Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

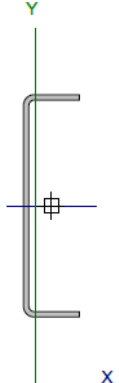
ANEXO A – MEMORIAL DE CÁLCULO RESUMIDO

Banzos da treliça do portão

Perfil: U100X50X3.04 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)
		N480	N478	0.500	5.77	89.41	14.23	0.18	-11.09
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
		Flambagem			Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β		1.00	1.00	0.00	0.00				
L _k		0.500	0.500	0.000	0.000				
C _m		-	-	1.000	1.000				
C _b		-			1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

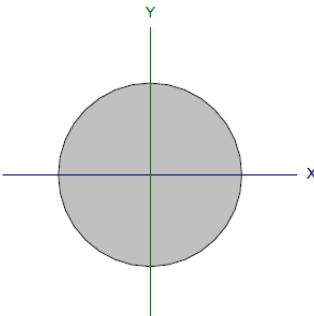
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _i	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _i M _x M _y	N _i M _y M _x	M _i	
N480/N478	(b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 63.3	η = 53.8	M _{xx} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	M _{yy} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	x: 0.35 m η = 0.4	V _{xx} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	M _{1,xx} = 0.00 N.A. ⁽⁶⁾	PASSA η = 63.3

Banzos das treliças da cobertura

Perfil: U200X50X4.76 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)
		N289	N278	0.432	13.53	698.03	25.60	1.02	-14.61
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
		Flambagem			Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β		1.00	7.28	0.00	0.00				
L _k		0.432	3.150	0.000	0.000				
C _m		-	-	1.000	1.000				
C _b		-			1.000				
Notação: b: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

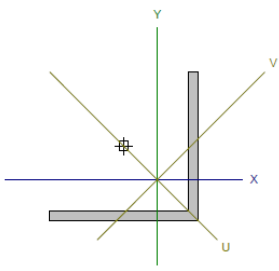
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _i	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _i M _x M _y	N _i M _y M _x	M _i	
N289/N278	(b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 0.432 m η = 71.1	x: 0 m η = 70.6	x: 0 m η = 1.7	x: 0.432 m η = 30.0	x: 0.432 m η = 1.4	η = 0.2	x: 0 m η < 0.1	x: 0.432 m η = 9.0	x: 0.432 m η = 95.3	x: 0.432 m η = 92	M _{1,xx} = 0.00 N.A. ⁽⁶⁾	PASSA h = 98.3

Corrente lateral

Perfil: R 12 Material: Aço (A-36 250Mpa)								
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas				
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
	N721	N723	2.564	1.13	0.10	0.10	0.20	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
			Flambagem		Flambagem lateral			
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		0.00	0.00	0.00	0.00			
L _k		0.000	0.000	0.000	0.000			
C _b		-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

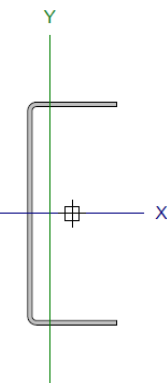
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N721/N723	N.A. ⁽¹⁾	x: 2.564 m η = 22.2	x: 0 m η = 6.7	x: 2.564 m η = 11.1	x: 2.564 m η = 2.5	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.1	x: 2.564 m η = 31.7	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	PASSA η = 31.7

Corrente superior

Perfil: L 2 x 1/8" Material: Aço (A-36 250Mpa)												
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas								
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _{xy} ⁽⁴⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)	α ⁽⁵⁾ (graus)	
	N519	N520	1.730	3.10	7.91	7.91	4.73	0.10	11.52	-11.52	-45.0	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade ⁽⁴⁾ Produto de inércia ⁽⁵⁾ É o ângulo que forma o eixo principal de inércia U em relação ao eixo X, positivo no sentido anti-horário.											
			Flambagem		Flambagem lateral							
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.							
β		0.00	0.00	0.00	0.00							
L _k		0.000	0.000	0.000	0.000							
C _b		-		1.000								
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico												

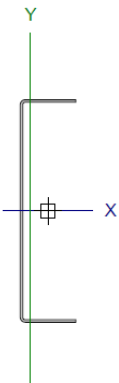
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	NM _u M _v	T	NMVT	σ τ f	
N519/N520	N.A. ⁽¹⁾	x: 1.73 m η = 2.4	N.A. ⁽²⁾	x: 1.73 m η = 17.8	x: 1.73 m η = 16.3	x: 1.73 m η = 0.2	x: 1.73 m η = 0.3	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 1.73 m η = 40.2	PASSA η = 40.2

Diagonais da treliça do portão

Perfil: U100X40X2.00 Material: Aço (A-36)										
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)	
	N480	N115	0.640	3.47	51.85	5.24	0.05	-10.22	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
				Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.			
β			1.00	1.00	0.00		0.00			
L _κ			0.640	0.640	0.000		0.000			
C _m			-	-	1.000		1.000			
C _b			-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _κ : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico										

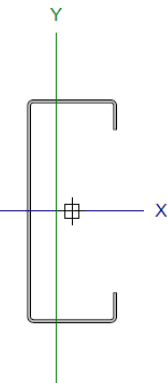
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t		
N480/N115	(b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 0.64 m η = 20.4	x: 0 m η = 39.0	M _{sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	M _{sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	V _{sd} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	V _{sd} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	M _{t,sd} = 0.00 N.A. ⁽⁶⁾	PASSA η = 39.0	

Diagonais das treliças da cobertura

Perfil: U200X50X2.28 Material: Aço (A-36)										
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)	
	N292	N278	0.450	6.67	357.83	13.28	0.12	-15.69	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
				Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.			
β			1.00	1.00	0.00		0.00			
L _κ			0.450	0.450	0.000		0.000			
C _m			-	-	1.000		1.000			
C _b			-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _κ : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico										

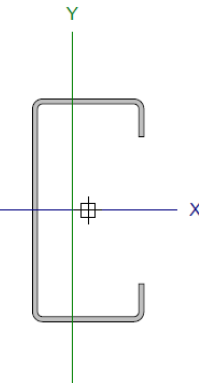
Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t		
N292/N278	(b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 0.45 m η = 24.3	x: 0 m η = 61.5	M _{sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	M _{sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	V _{sd} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	V _{sd} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	M _{t,sd} = 0.00 N.A. ⁽⁶⁾	PASSA η = 61.5	

Terças da cobertura

Perfil: C150X60X20X2.00 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N567	N657	1.990	5.93	207.06	30.01	0.08	-10.75	0.00
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
			Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
β			1.00	1.76	0.00		0.00		
L _κ			1.990	3.500	0.000		0.000		
C _m			-	-	1.000		1.000		
C _b			-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _κ : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N _i	N _e	M _x	M _y	V _x	V _y	M ₁ V _x	M ₁ V _y	N ₁ M ₁ M _y	N ₁ M ₁ M _x	M ₁		
N567/N657	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	N _{iso} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	η = 40.1	x: 0.394 m η = 54.2	x: 0 m η = 11.1	x: 0 m η = 1.0	x: 1.969 m η = 8.1	x: 0.591 m η = 28.7	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 94.9	N.A. ⁽²⁾	M _{1,iso} = 0.00 N.A. ⁽³⁾	PASSA η = 94.9	

Terças de fechamento lateral

Perfil: C100X50X17X2.25 Material: Aço (A-36)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N764	N700	2.500	4.93	77.70	17.34	0.08	-7.19	0.00
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
			Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
β			1.00	1.00	0.00		0.00		
L _κ			2.500	2.500	0.000		0.000		
C _m			-	-	1.000		1.000		
C _b			-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _κ : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N _i	N _e	M _x	M _y	V _x	V _y	M ₁ V _x	M ₁ V _y	N ₁ M ₁ M _y	N ₁ M ₁ M _x	M ₁		
N764/N700	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 3.5	η = 8.9	x: 2.375 m η = 78.0	M _{iso} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	x: 2.375 m η = 0.6	x: 2.375 m η = 10.0	x: 2.375 m η = 61.8	N.A. ⁽²⁾	x: 2.375 m η = 94.4	x: 2.375 m η = 74.0	M _{1,iso} = 0.00 N.A. ⁽³⁾	PASSA η = 94.4	

Vigas de Concreto

Dados da viga	
	Geometria Dimensões : 20x40 Vão livre : 4.8 m Cobrimento geométrico superior : 2.5 cm Cobrimento geométrico inferior : 2.5 cm Cobrimento geométrico lateral : 2.5 cm
	Materiais Concreto : C30, usina.rigor Armadura longitudinal : CA-50 e CA-60 Armadura transversal : CA-50 e CA-60

Vão	VERIFICAÇÕES DE RESISTÊNCIA (ABNT NBR 6118:2014)													Estado		
	Disp.	Arm.	Q	N,M	T _c	T _{te}	T _{tr}	TNM _x	TV _x	TV _y	TV _z	TV _z	T,Disp _z		T,Geom _z	T,Arm _z
V-006: P3 - P13	Passa	Passa	'0.182 m' $\eta = 15.1$	'4.750 m' $\eta = 90.8$	'2.375 m' $\eta = 3.7$	'2.375 m' $\eta = 28.7$	'2.375 m' $\eta = 6.0$	'4.552 m' Passa	N.A. ⁽¹⁾	'2.375 m' $\eta = 6.1$	N.A. ⁽¹⁾	'2.375 m' Passa	'2.375 m' Passa	'2.375 m' Passa	'2.375 m' Passa	PASSA
Notação: Disp.: Disposições relativas às armaduras Arm.: Armadura mínima e máxima Q: Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (combinações não sísmicas) N,M: Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (combinações não sísmicas) T _c : Estado limite de ruptura por torção. Compressão oblíqua. T _{te} : Estado limite de ruptura por torção. Tração na alma. T _{tr} : Estado limite de ruptura por torção. Tração nas armaduras longitudinais. TNM _x : Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforços normais. Flexão em torno do eixo X. TV _x : Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo X. Compressão oblíqua TV _y : Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo Y. Compressão oblíqua TV _z : Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo X. Tração na alma. TV _z : Estado limite de ruptura por torção. Interação entre torção e esforço cortante no eixo Y. Tração na alma. T,Disp _z : Estado limite de ruptura por torção. Espaçamento entre as barras da armadura longitudinal. T,Geom _z : Estado limite de ruptura por torção. Diâmetro mínimo da armadura transversal. T,Arm _z : Estado limite de ruptura por torção. Quantidade mínima de estribos fechados. x: Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável																
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação do estado limite de ruptura por torção não é necessária, já que não há momento de torção.																

Vão	VERIFICAÇÕES DE FISSURAÇÃO (ABNT NBR 6118:2014)					Estado
	W _{k,F,sup.}	W _{k,F,lat.Dir.}	W _{k,F,inf.}	W _{k,F,lat.Esq.}	σ_s	
V-006: P3 - P13	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	x: 4.75 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 2.375 m Passa	PASSA
Notação: W _{k,F,sup.} : Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face superior W _{k,F,lat.Dir.} : Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral direita W _{k,F,inf.} : Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face inferior W _{k,F,lat.Esq.} : Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral esquerda σ_s : Armaduras longitudinais mínimas x: Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável						
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não há nenhuma armadura tracionada.						

Viga	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	No tempo infinito (Quase permanente) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	Ativa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = \text{Mín.}(10.00, L/500)$	Estado
V-006: P3 - P13	$f_{i,Q}$: 0.51 mm $f_{i,Q,lim}$: 13.57 mm	$f_{T,max}$: 13.34 mm $f_{T,lim}$: 19.00 mm	$f_{A,max}$: 13.36 mm $f_{A,lim}$: 9.50 mm	NÃO ATENDE