



CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SUELLEM BEUX ZUBLER

**ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE AÇO PARA A ESTRUTURA
METÁLICA DA COBERTURA DE UM GALPÃO COMERCIAL**

Sinop/MT

2024

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

SUELLEM BEUX ZUBLER

**ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE AÇO PARA A ESTRUTURA
METÁLICA DA COBERTURA DE UM GALPÃO COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Avaliadora do Departamento de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fasipe - UNIFASIPE, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Leticia Reis Batista Rosas

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Andréia Alves Botin

Sinop/MT

2024

DEDICATÓRIA

A minha família, que nesta longa jornada não mediu esforços para ser o meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus, o Autor e Consumador da minha fé, que me encorajou todos os dias a prosseguir.

- Aos meus pais Mairi e Paulo Ricardo Beux, e a meu esposo Wesley Zubler, que foram os meus maiores incentivadores.

- À Prof.^a Ma. Letícia Reis Batista Rosas que me orientou de forma objetiva para obter êxito neste trabalho.

- A todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, que transmitiu o seu conhecimento e muito contribuiu para a minha formação.

- A todos que direta e indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho e permitiram o desenvolvimento da minha aprendizagem.

ZUBLER, Suellem Beux. Análise de Diferentes Tipos de Aço para a Estrutura Metálica da Cobertura de um Galpão Comercial. 2024. Números de folhas 45. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Fasipe – UNIFASIPE.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar a variação do consumo de aço por metro quadrado para diferentes tipos de aço, para o projeto da estrutura metálica de cobertura de um galpão comercial com 800 metros quadrados, solucionando a questão da possível diminuição do consumo de aço, alterando o tipo do material e ainda assim, garantindo sua segurança. Sendo assim o projetista poderá ter opções de escolha para a finalidade que se deseja, sanando todas as necessidades do projeto, podendo este entregar um resultado de excelência, com baixo consumo de material. A análise considera cinco tipos de aço, cada um com diferentes limites de escoamento e resistência, compondo uma estrutura metálica com banzos paralelos. Os tipos de aço incluídos no estudo são: CF-55, ZAR 400, Q-40, ASTM A572 Grau 50 e ASTM A-36, com o objetivo de identificar o material que proporciona o menor consumo possível. Para a análise, utilizou-se o software Cypecad no módulo de estruturas metálicas, considerando um dimensionamento detalhado, conforme a ABNT NBR 14762 (2010). As ações consideradas na estrutura incluem sobrecarga, peso das telhas, cargas de vento conforme a ABNT NBR 6123 (1988) e o peso próprio. Ao comparar os cinco tipos de aço, concluiu-se que os aços com maiores limites de escoamento e resistência apresentaram um consumo menor de material. O aço CF-55, que possui os maiores limites de resistência entre os analisados, obteve o menor consumo de material, com 10,40 kg/m², enquanto o aço analisado ASTM A-36, que possui a menor resistência, apresentou um consumo de 12,17 kg/m².

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de cobertura; estrutura metálica; galpão.

ZUBLER, Suellem Beux. Analysis of Different Types of Steel for the Metal Structure of the Roof of a Commercial Warehouse. 2024. Number 45. Course Completion Work – Centro Universitário Fasipe – UNIFASIPE.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the variation in steel consumption per square meter for different types of steel, for the design of the metal structure covering an 800 square meter commercial warehouse, solving the issue of the possible reduction in steel consumption, changing the type of material and still guaranteeing its safety. Therefore, the designer will be able to choose options for the desired purpose, meeting all the needs of the project, which can deliver an excellent result, with low material consumption. The analysis considers five types of steel, each with different yield and resistance limits, composing a metallic structure with parallel flanges. The types of steel included in the study are: CF-55, ZAR 400, Q-40, ASTM A572 Grade 50 and ASTM A-36, with the aim of identifying the material that provides the lowest possible consumption. For the analysis, the Cypecad software was used in the metallic structures module, considering a detailed sizing, in accordance with ABNT NBR 14762 (2010). The actions considered in the structure include overload, weight of the tiles, wind loads according to ABNT NBR 6123 (1988) and its own weight. When comparing the five types of steel, it was concluded that steels with higher yield and resistance limits showed lower material consumption. CF-55 steel, which has the highest resistance limits among those analyzed, obtained the lowest material consumption, with 10.40 kg/m², while the analyzed ASTM A-36 steel, which has the lowest resistance, presented a consumption of 12.17 kg/m².

KEYWORDS: Covering structures; metal structure; shed.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo em kg/m ² dos 5 tipos de aço e resistência.....	42
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propriedades mecânicas dos aços-carbono	17
Figura 2: Tipos de perfis laminados	18
Figura 3: Tipos de perfis de chapa dobrada.....	19
Figura 4: Perfis de chapa Soldada	19
Figura 5: Diagrama tensão-deformação	20
Figura 6: Edifício baixo do tipo galpão.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 7: Detalhe de treliça de cantoneiras duplas com uniões em chapas Gusset.....	22
Figura 8: Galpão em arco	23
Figura 9: Galpão geminado com meias-águas no sentido transversal.....	23
Figura 10: Galpão em Shed com pórticos em perfis I, vigas mestras e secundárias em treliças.	23
Figura 11: Isopletras da velocidade básica V_0 (m/s).....	25
Figura 12: Vista frontal do galpão	29
Figura 13: Vista superior do galpão.....	30
Figura 14: Vista lateral do galpão.....	30
Figura 15: Valores de CPE com ventos de 0 e 90 graus.....	32
Figura 16: Esforços resultantes CPI de -0,30 e 0,0 para ventos a 0 graus.....	33
Figura 17: Esforços resultantes CPI de -0,30 e 0,0 para ventos a 90 graus.....	33
Figura 18: Modelo 3D do galpão comercial.....	34
Figura 19: Estrutura metálica do galpão.....	36
Figura 20: Estrutura metálica do galpão aço ASTM A572 Grau 50.....	39
Figura 21: Estrutura metálica do galpão aço ASTM A-36	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos aços	32
Tabela 2: Resumo do galpão com aço CF-55.....	37
Tabela 3: Resumo do galpão com aço ZAR 400	38
Tabela 4: Resumo do galpão com aço Q-40.....	39
Tabela 5: Resumo do galpão com aço ASTM A572 Grau 50.....	40
Tabela 6: Resumo do galpão com aço ASTM A-36	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	14
1.2 Problematização	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Geral	15
1.3.2 Específicos.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Estruturas metálicas	16
2.2 Tipos de perfis	17
2.2.1 Perfis laminados	17
2.2.2 Perfis de chapa dobrada.....	18
2.2.3 Perfis soldados e perfis compostos.....	19
2.3 Propriedade dos aços	19
2.3.1 Elasticidade.....	19
2.3.2 Ductilidade.....	20
2.3.3 Plasticidade.....	20
2.3.4 Tenacidade	20
2.3.5 Resistência mecânica.....	21
2.4 Estruturas de cobertura	21
2.5 Dimensionamento	24
2.5.1 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações ABNT NBR 6120 (2019)	24
2.5.2 Forças devidas ao vento em edificações ABNT NBR 6123 (1988)	24
2.5.3 Perfis estruturais de aços formados a frio – Padronização ABNT NBR 6355 (2012).....	26
2.5.4 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas ABNT NBR 8800 (2008)	26
2.5.5 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio ABNT NBR 14762 (2010)	27
2.6 Principais softwares do mercado	27
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
3.1 Detalhamento do galpão	29
3.2 Análises	31
3.2.1 Tipos de aço.....	31
3.2.2 Ações na estrutura	32

3.3 Dimensionamento	33
4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS.....	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

O aço é produzido através do minério de ferro, óxido de ferro (FeO), juntamente com a adição de carbono em indústrias siderúrgicas. No Brasil, foi implantada a indústria siderúrgica somente após a Segunda Guerra Mundial, com a construção da Usina Presidente Vargas da CSN - Companhia Siderúrgica Nacional, no Estado do Rio de Janeiro, na cidade de Volta Redonda (PFEIL, 2009). De acordo com Chiaverini (2005), o aço é indicado como a liga ferro-carbono contendo geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes das metodologias de fabricação.

Na construção civil, o aço é utilizado em pontes, viadutos, ferrovias, galpões, com muita frequência em elementos estruturais como em vigas, pilares, na estrutura do concreto armado, nas fundações e até nos acabamentos de uma obra, como nos corrimãos ou nas esquadrias. Em conformidade com o Instituto Aço Brasil (2022), a produção de aço bruto no país significou o valor de 34,1 milhões de toneladas, revelando o uso sublime do material. As estruturas metálicas contribuíram com grande parte dessa estatística.

Apesar das estruturas metálicas não serem um novo sistema construtivo, estão de forma gradativa conquistando espaço na construção civil pois amenizam os desperdícios, e contam com sua execução acelerada.

Algumas das vantagens da utilização das estruturas em aço é a elevada resistência aos estados de tensão como a tração, compressão e a flexão, fazendo com que a estrutura suporte grandes esforços, embora sua seção transversal seja relativamente pequena (BELLEI, 2010).

O aço é um material que coopera para a preservação do meio ambiente, considerando que é inteiramente reciclável, além disso, no canteiro de obras, contribui para a organização, otimização e utilização do espaço (NARDIN, 2008). Os galpões comerciais com cobertura em estrutura metálica são muito visados, devido às inúmeras possibilidades de uso, como

escritórios, lojas, academias, depósitos, ginásios ou até mesmo garagens, são versáteis e colaboram para vãos livres maiores, possibilitando o usuário a escolher o tipo de perfil que melhor atenderá ao requisito empregado de sua função (CBCA, 2018).

Portanto, os galpões comerciais, são comumente de um único pavimento, classificados em relação a seus vãos em simples, geminados ou múltiplos. São compostos de sistemas estruturais combinados por pórticos regularmente afastados, com a cobertura comumente sendo de duas águas, com o uso de treliças e tesouras, com banzos paralelos (CBCA, 2018).

Para projetar um galpão comercial deve-se levar em conta todas as fases de projeto, garantindo a melhor resolução econômica e eficiente desde a concepção, até o término e manutenção, para que a vida útil da edificação seja preservada, levando em consideração a influência de todas as ações que possam gerar algum efeito na estrutura metálica.

1.1 Justificativa

O presente trabalho justifica-se pelo crescimento do uso do aço na construção civil, e com a tecnologia progredindo é de extrema importância analisar os diferentes tipos do material empregado em estruturas metálicas.

Alcançando os tipos de aço com menor consumo e com as melhores propriedades é possível disponibilizar ao projetista, opções de escolha para a finalidade que se deseja, sanando todas as necessidades do projeto, podendo este entregar um resultado de excelência, com baixo consumo de material.

1.2 Problematização

O mercado da construção civil encontra-se exigente em busca de soluções rápidas, duradouras e eficientes. Muitos métodos construtivos e materiais são insuficientes, quando o assunto é colaborar com o baixo consumo. As estruturas metálicas são eficientes e correspondem às expectativas de baixo consumo, mas é necessário verificar os diferentes tipos de aço para que seja determinada a possibilidade de diminuir ainda mais a quantidade de material no projeto.

Será possível diminuir o consumo de aço de uma estrutura metálica, alterando o tipo do material e da mesma forma garantir sua segurança?

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar qual o impacto do uso de diferentes tipos de aço no consumo do material para a estrutura metálica da cobertura de um galpão comercial de 20 m por 40 m através do dimensionamento por software.

1.3.2 Específicos

- Determinar a geometria da estrutura adotada para a análise e os tipos de perfis;
- Dimensionar um galpão comercial utilizando o software Cypecad;
- Analisar a estrutura com 5 tipos de aço, sendo eles: CF-55, ZAR-400, Q-40, ASTM A572 Grau 50 e ASTM A-36;
- Apresentar o tipo de aço com o menor consumo para a estrutura metálica da cobertura do galpão comercial em questão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O aço como principal material para as estruturas metálicas, possui diversas variedades, devido a isso, a classificação é criteriosa e os sistemas de classificação são revisados periodicamente. Podem ser classificados quanto a sua composição, quanto ao seu processo de acabamento e quanto ao produto acabado.

No Brasil, é obtido como base para as classificações dos aços que levam em consideração as composições químicas, os sistemas American Iron and Steel Institute (AISI) e o sistema da Society of Automotive Engineers (SAE) (CHIAVERINI, 2005).

2.1 Estruturas metálicas

Segundo a Associação Brasileira da Construção Metálica, ABCEM (2016), as construções metálicas obtiveram um enorme sucesso devido a características importantes na entrega final do produto, como a rapidez no momento da execução, a possibilidade de realizar projetos versáteis, o conforto acústico e térmico da edificação, pouco desperdício de materiais e uma probabilidade de custos menos elevados, se adequando tanto nas edificações comerciais, quanto nas edificações industriais e também residenciais.

As estruturas metálicas são sistemas construtivos combinados especialmente por elementos compostos por materiais metálicos, como o alumínio, ferro e o aço. Essas estruturas são amplamente utilizadas na construção civil e industrial devido às propriedades físicas envolvidas nos metais, em escala industrial, existem indicadores de sua utilização a partir de 1750 (PINHEIRO, 2005).

O aço sendo o material metálico mais utilizado, pode ser classificado em dois grupos de acordo com a composição química, sendo os aços-carbono e os aços de baixa liga. Os tipos de aço mais usados, são os aços-carbono, em que o aumento da resistência em relação ao ferro puro é produzido em menor escala pelo manganês e em maior escala pelo carbono. As porcentagens máximas de elementos adicionais de cobre são de 0,35%, de silício 0,60%, de

manganês 1,65% e de carbono 2,0%. (PFEIL, 2009).

Ainda de acordo com Pfeil (2009), o aumento do teor de carbono pode diminuir a ductilidade do aço, apesar de elevar a resistência do material, esse fator pode dificultar a soldagem dele. Em função ao teor de carbono, podemos obter a classificação de três categorias, sendo elas, baixo teor de carbono com a adição de carbono menor que 0,29%, médio teor de carbono com a adição entre 0,30% e 0,59%, e alto teor de carbono com sua adição entre 0,60% e 2,0% no máximo.

Os aços-carbono para estruturas devem obedecer a alguns requisitos como a soldabilidade, homogeneidade e ductilidade, suscetibilidade de corte através de chama, sem endurecer o material, resistência de forma razoável a corrosão e um valor elevado da relação entre limite de resistência e limite de escoamento (CHIAVEIRINI, 2005).

Figura 1: Propriedades mecânicas dos aços-carbono

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento f_y (MPa)	Resistência à ruptura f_u (MPa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7	-	240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	baixo	-	415
ASTM A325 (parafuso)	médio	635 (min.)	825 (min.)
EN S235	baixo	235	360

Fonte: Pfeil (2009).

A figura 1 mostra os principais aços-carbono utilizados em estruturas segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e as normas européias EN.

2.2 Tipos de perfis

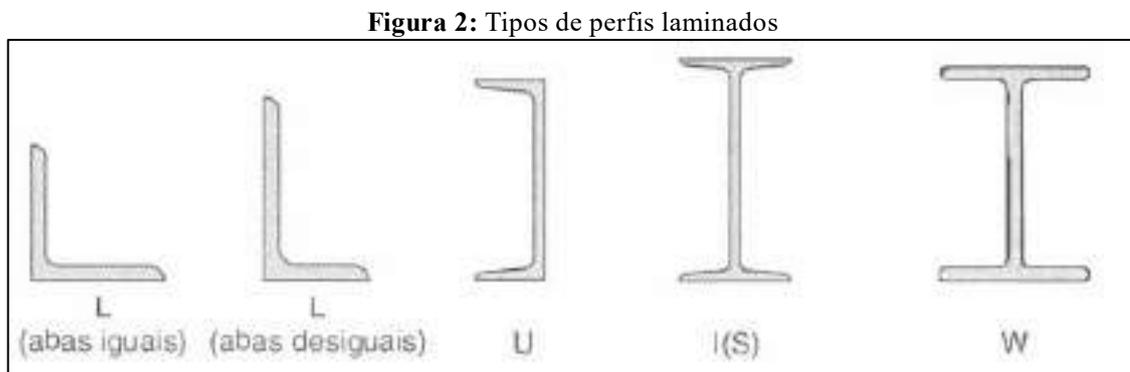
2.2.1 Perfis laminados

De acordo com Pinheiro (2005), os perfis laminados, que podem ser produzidos em configuração de I, U, L, H ou W são de ampla eficiência estrutural. Os perfis do tipo H, I e U, são fabricados em forma de grupos, em que os elementos de cada grupo possuem sua largura

das abas sendo variável e a altura sendo constante. Ao obter o espaçamento dos rolos laminadores, a variação da largura pode ocorrer, desse modo, a espessura da alma, terá variação idêntica a largura das abas.

Os perfis laminados são produzidos por meio de um processo denominado laminação a quente, que consiste na transformação mecânica dos metais para torná-los aptos ao uso pretendido. Esses perfis encontram uma vasta gama de aplicações em setores como a construção civil, a indústria naval, fundações e diversas outras indústrias. No entanto, o processo de laminação impõe certas limitações na fabricação, restringindo as dimensões das seções transversais, especialmente no que diz respeito à altura dessas seções. (AMORIM, 2019).

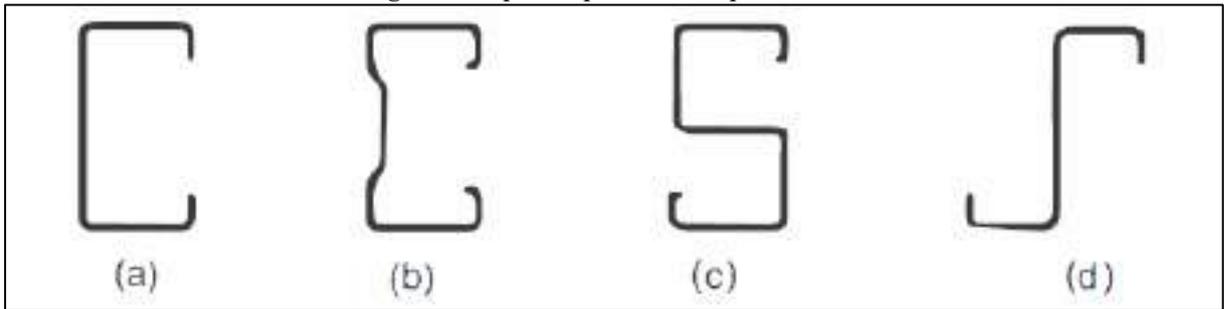
A figura 2 mostra os principais tipos de perfis laminados que são utilizados em estruturas.



Fonte: Pfeil (2009).

2.2.2 Perfis de chapa dobrada

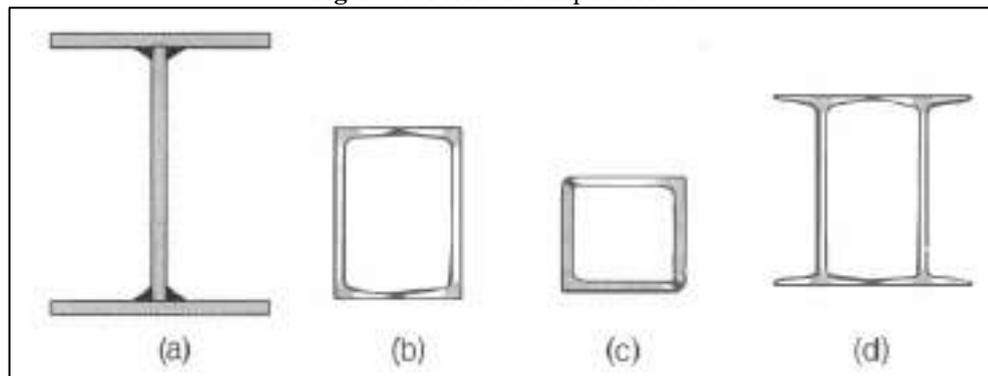
As chapas dobradas são fabricadas a frio, devido a serem de chapas metálicas de aços dúcteis. Há a utilização de gabaritos que na dobragem das chapas, nas prensas, delimitam os raios de dobragem em valores corretos mínimos, colaborando para que não ocorra a fissuração do aço na dobra. Não é recomendado para esse tipo de perfil, chapas finas menores que 3 mm, pois poderá ocorrer instabilidade estrutural (PFEIL, 2009). Na figura 3, a representação de alguns tipos de perfis laminados de chapa dobrada.

Figura 3: Tipos de perfis de chapa dobrada

Fonte: Pfeil (2009).

2.2.3 Perfis soldados e perfis compostos

Na fabricação dos perfis, ocorre a associação de perfis laminados simples ou de chapas, em que a ligação entre eles, é soldada. Há uma padronização de três séries de perfis soldados, sendo elas perfis tipo VS (vigas soldadas), perfis CVS (colunas e vigas soldadas) e CS (colunas soldadas). A justificativa do uso de perfis soldados, é para acolher as conveniências de cálculo em que o momento de inércia é superior nas duas direções basais (PFEIL, 2009). Na figura 4, a representação de alguns perfis soldados compostos.

Figura 4: Perfis de chapa Soldada

Fonte: Pfeil (2009).

2.3 Propriedade dos aços

2.3.1 Elasticidade

A elasticidade é a capacidade que o material tem de retornar a sua forma original, depois de sofrer o efeito de carregamento e de descarregamento, que são as tensões de compressão e tração. O módulo de elasticidade é a capacidade de um material retornar à sua forma original após ser submetido a uma força externa.

O aço é um material que em todos os momentos deve ser trabalhado com sua fase elástica, porque desse modo a sua deformação será proporcional ao esforço aplicado. A forma

em que se movimentam os átomos que constituem a rede cristalina do aço, é a causa da deformação elástica do material (PIGNATTA, 2010).

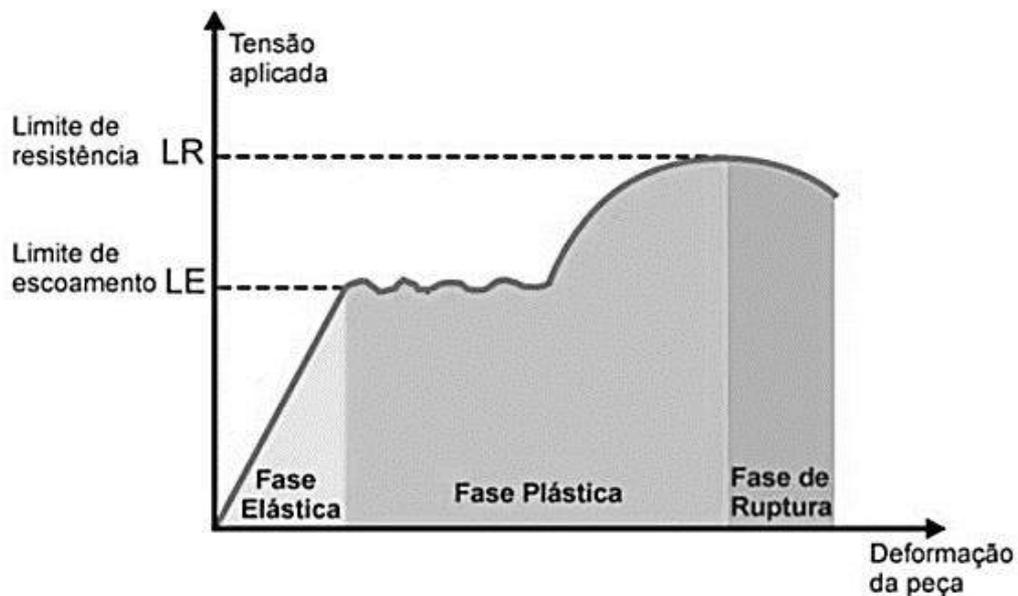
2.3.2 Ductilidade

A ductilidade é a capacidade que o aço tem de se deformar plasticamente sem que haja o seu rompimento. Quando ocorre o rompimento das vigas de aço por enormes deformações, significa que elas estão sujeitas a tensões elevadas, já o ferro quando é fundido, não se deforma antes da ruptura. Um aço dúctil é um aço que tem maior redução da área ou alongamento da ruptura (PIGNATTA, 2010).

2.3.3 Plasticidade

A plasticidade é causada pelo efeito das tensões superiores ou iguais ao limite do escoamento do aço, é uma deformação permanente. O ideal é que a tensão que corresponde ao limite do escoamento de atingir as seções transversais das barras seja impedida, limitando assim a deformação (BANDEIRA, 2008). A figura 5 exibe o diagrama de tensão-deformação de uma peça estrutural de aço.

Figura 5: Diagrama tensão-deformação



Fonte: Bandeira (2008).

2.3.4 Tenacidade

A tenacidade é a capacidade do aço de absorver energia quando submetidos a um impacto. Um material dúctil com a mesma resistência de um material não-dúctil vai precisar

de uma quantidade elevada de energia para atingir a ruptura, sendo assim um material tenaz (BANDEIRA, 2008).

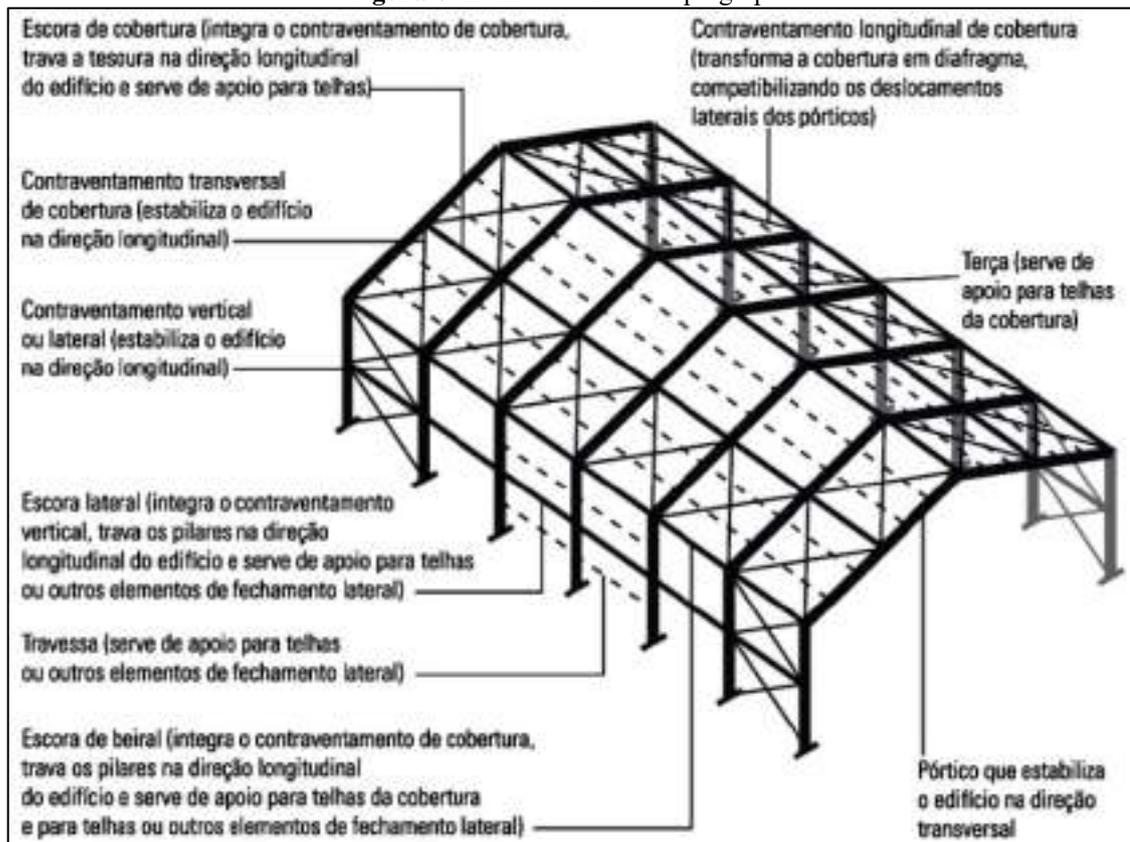
2.3.5 Resistência mecânica

É chamada de resistência mecânica, a capacidade que o aço tem de suportar as forças externas de compressão ou tração, sem ser deformado permanentemente. Na compressão, ocorre o encurtamento da peça no sentido de aplicação da força, já na tração, ocorre o alargamento da peça no sentido da força aplicada, a ABNT NBR 8800 (2008) classifica alguns tipos de aços estruturais a serem usados na construção civil (PIGNATTA, 2012).

2.4 Estruturas de cobertura

As estruturas de um galpão comercial comum com a cobertura a duas águas, por exemplo, e com um único vão transversal, possuem como elementos estruturais as terças, as treliças do beiral, as estruturas de contraventamento lateral, estruturas de contraventamento da cobertura e as tesouras treliçadas (CBCA, 2018). . A figura 6 exibe um detalhamento sobre as estruturas de um galpão comercial como um todo.

Figura 6: Edifício baixo do tipo galpão



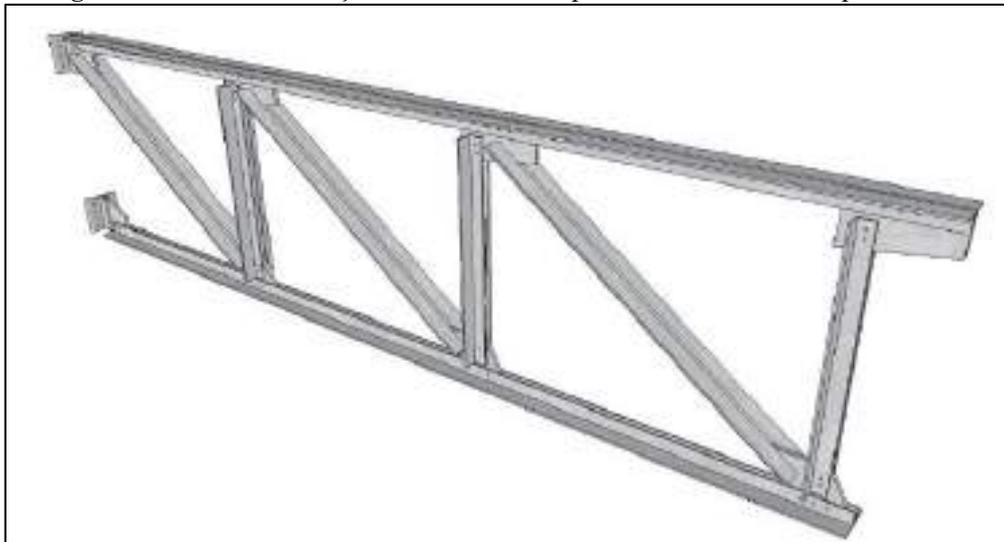
Fonte: Fakury (2016).

Os galpões comerciais segundo Bellei (2010) são edifícios que contemplam diversos fins como fábricas, almoxarifados, oficinas, hangares ou depósitos. De acordo com Yopanan (2007), entre os principais componentes de um galpão são os pórticos simples ou múltiplos na estrutura principal, na cobertura as telhas e as terças, no fechamento as longarinas e os elementos que farão a vedação e os elementos de contraventamento fazendo o travamento e combatendo ações verticais e horizontais sendo geralmente barras de aço em formato de X.

De acordo com o CBCA (2018), um dos elementos principais de uma estrutura metálica de cobertura, é a tesoura treliçada, em que é formada por banzos paralelos com montantes diagonais e verticais, obtendo o formato de triângulos que são unidos por chapas intermediárias e chapas de conexão.

A figura 7 exibe o modelo de uma tesoura treliçada metálica de cantoneiras duplas com uniões em chapas Gusset, utilizada para o projeto de um galpão comercial. Chapas do tipo Gusset, são chapas em que seus nós agem como ponto de articulação da estrutura.

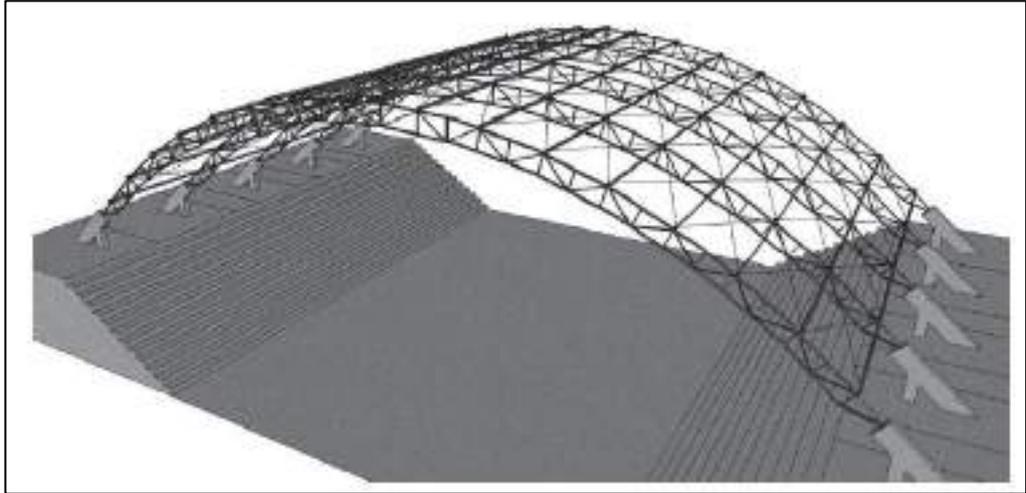
Figura 7: Detalhe de treliça de cantoneiras duplas com uniões em chapas Gusset.



Fonte: CBCA (2018).

Além dos galpões comerciais com duas águas, outros tipos de galpões fornecem a mesma segurança e capacidade, possibilitando a escolha da disposição dos telhados de diferentes formas. As figuras 8, 9 e 10, representam diferentes tipos de disposição de telhados com estrutura metálica.

Figura 8: Galpão em arco



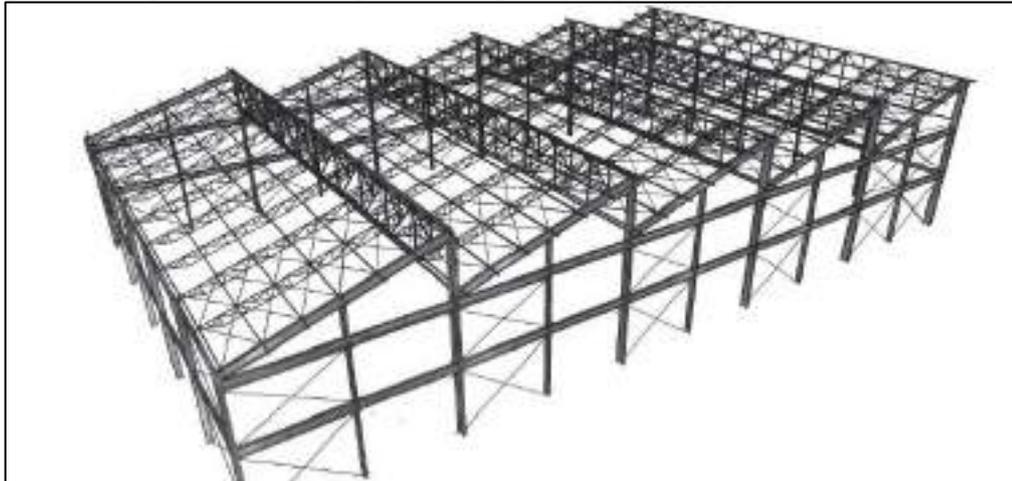
Fonte: CBCA (2018).

Figura 9: Galpão geminado com meias-águas no sentido transversal



Fonte: CBCA (2018).

Figura 10: Galpão em Shed com pórticos em perfis I, vigas mestras e secundárias em treliças.



Fonte: CBCA (2018)

Os galpões em arco são indicados para locais que estão sujeitos a intempéries do clima, pois possuem a capacidade de escoamento da água e de acabar com as infiltrações além de garantir maiores condições acústicas para o ambiente. Já o galpão tipo Shed, possui a vantagem de ser realizado em dois tipos de vãos, simples ou duplo, possibilitando a iluminação e ventilação de forma natural. (CBCA,2018)

2.5 Dimensionamento

O dimensionamento de estruturas metálicas, para ser realizado com êxito, requer que as normas sejam seguidas da forma adequada. Algumas das normas principais para o projeto de dimensionamento de estruturas metálicas são a ABNT NBR 6120 (2019), ABNT NBR 8681 (2003), ABNT NBR 6123 (1988), ABNT NBR 6355 (2012), ABNT NBR 8800 (2008) e ABNT NBR 14762 (2010), estas a fim de evitar colapsos e garantir a segurança da estrutura.

2.5.1 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações ABNT NBR 6120 (2019)

A norma tem por objetivo determina as ações mínimas a serem consideradas para o cálculo de estruturas. As causas que suscitam esforços solicitantes capazes de alterar ou produzir as deformações ou o estado de tensão nos elementos estruturais podem ser denominadas ações.

Devem ser levadas em consideração as ações variáveis, as ações permanentes e as ações excepcionais. Na categoria de ações variáveis, se enquadram as cargas variáveis, que são cargas que induzem o efeito de ressonância na estrutura, como por exemplo, movimentos de máquinas, danças ou saltos. Ainda se enquadram em ações variáveis as forças horizontais, as ações de veículos, ações de construções, peso específico de materiais de armazenagem entre outros.

As ações permanentes englobam o peso específico dos materiais de construção, o peso próprio da estrutura, o peso de componentes construtivos os empuxos e as pressões hidrostáticas, já as ações excepcionais são ações em que a probabilidade de ocorrer na vida útil da edificação é muito baixa e a sua duração é extremamente curta, em exemplos, explosões, enchentes ou choque de veículos.

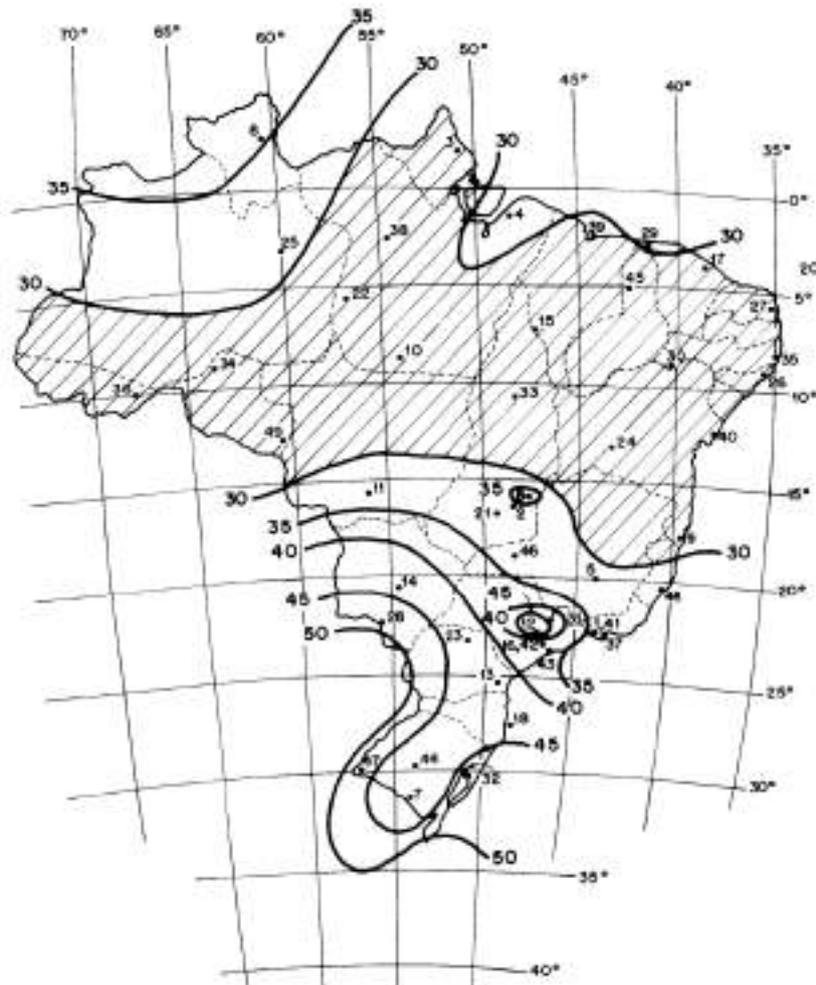
2.5.2 Forças devidas ao vento em edificações ABNT NBR 6123 (1988)

A norma expõe as condições que são estabelecidas para os cálculos de uma edificação em consideração das forças que ocorrem devidos á ação do vento, ação dinâmica e estática. As forças que o vento causa deve ser calculado de modo separado para as partes das

estruturas, para os elementos de vedação e suas fixações, e para a estrutura como um todo. A norma ainda classifica os tipos de vento como barlavento, sobrepessão, sucção, sotavento e reticulado.

Deve-se levar em consideração o fator topográfico (S1) que classifica o relevo do terreno, com morros e taludes, fracamente acidentados ou terreno plano. Ainda, o fator de rugosidade do terreno, a altura e as dimensões da edificação sobre o terreno (S2), que analisa o efeito combinante da modificação de velocidade do vento com a rugosidade e altura acima do terreno. Por fim, o fator estático (S3) que se baseia em julgamentos estatísticos levando em consideração a vida útil da edificação e o grau de segurança requerido. A figura 11 apresenta o gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil com intervalos de 5 m/s.

Figura 11: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

2.5.3 Perfis estruturais de aços formados a frio – Padronização ABNT NBR 6355 (2012)

A norma em questão trata dos perfis estruturais de aço formados a frio, em que os requisitos são de processo, considerando os materiais, a tolerância das chapas e dos perfis, os aspectos superficiais respeitando a condição de isenção de defeitos que comprometam a fabricação e eficiência das estruturas, eliminando cortes, rebarbas ou marcas de ferramentas. Algumas imperfeições pequenas podem ser toleradas.

Ainda é necessário considerar a identificação e acondicionamento dos perfis. A identificação deve conter a série do perfil, o número da norma, a especificação do tipo de aço que foi utilizado, o seu processo de conformação, a marca de quem o fabricou, entre outros. Os perfis, não devem sofrer danos no seu manuseio, transporte e armazenamento.

Além dos requisitos citados, é imprescindível realizar as inspeções visuais, dimensionais, realizar as certificações de qualidade do material e definir a rejeição ou aceitação de cada perfil.

2.5.4 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas ABNT NBR 8800 (2008)

Nesta norma está às especificações de projeto de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios a temperatura ambiente abrangendo os perfis de aço soldados ou laminados, de seção tubular com costura ou sem costura com as ligações realizadas com soldas ou parafusos com o foco exclusivo em perfis de aço não híbridos. O projeto envolvendo estruturas mistas é o conjunto de desenhos de projeto, cálculos estruturais, desenho das formas e armações indicativas as partes que são feitas de concreto.

A norma ainda compreende condições que são específicas para os aços, a aplicabilidade, as barras prismáticas submetidas à força axial de compressão e tração, momento fletor e força cortante, barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes, barras de seção variável, mesas e almas de perfis I e H submetidas a forças transversais localizadas, rigidez das ligações entre viga e pilar e ainda os estados-limites.

Os estados limites ocorrem quando a estrutura não satisfaz algum dos seus objetivos de desempenho e de segurança. São classificados em estados limites últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS) e está ligado ao fato de a estrutura sofrer com cargas excessivas, ocasionando deformações e vibrações intensas.

Quando ocorre a averiguação de um estado limite-último, é verificada se a relação do esforço solicitante de cálculo (S_d) e o esforço resistente de cálculo (R_d) é menor ou igual a 1,0. O ELU pode ocorrer de forma simultânea devido a mais de um esforço solicitante. Nestas

ocasiões, usa-se um coeficiente de ponderação. Para evitar o ELS a ABNT NBR 8800 (2008) estabelece valores que são permitidos para o deslocamento na estrutura.

2.5.5 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio ABNT NBR 14762 (2010)

A norma em questão determina os requisitos básicos que necessitam ser seguidos, baseados no método dos estados-limites para o dimensionamento de perfis utilizados em estruturas de aço, formados a frio em temperatura ambiente. Perfis esses, contando em sua constituição tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, com suas conexões em soldas ou parafusos. Os perfis formados a frio, são perfis adquiridos por dobramento na prensa dobradeira, de bobinas ou de tiras cortadas de chapas, ou ainda formados através da conformação contínua no processo de matrizes rotativas, pelas bobinas laminadas a quente ou a frio, podendo ser revestidas ou não.

2.6 Principais softwares do mercado

De acordo com Aurélio (2022), há no mercado diversos softwares que podem ser empregados para o projeto de estruturas metálicas. Entre eles está o Cypecad, software responsável por projetos estruturais metálicos e de concreto armado, protendido ou pré-moldado, e com um atributo excepcional, podendo mesclar dois sistemas estruturais juntos, possibilitando maiores opções para o projetista no momento da sua concepção e detalhamento estrutural.

Apesar de Cypecad ser um software muito utilizado no mercado, o software brasileiro TQS também possui o seu destaque, com a tecnologia BIM (Building Information Modeling), é utilizado para projetos metálicos, alvenaria estrutural, concreto armado, pré-moldado e concreto protendido, possibilita o lançamento de todos os elementos estruturais, sua análise, o dimensionamento e o detalhamento da estrutura.

O software mCalc 3D também é muito utilizado para a análise e dimensionamento de estruturas de aço, possibilitando ao usuário um dimensionamento interativo da estrutura, utilizando diversas combinações de perfis formados a frio, ou laminados. Entre os principais softwares do mercado, estão o Metálicas 3D, da mesma forma utilizado no cálculo estrutural, dimensionando além das estruturas metálicas, as estruturas de madeira e alumínio. O usuário do software possui a possibilidade de representar o desenho na forma de cotas, informando as dimensões de projeto ou fazendo a importação do arquivo.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

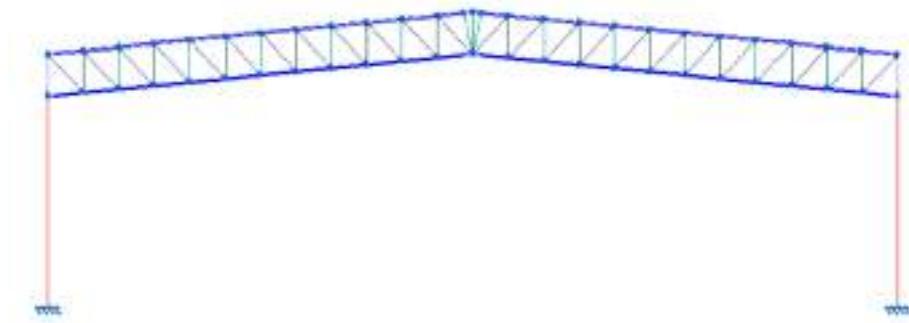
O presente trabalho tem como objetivo a verificação do consumo de aço por metro quadrado, para 5 diferentes tipos de aço, de uma mesma estrutura metálica da cobertura de um galpão comercial com perfis de aço dobrado.

3.1 Detalhamento do galpão

A estrutura metálica estudada no presente trabalho se trata da estrutura de cobertura de um galpão comercial com sua área equivalente a 800 metros quadrados, contendo as dimensões de 20 metros de largura e 40 metros de comprimento (proporção 1:2), tem pilares pré-moldados em concreto com dimensões de 25x50 cm, sendo analisada somente a estrutura metálica da cobertura.

Essa concepção estrutural foi adotada devido ao uso elevado de galpões com finalidade comercial, como em lojas, escritórios ou academias ao longo dos anos. O galpão possui a distância entre pórticos de 5 metros e o pé direito de 5 metros. A estrutura metálica analisada é de duas águas, e possui um formato treliçado com banzos paralelos, contendo 10% de inclinação e distância entre banzos de 1 metro, como representa a figura 12.

Figura 12: Vista frontal do galpão

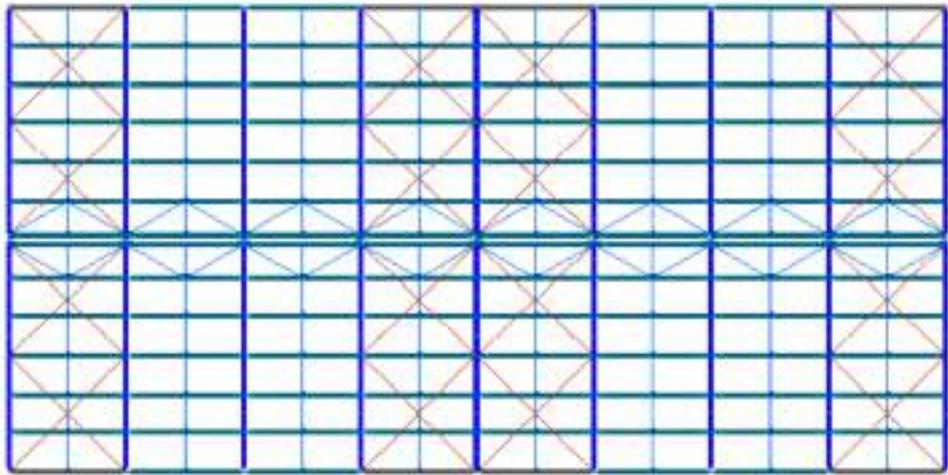


Fonte: Acervo próprio (2024).

A estrutura metálica em questão tem como seus elementos estruturais: banzo superior, banzo inferior, diagonais, montantes, terças de cobertura que são apoiadas de forma transversal nos banzos com o objetivo reduzir o comprimento de flambagem dos mesmos, e também com o papel de promover a fixação das telhas, fly braces, estruturas componentes auxiliares com formato de cantoneira para realizar o travamento do banzo inferior, impedindo a flambagem por compressão que possa ocorrer no banzo.

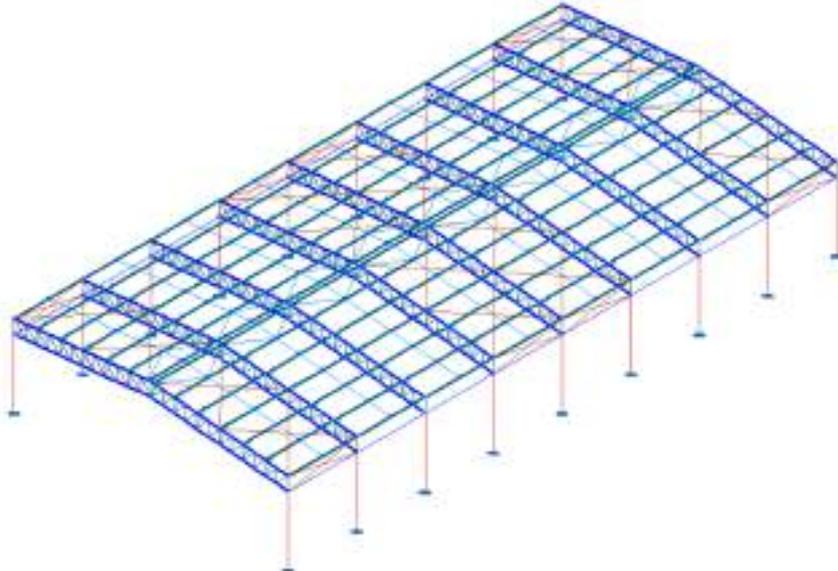
Ainda fazem parte dos elementos da estrutura a escora do beiral, corrente e frechal, sendo elementos rígidos e flexíveis que facilitam a montagem das terças de cobertura, e também os elementos de contraventamento. As figura 13 e 14 representam as vista superior e lateral da estrutura metálica analisada.

Figura 13: Vista superior do galpão



Fonte: Acervo próprio (2024).

Figura 14: Vista lateral do galpão



Fonte: Acervo próprio (2024).

3.2 Análises

3.2.1 Tipos de aço

Os cinco diferentes tipos de aços estruturais escolhidos se deram a uma pesquisa a aços com diferentes resistências, e o primeiro escolhido foi o ASTM A-36, aço com baixo teor de carbono facilitando os processos de soldagem, porém com um baixo limite de escoamento e baixo limite de resistência. Em sua composição aproximadamente 0,26% de carbono (C), 0,85% de manganês (Mn), 0,04% de fósforo (P) e 0,05% de enxofre (S) segundo o Guia do Aço (ArcelorMittal, 2019).

O segundo aço escolhido foi o ASTM A572 Grau 50, que se trata de um aço com baixa liga, com resistências melhores que o aço ASTM A-36. Sua composição possui cerca de 0,23% de carbono (C), 0,75% de manganês (Mn), 0,04% de fósforo (P) 0,05% de enxofre (S) e também possui a adição de aproximadamente 0,05% de Nióbio (Nb).

O aço escolhido para a terceira análise da estrutura, foi o aço Q-40 também de baixa liga, porém com uma resistência maior que os aços já citados, são compostos por aproximadamente 0,29 % de carbono (C), 1,40% de manganês (Mn), 0,05% de fósforo (P), 0,06% de enxofre (S), 0,004% de nióbio (Nb), 0,005% vanádio (V) e 0,18% de cobre (Cu) segundo a ABNT NBR 5004 (1981).

A quarta análise foi realizada com a escolha do aço ZAR 400 com baixo teor de carbono, porém com uma resistência elevada, possui em sua composição química indicada de acordo com a ABNT NBR 7013 (2013) 0,20 % de carbono (C), 0,20% de fósforo (P) e aproximadamente 0,04% de enxofre (S). E o quinto e último aço escolhido, com a maior resistência, foi o aço CF-55, aço com alto teor de carbono, que de acordo com a norma DIN 17200 possui em sua composição até 0,60% de carbono (C), 0,90% de manganês (Mn), 0,035% de fósforo (P) 0,03% de enxofre (S).

Esses 5 tipos de aço, ASTM A-36, ASTM A572 GRAU50, Q-40, ZAR 400 E CF – 55, foram analisados para a mesma estrutura metálica, com o objetivo de obter a variação de consumo e se necessário do tipo de perfil formado a frio empregado na estrutura. O tipo de aço para os elementos de contraventamento, corrente e frechal foi fixado o aço ASTM A-36 por serem barras de aço laminado então não se espera enorme variação no consumo de aço.

Na tabela 01, é possível verificar as propriedades mecânicas dos aços escolhidos para as análises da estrutura metálica de cobertura do galpão comercial em questão, que serão fundamentais para definir o consumo de cada tipo do material.

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos aços

TIPO DE AÇO	LIMITE DE ESCOAMENTO (Fy) (MPa)	LIMITE DE RESISTÊNCIA (Fu) (MPa)
ASTM A-36	250	400
ASTM A572 GR 50	345	450
Q-40	380	480
ZAR 400	400	450
CF – 55	550	570

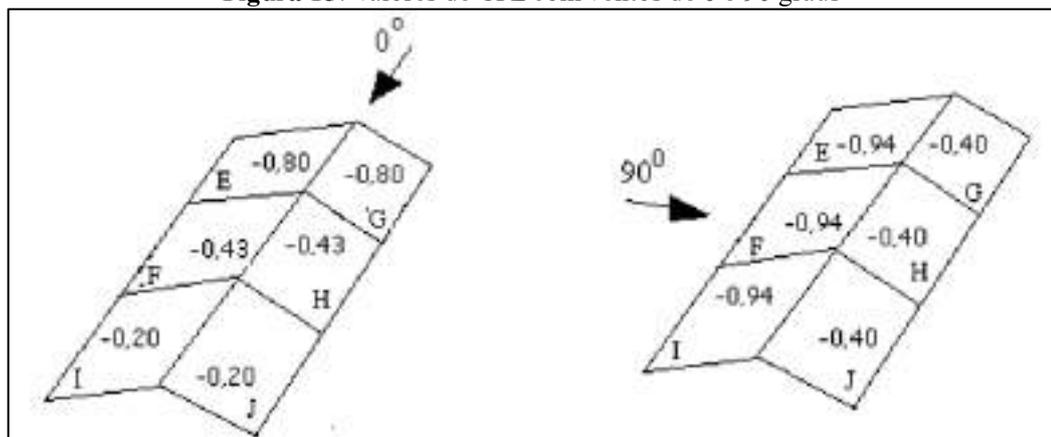
Fonte: Guia do Aço - ArcelorMittal (2019)

3.2.2 Ações na estrutura

As cargas consideradas foram o peso próprio da estrutura metálica, o peso das telhas, levando em consideração a utilização da telha termoacústica com EPS (isopor) com chapas de espessura de 5 mm com peso de 4,28 kg/m², a sobrecarga de 0,25 kN/m² conforme recomendado pela norma ABNT NBR 8800 (2008) e ainda as cargas de vento.

As cargas de vento foram calculadas de acordo com a ABNT NBR 6123 (1988), com o auxílio do software Visual Ventos, software este criado no ano de 2002 pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande Do Sul (FAPERGS), sendo utilizados os parâmetros S1 = 1,0 (relevo plano), S2 calculado em função das dimensões do galpão e S3 = 1,0 e a velocidade básica do vento de 30 m/s para a região de Sinop – MT.

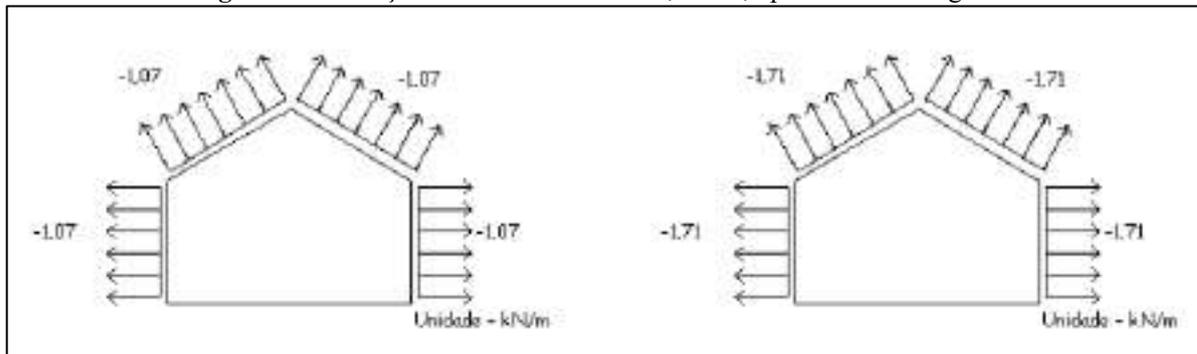
Com o auxílio do software, foi possível calcular a Velocidade Característica do Vento (Vk) de 26,4 m/s e a Pressão Dinâmica do Vento (q) igual a 427,24 N/m². Ainda foi possível obter valores de Coeficiente de Pressão Externa (CPE) calculados nas direções com ventos de 0 e 90 graus indicados na figura 15 a seguir.

Figura 15: Valores de CPE com ventos de 0 e 90 graus

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Para o Coeficiente de Pressão Interna (CPI) obteve-se os valores de esforços resultantes com as combinações levando em consideração um galpão com 4 faces igualmente permeáveis sendo adotados CPI de $-0,30$ e $0,0$. A figura 16 representa os esforços resultantes para ventos a 0 graus com os dois valores de CPI.

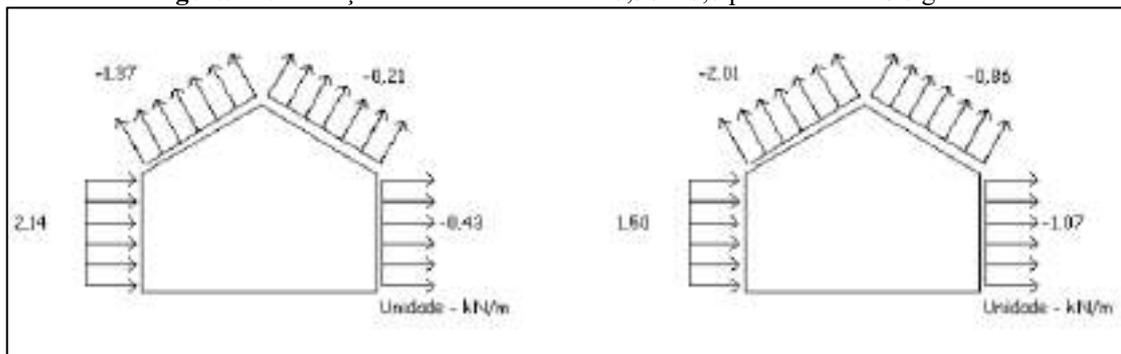
Figura 16: Esforços resultantes CPI de $-0,30$ e $0,0$ para ventos a 0 graus.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

A figura 17, representa os esforços resultantes com ventos a 90 graus, para ambos os valores de CPI, $-0,30$ e $0,0$ considerados no dimensionamento.

Figura 17: Esforços resultantes CPI de $-0,30$ e $0,0$ para ventos a 90 graus



Fonte: Acervo pessoal (2024).

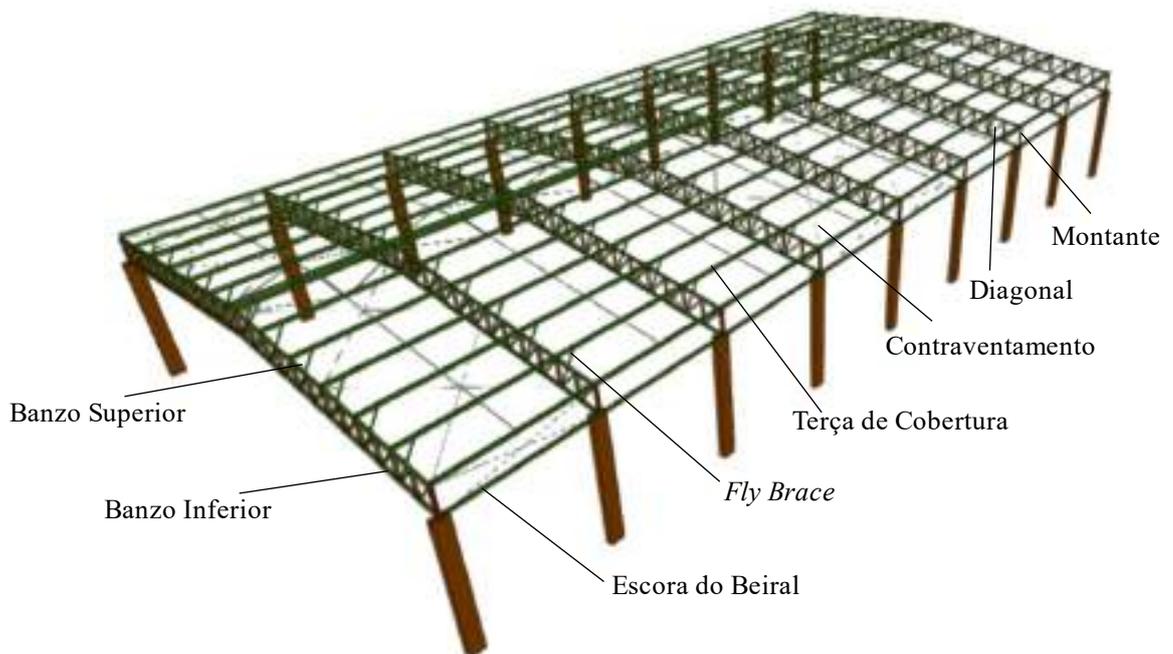
3.3 Dimensionamento

O dimensionamento do galpão comercial foi realizado no software Cypecad no módulo de estruturas metálicas, conforme a ABNT NBR 14762 (2010) para os aços formados a frio e ABNT NBR 8800 (2008) para os aços laminados. Iniciou-se o dimensionamento com o lançamento do pórtico frontal com 20 m de largura, contendo pilares em concreto armado, o banzo inferior e superior com distância de 1 m entre eles, montantes com a distância de $0,837$ m entre eles e as diagonais interligando os mesmos de maneira transversal.

O pórtico foi copiado com distância de 5 m, para poder ser lançado os demais elementos estruturais do galpão, e com 2 pórticos criados, foi possível lançar as terças e os demais elementos, como as *fly braces*. Posteriormente, o pórtico foi copiado com distâncias de 5 m, para poder compor o comprimento total do galpão de 40 m, resultando em 9 pórticos, após isso foram lançadas as escoras do beiral. Com o galpão com sua área correta, foram lançadas as correntes e frechais e as barras de contraventamento para garantir a estabilidade da estrutura e então foram definidos comprimentos de flambagem e flecha limite para todas as barras.

Com todos os elementos lançados, foi definido para o primeiro galpão, o aço do tipo CF-55 para os elementos de aço dobrado formados a frio, que são os banzos, montantes, diagonais, terças, escora do beiral, fly braces e para os elementos de contraventamento, correntes e frechais, foram adotados o aço ASTM A-36 para todos os galpões. Logo, com o dimensionamento utilizando o aço de maior resistência, para o de menor resistência, é possível obter a variação de consumo do material. A figura 18 representa o modelo 3D do galpão comercial.

Figura 18: Modelo 3D do galpão comercial



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Continuou-se o dimensionamento do galpão pelo software, sendo inseridos 6 planos de cargas distribuídos sobre a estrutura que foram citados no item 3.2.2 deste trabalho, sendo considerado o peso das telhas, levando em consideração a utilização da telha termoacústica

com EPS (isopor) com peso de 4,28 kg/m², a sobrecarga de 0,25 kN/m² conforme recomendado pela norma ABNT NBR 8800 (2008) e também as cargas de vento. O peso próprio da estrutura foi dimensionado pelo próprio software Cypecad.

As cargas de vento foram calculadas de acordo com a ABNT NBR 6123 (1988).

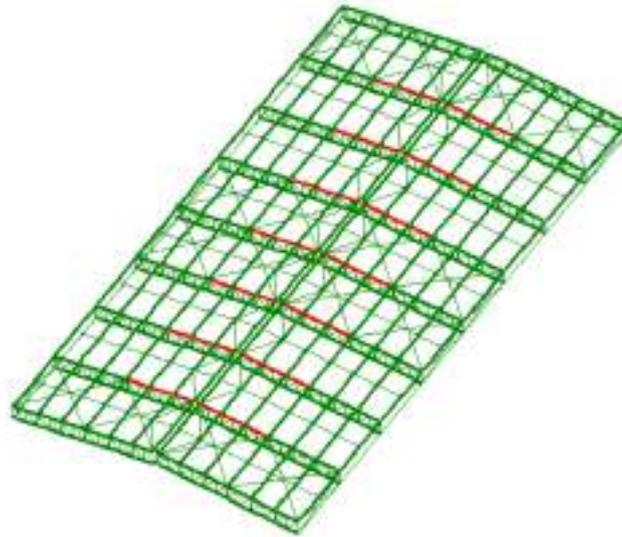
No cálculo do ELU, foram verificados os critérios de limite de esbeltez, resistência à tração, resistência à compressão, resistência à flexão nos eixos X e Y, resistência ao esforço cortante nos eixos X e Y, resistência à combinação de momento fletor no eixo Y e esforço cortante no eixo X, resistência à flexo-compressão e à flexo-tração e resistência à torção. No caso dos critérios não serem satisfeitos, é necessário manipular os modelos de perfis, até que todos estejam aptos a suportar as cargas e que deixem a estrutura o mais leve possível.

O primeiro galpão a ser dimensionado, foi com o aço de maior resistência, contendo limite de escoamento de 550 MPa e limite de resistência de 570 MPa. Com os planos de carga lançados, foi realizado o cálculo da estrutura considerando o Estado Limite Último (ELU), verificando a estabilidade global da estrutura.

Para o dimensionamento do segundo galpão, o arquivo com o projeto foi copiado, e após isso, foi alterado o tipo de aço para o aço ZAR 400, com um limite de escoamento de 400 MPa e limite de resistência de 450 MPa. Então, a estrutura metálica do galpão comercial foi novamente calculada.

O mesmo ocorreu para o terceiro, quarto e quinto galpão, o terceiro foi calculado com o aço Q-40. O quarto foi calculado com o aço ASTM A572 Grau 50, e o quinto e último galpão, foi utilizado o aço convencional ASTM A-36. A figura 19 representa o exemplo de estrutura metálica que não foi aprovado no cálculo do Estado Limite Último (ELU) utilizando o aço ASTM A-36, sendo necessárias alterações nas barras indicadas em vermelho.

Figura 19: Estrutura metálica do galpão.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Após o dimensionamento da estrutura metálica dos cinco galpões, foram extraídos os relatórios com as tabelas de resumo de material de cada um dos aços utilizados. Então, realizada a comparação de variação de consumo de todos os aços empregados.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Os 5 tipos de aço foram analisados e foi possível obter o consumo em kg/m² que cada um dos tipos do material contabilizou para o galpão comercial. O primeiro galpão calculado, com o aço do tipo CF-55 obteve o consumo de 8.322,06 kg de aço dobrado, distribuídos em perfis do tipo U, L e UE. Para o aço laminado, se obteve o consumo de 881,28 kg.

A tabela 2 indica de forma resumida os elementos da estrutura, o perfil utilizado, suas dimensões e o consumo de aço utilizado na estrutura disponibilizada pelo software. Como a área do galpão é equivalente a 800 m², dividindo o consumo pela área do galpão, podemos obter o valor de quilogramas por metro quadrado que a estrutura metálica possui. O consumo do aço CF-55 desse galpão, foi de 10,40 kg/m² um galpão considerado o mais leve se comparado aos outros 4 tipos de aço estudados no presente trabalho.

Tabela 2: Resumo do galpão com aço CF-55

Elemento	Perfil	Dimensões	Aço	Consumo em kg	Consumo em kg/m ²
Banzo Superior	U	120X50	CF - 55	8.322,06	10,40
Banzo Inferior					
Montantes	L	2X 40X3			
Diagonais					
Terças	UE	140X70X14			
Fly Braces	L	40X3			
Escora do Beiral	UE	120X70X28			
Corrente e Frechal	L	40X3			
Contraventamento	BARRA	R 22,25	ASTM A-36	881,28	1,10
	BARRA	R 10			

Fonte: Acervo Próprio (2024).

O segundo galpão calculado, com o aço ZAR 400, obteve algumas pequenas seções de barras do banzo superior, localizadas na cumeeira, que não suportaram as cargas quando

submetidas a verificação, então foram necessárias alterações apenas nos banzos, que antes para o aço CF-55 estavam com o perfil U com dimensões 120x50, agora precisaram ser alterados para as dimensões 120x60, o restante dos elementos não foi afetado e não foi necessária a alteração.

Quando alteradas as dimensões dos perfis dos banzos, a estrutura atingiu 8.500,94 kg, para o aço dobrado, o aço laminado permaneceu com o mesmo consumo de 881,28 kg. Isso implica que o aço ZAR 400, obteve o consumo de 10,63 kg/m² de construção.

A diferença do limite de escoamento do aço CF-55 para o aço ZAR 400 é de 150 MPa, e a diferença do limite de resistência é de 120 MPa, isso implicou em uma diferença de consumo entre os dois tipos de aço de 178,88 Kg equivalente a 2,13% a mais do material. A tabela 3 indica o resumo das informações do segundo galpão quanto aos perfis, suas dimensões e o consumo.

Tabela 3: Resumo do galpão com aço ZAR 400

Elemento	Perfil	Dimensões	Aço	Consumo em kg	Consumo em kg/m ²
Banzo Superior	U	120X60	ZAR 400	8.500,94	10,63
Banzo Inferior					
Montantes	L	2X 40X3			
Diagonais					
Terças	UE	140X70X14			
Fly Braces	L	40X3			
Escora do Beiral	UE	120X70X28			
Corrente e Frechal	L	40X3			
Contraventamento	BARRA	R 22,25	ASTM	881,28	1,10
	BARRA	R 10	A-36		

Fonte: Acervo Próprio (2024)

O terceiro galpão analisado foi com o aço Q-40, e quando ocorreu a alteração do material e efetuado novo cálculo, por ser pequena a diferença do limite de escoamento e de resistência, o galpão obteve erro nas mesmas barras quando alterados para o aço ZAR 400, nos banzos superiores.

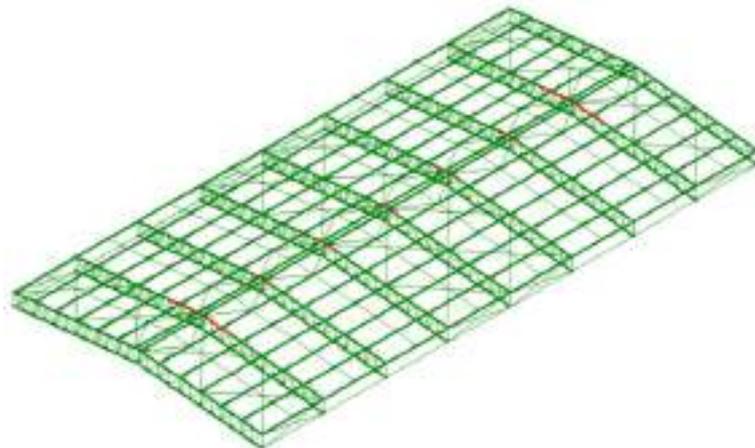
A diferença no limite de escoamento do ZAR 400 para o Q-40 é de 20 MPa, e no limite de resistência, a diferença é de 30 MPa com o aço ZAR 400 com maior limite de resistência. Os banzos necessitaram novamente de alteração como indica a tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Resumo do galpão com aço Q-40

Elemento	Perfil	Dimensões	Aço	Consumo em kg	Consumo em kg/m ²
Banzo Superior	U	120X70	Q-40	8.679,83	10,85
Banzo Inferior					
Montantes	L	2X 40X3			
Diagonais					
Terças	UE	140X70X14			
Fly Braces	L	40X3			
Escora do Beiral	UE	120X70X28			
Corrente e Frechal	L	40X3			
Contraventamento	BARRA	R 22,25	ASTM	881,28	1,10
	BARRA	R 10	A-36		

Fonte: Acervo Próprio (2024).

É possível observar o consumo do aço Q-40 maior do que o consumo do aço ZAR 400 e CF-55, a diferença de consumo do aço Q-40 foi de 2,08% para o ZAR 400 com o valor de 178,89 kg, e se comparado ao aço CF-55, a diferença de consumo é de 4,20% resultando em 357,77 kg, justamente pelo aumento da dimensão dos banzos inferiores e superiores. O quarto galpão analisado, contou com o aço ASTM A572 Grau 50, e quando submetido ao novo cálculo, a estrutura metálica do galpão não foi aprovada em maiores seções de barras dos banzos superiores, como indica a figura 20.

Figura 20: Estrutura metálica do galpão aço ASTM A572 Grau 50

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Foi necessária a alteração do banzo inferior e superior e dos montantes e diagonais. Os banzos inferiores e superior com a utilização do aço CF-55 eram de perfil U com dimensões de 120x50, para o aço ASTM A572 Grau 50, foram necessários utilizar a dimensão de 170x70 para suportar todas as cargas. Ocorreu ainda a variação nos montantes e diagonais

que para o aço CF-55, ZAR 400 e Q-40 eram formato L com dimensões 40x3, agora para o aço ASTM A572 Grau 50 são necessárias as dimensões de 50x3 como é representado na tabela 5.

Tabela 5: Resumo do galpão com aço ASTM A572 Grau 50

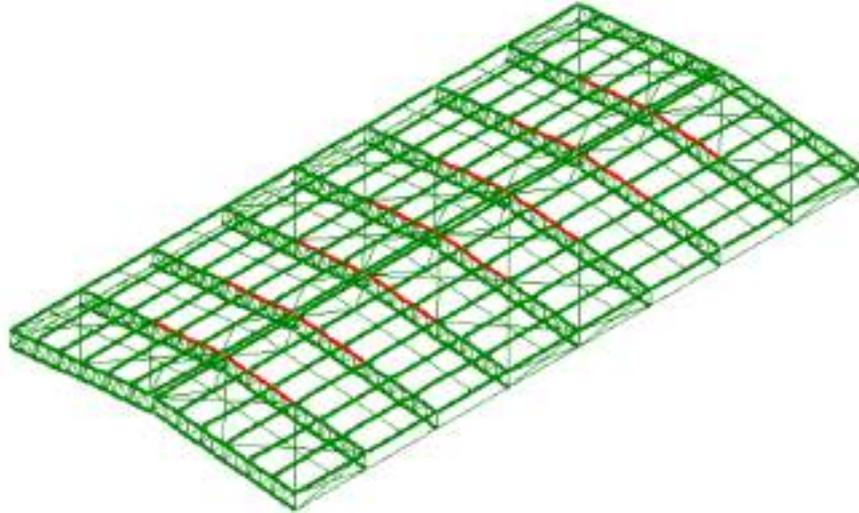
Elemento	Perfil	Dimensões	Aço	Consumo em kg	Consumo em kg/m ²
Banzo Superior	U	170X70	ASTM A572 Grau 50	9.559,37	11,95
Banzo Inferior					
Montantes	L	2X 50X3			
Diagonais					
Terças	UE	140X70X14			
Fly Braces	L	40X3			
Escora do Beiral	UE	120X70X28			
Corrente e Frechal	L	40X3			
	BARRA	R 22,25	ASTM A-36	881,28	1,10
Contraventamento	BARRA	R 10			

Fonte: Acervo Próprio (2024).

O aço ASTM A572 Grau 50, com uma diferença no limite de escoamento de 205 MPa e limite de resistência de 120 MPa se comparado ao aço CF -55, obteve maior consumo de aço, o que já era esperado. A diferença de consumo para o aço CF-55 resultou em 1.237,31 Kg, impactando consideravelmente o peso da estrutura com 13,84% a mais de material. Comparando com o aço ZAR 400, a diferença no consumo é de 1.058,43 kg, equivalente a 11,72%, já para o aço Q-40 a diferença é de 9,65% e 879,54 Kg, dado ao fato de obterem diferentes valores para o limite de escoamento e limite de resistência.

A quinta e última estrutura metálica do galpão comercial a ser analisada, utilizou o aço ASTM A-36, com limite de escoamento com o valor de 250 MPa, e limite de resistência com o valor de 400 MPa. Quando submetido ao cálculo, teve a reprovação das barras dos banzos superiores, representada na figura 21.

Foi necessária a alteração do perfil dos banzos de U para UE, sendo verificado o encaixe dos montantes e diagonais no tipo de perfil, para ser possível suportar todas as cargas e obter aprovação no ELU. Os banzos que anteriormente na utilização do aço CF-55, eram no perfil U 120x50, agora para o ASTM A-36 necessitam ser no perfil CE com dimensões de 120x70x28, os montantes e as diagonais permanecem perfil L com dimensões 50x3 como na estrutura utilizando o aço ASTM A572 Grau 50, as terças também foram alteradas para as dimensões de 120x70x28 na expectativa de deixar a estrutura mais leve.

Figura 21: Estrutura metálica do galpão aço ASTM A-36

Fonte: Acervo pessoal (2024).

A diferença no consumo é de forma elevada se comparado aos outros materiais testados. A tabela 6 representa o consumo do aço ASTM A-36 e demais informações, para os elementos da estrutura metálica em estudo.

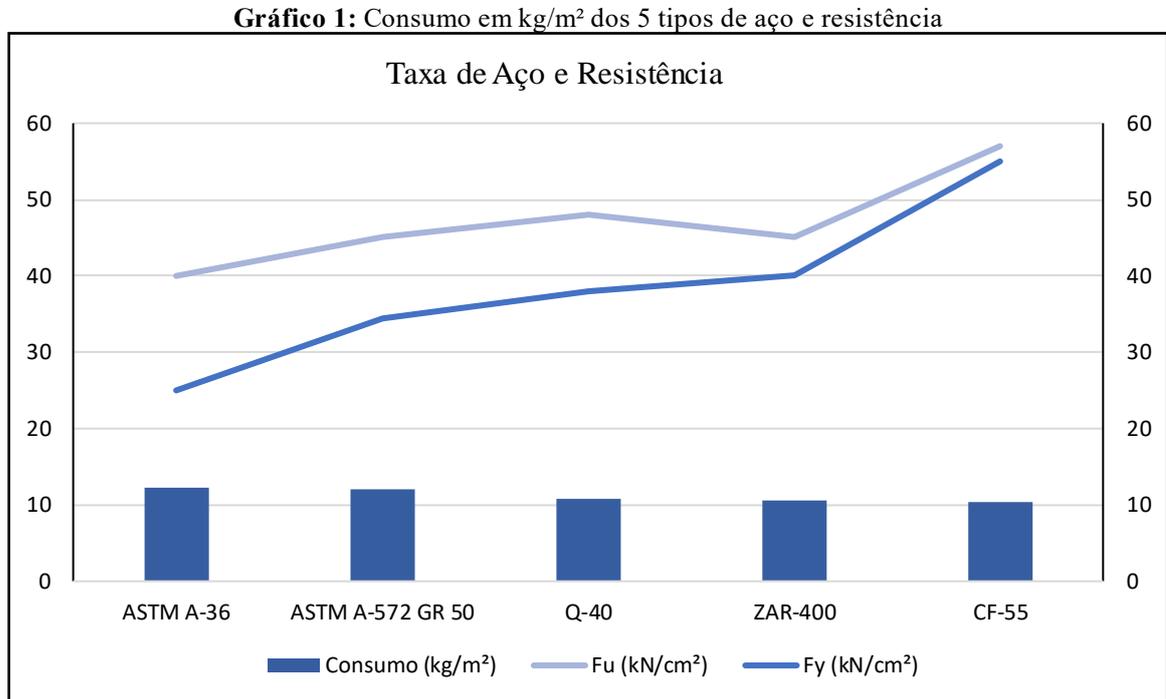
Tabela 6: Resumo do galpão com aço ASTM A-36

Elemento	Perfil	Dimensões	Aço	Consumo em kg	Consumo em kg/m ²
Banzo Superior	UE	120X70X28	ASTM A-36	9.736,58	12,17
Banzo Inferior					
Montantes	L	2X 50X3			
Diagonais					
Terças	UE	120X70X28			
Fly Braces	L	40X3			
Escora do Beiral	E	120X70X28			
Corrente e Frechal	L	40X3			
	BARRA	R 22,25	ASTM A-36	881,28	1,10
Contraventamento	BARRA	R 10			

Fonte: Acervo Próprio (2024).

O consumo de aço para a estrutura metálica utilizando o material do tipo ASTM A-36, foi de 12,17 kg/m². A diferença entre a primeira estrutura analisada com o aço CF-55 é de 1,77 kg/m², isso implica que a diferença no consumo total analisado entre o ASTM A-36 e o CF-55, é de 1.414,52 kg em porcentagem 15,67%. Sendo assim o galpão comercial com a estrutura com maior peso das 5 analisadas.

O gráfico 1 indica os valores da taxa de aço em kg/m^2 de construção e a resistência de cada tipo de aço. Pode-se concluir que, os aços de maiores resistências, obtiveram de forma gradativa menor consumo de aço para a estrutura metálica analisada do galpão comercial.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado analisou a estrutura metálica de cobertura de um galpão comercial, utilizando cinco tipos diferentes de aço, cada um com distintos limites de escoamento e resistência. Foi possível observar variações significativas no consumo de material ao longo das análises, conforme as resistências dos materiais.

Verificou-se que, quanto maiores os limites de escoamento e resistência, mais leve se tornou a estrutura, sendo aprovada nos cálculos estruturais submetidos. Entre os aços utilizados, CF-55, ZAR 400, Q-40, ASTM A572 Grau 50 e ASTM A-36, o aço que apresentou menor consumo de material foi o CF-55, com um consumo de 10,40 kg/m². Por outro lado, o maior consumo foi observado com o aço ASTM A-36, que apresentou 12,17 kg/m². A diferença entre eles é de 15,67%.

Os resultados indicam que é possível reduzir o consumo de aço em uma estrutura metálica de cobertura ao alterar o tipo de material utilizado. A análise realizada neste trabalho, pode possibilitar ao projetista avaliar os custos de cada material de acordo com o seu consumo, de modo que a estrutura seja econômica. Além disso, a estrutura de cobertura sendo mais leve, os pilares se tornam esbeltos e as fundações menos onerosas.

REFERÊNCIAS

ABCEN, 2016. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/>>. Acesso em: 20 out. 2023.

AMORIM, R. L. X. **Estudo de caso comparativo entre vigas mistas compostas por perfis laminados e formados a frio.** 2019. Galpões para Usos Gerais. CBCA 2010. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/>>. Acesso em: 21 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14762:** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

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 6355:** Perfis estruturais de aços formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

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

AURÉLIO, R. **Planilhas Estruturais, 2022.** Disponível em: <<https://planilhasestruturais.com.br/sobre/>>. Acesso em 20 out. 2023.

BANDEIRA, A. A. Almeida A. C. **Análise do uso de estruturas de aço em edificações habitacionais de interesse social.** Belo Horizonte, 2008.

BELLEI, I. I. H. **Edifícios Industriais em Aço. Projeto e Cálculo.** 6. ed. São Paulo: PINI, 2010.

CBCA, 2018. Disponível em: <<https://www.cbcaacobrasil.org.br/site/biblioteca.php?&bsc=ativar&bscPgn=1&bscQtdReg=10&txtBscKeyword=&chkCat%5B%5D=7>>. Acesso em: 21 out. 2023.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos.** 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

FAKURY, H. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto.** 1. ed. São Paulo, 2016.

GUIA DO AÇO, 2019. Disponível em <<https://brasil.arcelormittal.com/pdf/produtos-solucoes/catalogos/catalogo-guia-aco.pdf?asCatalogo=pdf>>. Acesso em: 19 out. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022. Disponível em <<https://acobrasil.org.br/site/>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

NARDIN, F. A importância da estrutura metálica na construção civil. Itatiba, 2008. Disponível em: <<https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1268.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

PFEIL, W. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
PIGNATTA, V. Estruturas de Aço Para Edifícios: Aspectos Tecnológicos e de Concepção. 1. ed. São Paulo, 2010.

PINHEIRO, A. C. Estruturas Metálicas. 2. ed. São Paulo, 2005.

YOPANAN, C. Estruturas de Aço, Concreto e Madeira. 1. Ed. São Paulo. 2007.