



JÉSSICA ASSAID MARTINS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DOS PROJETOS E ORÇAMENTOS DE
DIFERENTES SISTEMAS DE ESTRUTURAS METÁLICAS
PARA UMA PORTARIA DE CONDOMÍNIO**

LAVRAS – MG

2023

JÉSSICA ASSAID MARTINS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DOS PROJETOS E ORÇAMENTOS DE
DIFERENTES SISTEMAS DE ESTRUTURAS METÁLICAS
PARA UMA PORTARIA DE CONDOMÍNIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador:

Prof. Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues

LAVRAS – MG

2023

JÉSSICA ASSAID MARTINS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DOS PROJETOS E ORÇAMENTOS DE
DIFERENTES SISTEMAS DE ESTRUTURAS METÁLICAS
PARA UMA PORTARIA DE CONDOMÍNIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues UFLA

Prof. Dr. Paulo Roberto Borges UFLA

Prof. Dr. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro UFLA

Orientador:

Prof. Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues

LAVRAS – MG

2023

RESUMO

A elaboração e o dimensionamento de estruturas de aço são processos fundamentais para a construção de edifícios e outras estruturas que exigem alta resistência e durabilidade. A busca por métodos construtivos mais eficientes, que possibilitam a racionalização de suas variáveis, como a precisão no quantitativo de materiais, incremento na velocidade de montagem, minimização de perdas e controle rigoroso da qualidade é uma grande tendência.

Tendo isso em mente, o objetivo desse trabalho foi dimensionar três estruturas em aço para a cobertura de portaria de um condomínio com vão de 20m, e avaliar qual o melhor custo benefício entre 3 tipos de sistemas estruturais, considerando a manutenção periódica exigida, peso, agilidade de fabricação e custo de cada sistema.

Para isso, foi utilizado o *software* Metálics 3D para o dimensionamento dos três tipos de estrutura metálica que atendeu ao mesmo projeto arquitetônico, sendo uma estrutura em perfil W que venceu todo o vão de 20 m, uma estrutura em perfil W com pilares intermediários e uma estrutura treliçada com pilares intermediários. Para cada projeto, foram realizados 3 orçamentos em empresas da região de Perdões-MG e também o levantamento de custos de insumos via base de dados da SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil).

Neste contexto, com base nos dados apresentados, concluiu-se que as estruturas metálicas que utilizam o sistema de estrutura treliçada compostas por perfis de chapa dobrada resultam no sistema estrutural mais leve, e com menor custo, quando comparado com estruturas de perfis laminados. No entanto, a utilização dos perfis laminados do tipo W como viga principal na fachada da cobertura, quando comparados com a viga treliçada em perfis de chapa dobrada, resultou numa estrutura mais robusta e que tem maior durabilidade ao longo do tempo, sem a necessidade de manutenção periódica em curtos períodos, porém com maior custo.

Com base nos dados e discussões apresentadas, foi possível afirmar que o custo final da estrutura metálica treliçada é 8,04% menor que a estrutura em perfil do tipo W com pilares intermediários. Verificou-se também que as vigas treliçadas necessitam de maior tempo para fabricação e acabamento, e que as vigas do tipo W proporcionam maior peso da estrutura.

Dessa forma, aos olhos do cliente, é possível pautar a escolha entre os sistemas considerando a manutenção periódica exigida, peso, agilidade de fabricação e custo de cada tipo apresentado.

Palavras-chave: Estruturas de aço. Perfis formados a frio. Perfis laminados. Coberturas isoladas. Consumo de aço.

PÁGINA DE APROVAÇÃO COM SELO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Propriedades Mecânicas de Aços Carbono.....	12
Figura 2 – Propriedades Mecânicas de Aços Baixa Liga.....	12
Figura 3 – Seções transversais dos perfis laminados comerciais	14
Figura 4 – Seções transversais dos perfis laminados comerciais	15
Figura 5 – Modelo construtivo de um galpão com viga treliçada	16
Figura 6 – Detalhes dos elementos de uma tesoura.....	17
Figura 7 – História da SINAPI	18
Figura 8 – Fluxograma das etapas deste trabalho.....	20
Figura 9 – Projeto arquitetônico da cobertura.	21
Figura 10 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário.	24
Figura 11 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais em perfil W laminado com pilares intermediários.	25
Figura 12 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais treliçadas em perfil de chapa dobrada com pilares intermediários.....	26
Figura 13 – Propriedades do perfil selecionado para as vigas principais sem pilares intermediários.....	33
Figura 14 – Propriedades do perfil selecionado para as vigas principais com pilares intermediários.....	35
Figura 15 – Propriedades dos perfis selecionados para as vigas principais treliçadas com pilares intermediários.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perfis dimensionados para as terças e vigas secundárias.....	23
Tabela 2 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário.	34
Tabela 3 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado com pilar intermediário.	35
Tabela 4 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais treliçadas com pilares intermediários.	37
Tabela 5 – Orçamentos realizados em empresas da região.	38
Tabela 6 – Insumos SINAPI.	39
Tabela 7 – Orçamentos com base na SINAPI.	39
Tabela 8 – Comparação entre orçamentos dos insumos: Base própria x SINAPI.....	40

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVO	10
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1.	Propriedades do aço	10
3.2.	Vantagens e desvantagens da estrutura em aço	12
3.3.	Tipos de aços estruturais	14
3.3.1.	Perfis laminados	14
3.3.2.	Perfis formados a frio	15
3.4.	Sistemas construtivos em aço	15
3.5.	Modelo estrutural	16
3.6.	Software Metálicas 3D	17
3.7.	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)	18
4.	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1.	Projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário	23
4.2.	Projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado com pilares intermediários	24
4.3.	Projeto estrutural metálico com vigas principais treliçadas com pilares intermediários	25
4.4.	Critérios de dimensionamento	26
4.4.1.	Critérios de dimensionamento segundo à NBR 8800:2008	26
4.4.1.1.	Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)	26
4.4.1.2.	Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)	27
4.4.1.3.	Resistência à flexão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)	27
4.4.1.4.	Resistência ao esforço cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)	28
4.4.1.5.	Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)	28
4.4.2.	Critérios de dimensionamento segundo à NBR 14762:2010	29
4.4.2.1.	Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)	29
4.4.2.2.	Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)	29
4.4.2.3.	Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)	30
4.4.2.4.	Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)	31
4.4.2.5.	Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)	32
4.5.	Comparação das concepções estruturais	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A construção civil nos dias de hoje é uma área muito competitiva, ou seja, precisam de soluções eficientes, que sejam feitas no menor prazo com um preço acessível, com uma boa durabilidade.

Os primeiros registros de obras em aço no Brasil, são do início do século XX e contavam com matéria-prima importada, portanto, com valores nada atrativos. Apenas após a segunda guerra mundial, com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional e da Usina de Volta Redonda, a estrutura metálica passou a ser utilizada em maior escala na construção (NEVES e CAMISASCA, 2013).

Dentre os diversos tipos de estruturas metálicas mais utilizadas, pode-se citar as estruturas treliçadas. Elas são amplamente utilizadas em coberturas, pontes rodoviárias e ferroviárias, torres de transmissão de eletricidade, entre outros diversos usos, pois devido a sua disposição construtiva apresentam maior resistência ao suportar os mais variados esforços.

Segundo dados do Instituto Aço Brasil (2020), em 2019 a construção civil foi o único setor que apresentou aumento no consumo de produtos siderúrgicos no país. Esse aumento foi de 11,9 % em relação a 2018, o que equivale a um aumento no consumo de 7,9 milhões de toneladas. A participação total no consumo passou de 33,4% em 2018 para 37,6 % em 2019.

Esse aumento de consumo de aço no Brasil pode ser explicado devido à quebra do paradigma por parte dos profissionais, fazendo com que dessa forma houvesse a gradual substituição da utilização de estruturas de concreto pelas estruturas em aço, conforme já acontece em diversos países desenvolvidos.

Apesar do aço ser usualmente utilizado em obras industriais, vem ganhando espaço em obras residenciais, por ser um modelo construtivo que possuiu menos desperdício, rapidez na execução e menor mão de obra o que indiretamente aumenta o custo benefício. Além disso, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções diferenciadas, eficientes e de alta qualidade.

O emprego crescente do aço se deve a um conjunto de características que proporcionam uma construção com: flexibilidade, por não possuir uma limitação geométrica para atender condições arquitetônicas; redução do tempo de montagem; agilidade na execução; redução de solicitações em fundações; material homogêneo e produção industrializada; limpeza na obra; facilidade de transporte e manuseio; facilidade de reforço estrutural; entre outros (CHAMBERLAIN; FICANHA; FABEANE 2013).

Coberturas isoladas são elementos de proteção de edificações contra intempéries e outros agentes naturais. São sustentadas por suportes de dimensões reduzidas, sem fechamentos ou paredes permanentes. A ação do vento é exercida diretamente sobre as faces superior e inferior da cobertura, podendo ocorrer bloqueio parcial ou total do escoamento do vento pela parte inferior, o que altera a forma do carregamento da estrutura.

Devido ao desenvolvimento da tecnologia dos materiais e inovações nos projetos estruturais, as coberturas atuais são mais leves, flexíveis e apresentam vãos cada vez maiores. Essas características as tornam mais sensíveis à ação do vento, tornando fundamental um conhecimento preciso sobre o carregamento do vento neste tipo de estrutura.

Dessa forma, a concepção, dimensionamento e análise de estruturas metálicas são de extrema importância para a obtenção de estruturas cada vez mais resistentes e esbeltas e que atendam as solicitações dos diversos tipos utilização, sem deixar de lado a sua estética e viabilidade econômica, uma vez que essa otimização resultará numa maior economia de recursos.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é dimensionar uma estrutura em aço para a cobertura de portaria de um condomínio com vão de 20m, e avaliar qual o melhor custo benefício entre 3 tipos de sistemas estruturais, considerando a manutenção periódica exigida, peso, agilidade de fabricação e custo de cada sistema.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Propriedades do aço

O conhecimento das propriedades do aço é fundamental, uma vez que, tanto o projeto quanto a execução de uma estrutura metálica são baseados nelas. Entre as principais propriedades estão a dureza e a ductibilidade. A primeira é a resistência ao risco ou abrasão, ou seja, a resistência que a superfície do material oferece a penetração de uma peça de dureza maior, o que a torna essencial para a análise do aço nas operações de estampagem de chapas. Já a segunda, se trata da capacidade do material em se deformar sob a ação de uma carga antes da ruptura (FONSECA, 2019).

As propriedades mecânicas do aço variam bastante pelo fato de se ter incorporado na sua liga diversos outros materiais. Por conta disso, a ANBT NBR 8800:2008, definiu como principais propriedades do aço:

- Módulo de elasticidade: $E = 200 \text{ GPa}$;
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$;
- Coeficiente de dilatação térmica: $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- Massa específica: 7850 kg/m^3 ;
- Módulo de Elasticidade Transversal: $G = 77000 \text{ MPa}$;
- Resistência ao escoamento: $f_y = 250 \text{ MPa}$;
- Resistência à ruptura: $f_u = 400 \text{ MPa}$.

Os aços utilizados com finalidade estrutural são divididos em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga. Eles podem ter suas propriedades mecânicas modificadas através de tratamentos térmicos. Nos aços-carbono, o aumento do teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui sua capacidade de se deformar, o que pode gerar problemas na soldagem.

Os aços de baixa liga são aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo, cromo-cômbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), podendo acarretar em um aumento da resistência do aço sem necessitar de maior teor de carbono. Vale ressaltar que os dois tipos de aço são utilizados para fins estruturais, destaca-se o aço-carbono ASTM A36 (*American Society for Testing and Materials*) para perfis laminados como cantoneiras, chapas, perfis U, U enrijecido, entre outros e o aço de baixa liga ASTM 572 Grau 50 para perfis W (I ou H), formados por alma e mesas (PFEIL, 2009).

Os principais tipos de aço para fins estruturais estão apresentados nas Figuras 1 e 2, e são padronizados conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e as normas européias EN (PFEIL, 2009).

Figura 1 – Propriedades Mecânicas de Aços Carbono.

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento Fy (Mpa)	Resistência à ruptura Fu(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)
EM S235	baixo	235	360

Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2009)

Figura 2 – Propriedades Mecânicas de Aços Baixa Liga.

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento Fy (Mpa)	Resistência à ruptura Fu(Mpa)
ASTM 572 Gr. 50	C < 0,23% Mn < 1,35%	345	450
ASTM A588	C < 0,17% Mn < 1,2% Cu < 0,50%	345	485
ASTM A992	C < 0,23% Mn < 1,5%	345	450

Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2009)

3.2. Vantagens e desvantagens da estrutura em aço

As principais vantagens do aço são as seguintes (PUGLIESI E LAUAND, 2005):

- Menor tempo de execução: a estrutura metálica é projetada para fabricação industrial e seriada, dessa forma levando a um menor tempo de fabricação e montagem;
- Maior confiabilidade: devido a homogeneidade do aço, com limites de escoamento e ruptura e módulo de elasticidade bem definidos;
- Obra mais limpa: devido à ausência de escoramento e fôrmas;
- Maior agilidade no transporte e manuseio: as peças de aço são menores, com menor peso relativo, isso devido à sua maior resistência, facilitando assim o carregamento, transporte e manipulação;
- Maior facilidade de ampliação: é bastante frequente a necessidade de ampliação de estruturas industriais, ocasião em que a expansão deve ser executada sem interferir nas outras atividades. Isso é facilitado devido à precisão e menores dimensões das peças e à fabricação fora do local da obra;
- Maior facilidade de montagem: como a estrutura de aço é um material industrial, com todo o controle de qualidade das peças, a equipe montadora já recebe as peças nas

dimensões definidos, com as extremidades preparadas para montagem, sendo rápida e eficiente, feita com mão de obra qualificada;

- Facilidade de desmontagem e reaproveitamento: as estruturas em aço permitem a desmontagem e a transferência de local reaproveitando suas peças;
- Facilidade de vencer grandes vãos: o aço por ter alta resistência permite vencer grandes vãos, com pesos e peças consideravelmente menores;
- Precisão das dimensões dos componentes estruturais: como a medida utilizada para a fabricação e dimensionamento das peças de aço é em milímetros, sua assertividade é significativa.
- Maior facilidade de reforço: caso haja necessidade de aumentar a carga solicitante da estrutura, é bem mais fácil garantir o aumento da resistência do aço com a colocação de apenas uma chapa numa viga ou coluna, em alguns casos;
- Resistência à corrosão: existem aços que possuem alta resistência à corrosão atmosférica, podendo ser quatro vezes mais resistentes que os aços comuns. Estes, também podem ser protegidos com a pintura ou galvanização das peças;
- Redução da carga nas fundações: a grande consequência da alta resistência do aço aos esforços de tração, compressão e cisalhamento é o enorme alívio de cargas para as fundações.

Como principais desvantagens do aço podem-se citar:

- Limitação de execução em fábrica para grandes peças, em função do transporte até o local de sua montagem final;
- Necessidade de mão de obra qualificada para sua montagem;
- Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação (corrosão), devido ao contato com ar atmosférico e contra chamas;
- Necessidade de equipamentos especializados para sua fabricação e montagem, dependendo do prazo e porte da obra a ser executada.

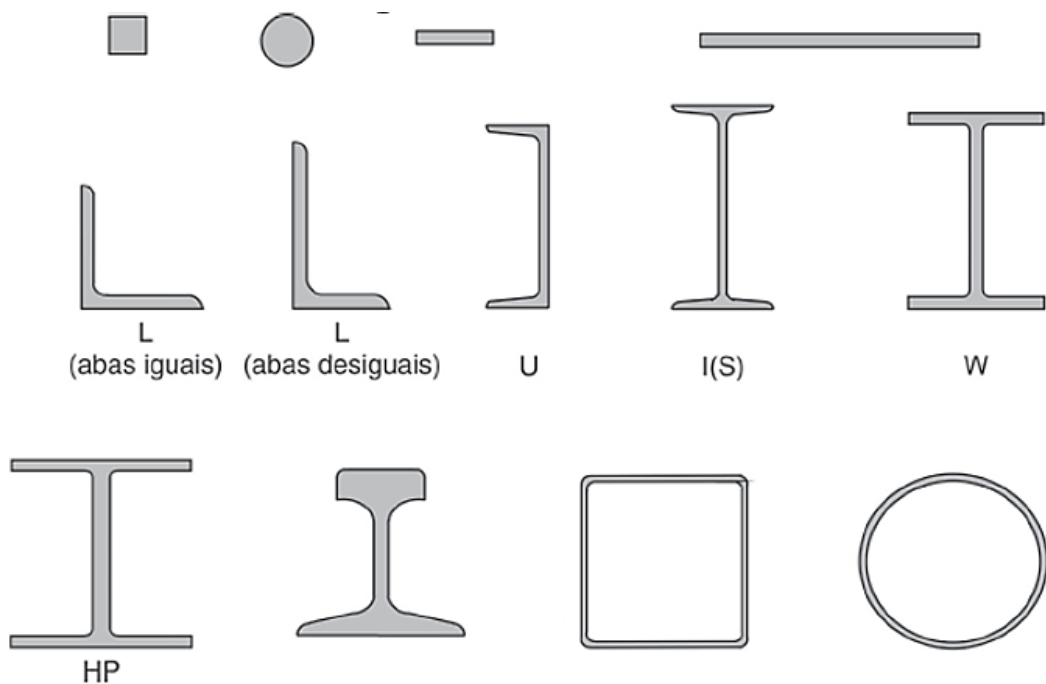
3.3. Tipos de aços estruturais

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), as usinas siderúrgicas produzem aço para utilização com função estrutural, com diferentes formatos, podendo ser estas chapas, perfis laminados, fios trefilados, barras, cabos e cordoalhas. Os perfis laminados, chapas e barras são fabricados por laminadoras, as quais dão a forma e as dimensões desejadas ao aço, através de passes repetitivos com o material aquecido. Os perfis podem ser obtidos por meio de dobramento de chapas, dando origem aos perfis de chapa dobrada ou ainda podem ser formados através da solda, formando assim os perfis soldados.

3.3.1. Perfis laminados

Pfeil e Pfeil (2009), comentam que os perfis laminados, que são produzidos com eficiência, são os C ou U, L, H e I. Os perfis H, I e C tem sua produção dividida em grupos, onde dentro de cada um destes grupos se encontram perfis de altura constante e largura da aba variável. As seções transversais dos perfis laminados podem ser vistas na Figura 3.

Figura 3 – Seções transversais dos perfis laminados comerciais



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2009)

3.3.2. Perfis formados a frio

Para Pfeil e Pfeil (2009) as chapas planas de aço apresentam a possibilidade de dobra a frio, dando origem aos perfis de chapa dobrados. As dobras dessas chapas são realizadas em prensas, onde se usam gabaritos que limitam os raios internos das peças para que atendam alguns valores mínimos, esses valores devem ser respeitados para que não haja fissuração do aço na dobra da chapa.

De maneira geral, a fabricação destes perfis utiliza chapas finas, com no máximo 3mm de espessura, esse fato impõe a peça um problema de instabilidade, que não é apresentado por perfis laminados. A dobra de chapas pode dar origem a diversas peças, algumas com apenas um eixo de simetria ou até mesmo nenhum eixo, pode-se obter desde peças simples até as mais complexas, na Figura 4 é possível observar algumas possibilidades de seções transversais de perfis dobrados (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 4 – Seções transversais dos perfis laminados comerciais



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2009)

3.4. Sistemas construtivos em aço

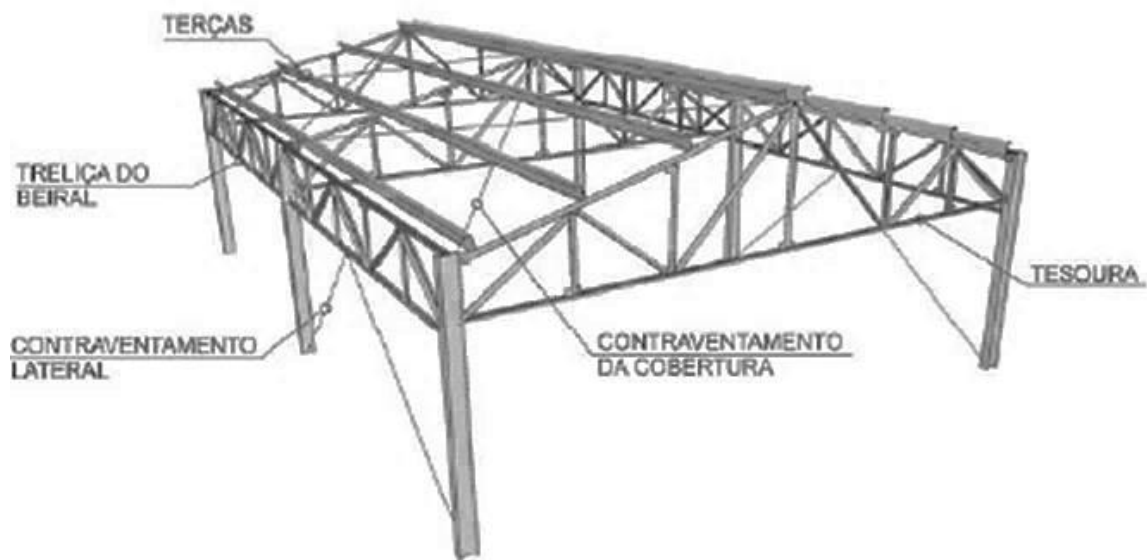
Inicialmente, é importante definir o que é um sistema construtivo, para isso leva-se em consideração parâmetros que proporcionam eficácia em todo o conjunto da obra. Analisar as forças atuantes, o projeto arquitetônico (observando os vãos pré-estabelecidos), fazer um pré-dimensionamento das vigas e carregamentos. Tendo como resultados esforços e reações, podem ser definidos modelos de elementos estruturais, como o pórtico por exemplo. O sistema estrutural depende consequentemente da forma como dimensionado o projeto (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012).

3.5. Modelo estrutural

De acordo com Beer et al. (2013), um dos principais modelos estruturais de estrutura que a engenharia oferece são as treliças, pois dão soluções práticas e econômicas. As treliças são compostas por várias peças retas unidas em suas extremidades denominados nós, formando triângulos. As treliças são esbeltas e capazes de suportar grandes cargas, transferindo-as para os apoios de maneira eficiente. Sua estrutura distribui uniformemente as tensões ao longo das barras, garantindo uma carga equilibrada, o que ajuda a minimizar os pontos de concentração de tensão, tornando assim as treliças altamente resistentes e confiáveis.

O modelo construtivo de um galpão em estrutura metálica é apresentado na Figura 5, e mostra as partes principais de uma estrutura formada por pórticos de tesouras em treliça.

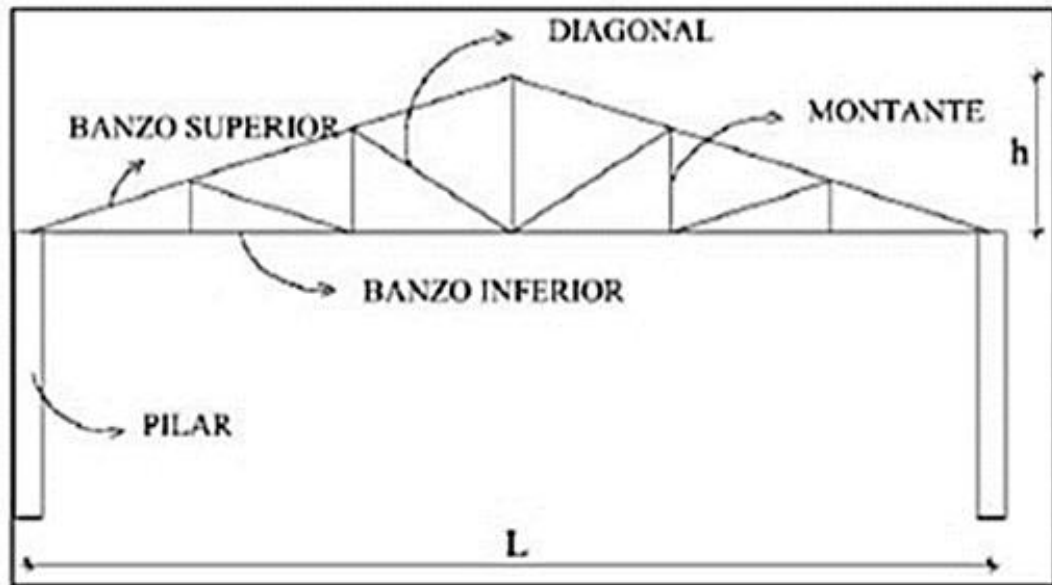
Figura 5 – Modelo construtivo de um galpão com viga treliçada



Fonte: Adaptado de Centro Brasileiro da Construção em Aço (2019)

Segundo o Manual de Galpões para uso geral da CBCA (2019), quando se trata de edifícios industriais, geralmente chamados de galpões, que normalmente apresentam um grande espaço horizontal a ser protegido, tem-se várias alternativas para cobertura. A mais simples delas é a cobertura de duas águas com tesouras em treliças, apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Detalhes dos elementos de uma tesoura



Fonte: Adaptado de Centro Brasileiro da Construção em Aço (2019)

Para Souza e Rodrigues (2008) as tesouras são estruturas lineares formadas por barras retas, que são colocadas de modo que forme painéis triangulares, onde estes sofrem solicitações por tração ou por compressão. Conforme a Figura 6 as peças que formam a tesoura são:

- Banzo superior e inferior: são os principais elementos da treliça, formam um conjunto de barras que limitam superiormente e inferiormente a treliça;
- Diagonal: são as barras que têm o eixo coincidente com a diagonal do painel. O painel é compreendido entre os dois alinhamentos dos montantes;
- Montante: são as barras verticais da treliça.

3.6. Software Metálicas 3D

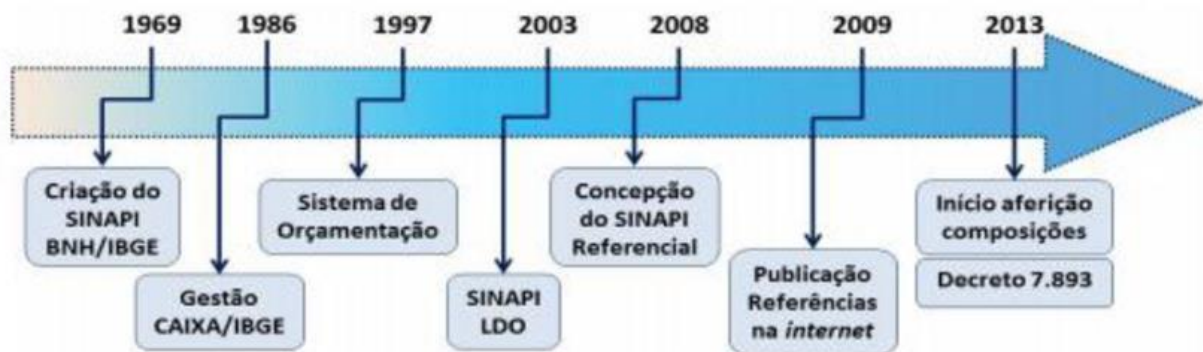
O *software* Metálicas 3D, é um programa da empresa espanhola CYPE Ingenieros, que realiza o cálculo de estruturas de vários tipos, dentre eles, os elementos de aço, realizado em três dimensões, onde o dimensionamento automático pode ser realizado após a inserção de dados ser realizada de forma gráfica. Dentre os materiais que podem ser utilizados para esse tipo de estrutura, tem-se os perfis de aço laminado e perfis de aço de chapa dobrada, sendo que,

dentre essas opções, pode-se optar pelo tipo de aço vai ser utilizado no dimensionamento, e pode-se adicionar ou modificar informações sobre o material que será utilizado (Memoria de cálculo CYPE, 2015).

3.7. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)

Segundo De Mattos, R. B. (2023), o SINAPI é uma produção entre o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e a Caixa Econômica Federal (Figura 7), realizada através de acordo de cooperação técnica. Nessa cooperação, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística tem a responsabilidade na coleta, e cálculos dos dados, enquanto a Caixa Econômica Federal tem por responsabilidade a definição e manutenção dos aspectos relacionados com a engenharia indicado como referência oficial de preços e insumos e de custos de composições de serviços para a construção civil, exceto em obras de infraestrutura. Na Figura 7 é apresentada a história do SINAPI.

Figura 7 – História da SINAPI



Fonte: Adaptado de CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2020)

A princípio, o SINAPI foi desenvolvido em 1986 para servir como base para a Caixa a respeito de índices de construção civil habitacional e custos, e desde então, tornou-se um sistema corporativo, utilizado em todo o Brasil (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020).

O SINAPI é composto por tabelas que apresentam composições de preços de insumos e de serviços de construção civil, essas composições são definidas por estado e possuem uma data

como referência, e, com isso, tem-se vantagens e desvantagens em sua utilização (DE MATTOS, 2023).

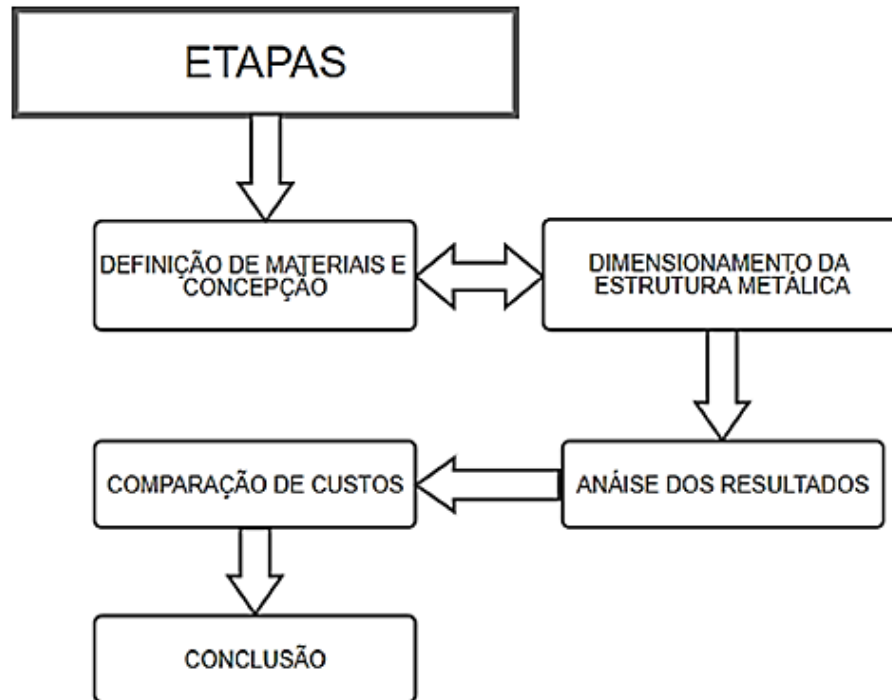
Como vantagem pode-se citar a padronização dos orçamentos, a segurança jurídica, a transparência, a racionalização de serviços, através da diminuição do tempo de pesquisa de preços sempre que for fazer um orçamento, o que acarreta na diminuição de custos privados para participação de certames de licitações (DE MATTOS, 2023).

Como desvantagem pode-se citar os preços para os insumos e para a produtividade, os quais correspondem a valores médios e nem sempre representam a realidade da obra. É evidente também que não há nenhum sistema perfeito, que abrange todos as matérias primas e serviços, assim o SINAPI não possui em seu banco de dados todas as composições e custos necessários para uma obra. Além disso, também não são consideradas as variações de produtividade dos serviços levando em considerações variáveis climáticas, geotécnicas e outras (DE MATTOS, 2023).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho tem como princípio o dimensionamento de uma cobertura em estrutura metálica de uma portaria de entrada de um condomínio, em que visa comparar diferentes concepções estruturais para uma mesma proposta arquitetônica sendo a primeira concepção com vigas do tipo W e um vão de 20m, a segunda também do tipo W com pilras intermediários e a terceira concepção em vigas treliçadas com perfis de chapa dobrada. A Figura 8 apresenta as atividades que foram executadas neste trabalho.

Figura 8 – Fluxograma das etapas deste trabalho

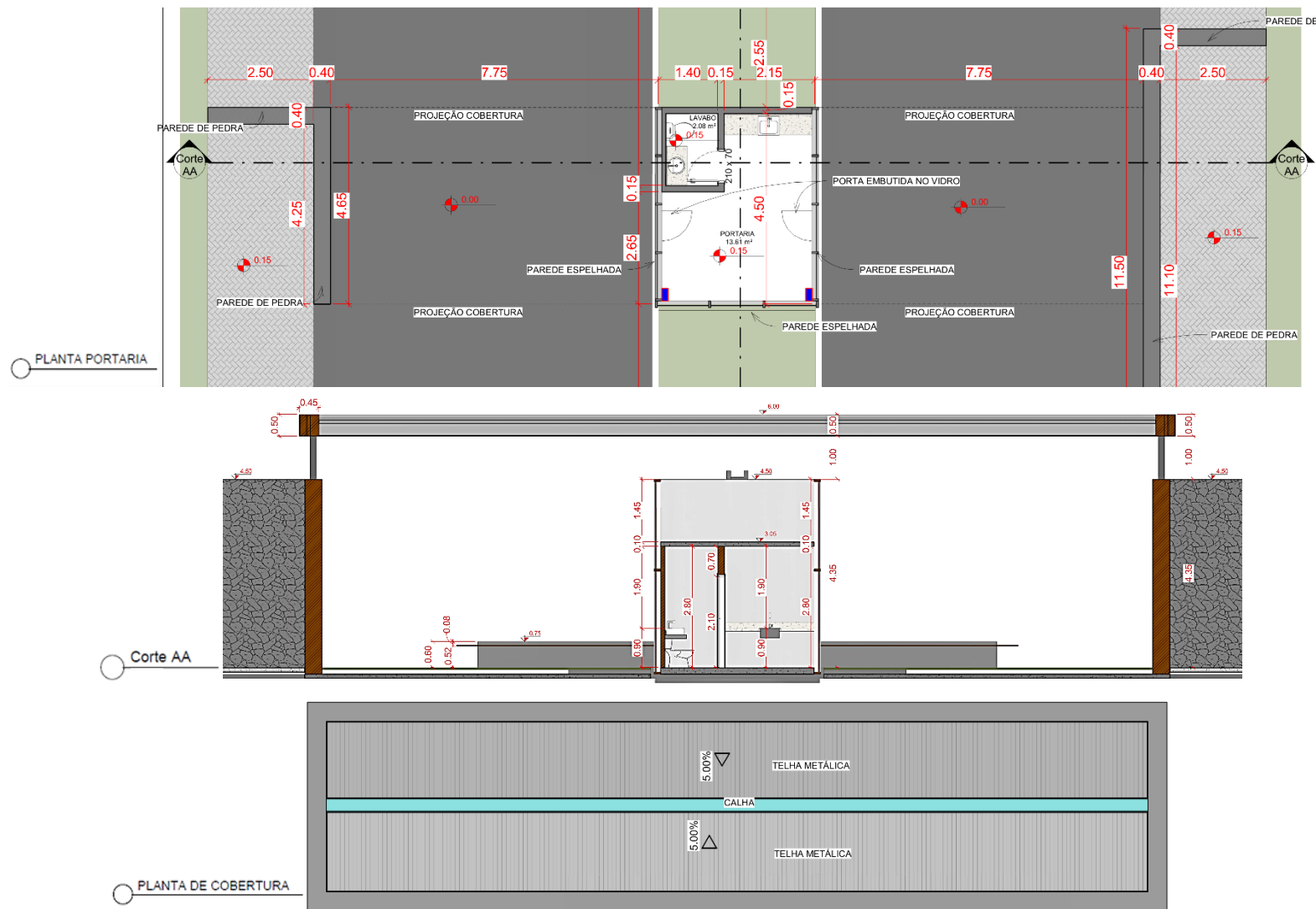


Fonte: Do autor (2023).

Para a modelagem e dimensionamento das estruturas metálicas que servirão de proposta estrutural para o projeto arquitetônico apresentada na Figura 9, as normas técnicas aplicadas foram as de Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios NBR 8800 (ABNT, 2008), de Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio NBR 14762 (ABNT, 2010), forças devidas ao vento em edificações NBR 6123 (ABNT, 2013), para cálculo das ações e seguranças na estrutura NBR 8681 (ABNT, 2003) e NBR 6120 (ABNT, 2000).

Com auxílio da norma NBR 6123 (ABNT, 2013), para cálculo de esforços devidas ao vento, e do programa computacional METÁLICS 3D® 2011, foram obtidos os esforços atuantes na estrutura da cobertura. Nestes, foi levado em consideração o tipo do terreno, a localização do projeto, suas dimensões, grau de segurança requisitado e a vida útil da obra a ser dimensionada.

Figura 9 – Projeto arquitetônico da cobertura (sem escala).



Fonte: Do autor (2023).

Para desenvolvimento dos projetos estruturais, foi utilizado o *software* Metálicas 3D (versão 2011, licença de: Prof. Maykmiller Carvalho Rodrigues), para o auxílio de toda a modelagem e dimensionamento dos perfis de aço dobrado a frio e laminados.

Como solução estrutural para a cobertura apresentada no projeto arquitetônico da Figura 9, foram elaboradas três situações de projeto estrutural, a fim de encontrar uma estrutura/cobertura com o melhor custo benefício para o cliente e que atendam às necessidades apresentadas pelo projeto arquitetônico.

Para todas as três soluções desenvolvidas, foram considerados os mesmos tipos de telha na cobertura, sobrecargas de utilização e mesmos carregamentos de vento. Além disso, para o sistema de terças e vigas secundárias de sustentação das terças, foram adotadas as mesmas bitolas de perfis, a fim de manter um padrão para comparação de variáveis somente para o sistema de vigas principais.

Os carregamentos utilizados foram (ABNT NBR8800, ABNT NBR6120 e ABNT NBR 6123):

- sobrecarga de utilização – $0,25\text{kN/m}^2$
- vento – $0,6\text{kN/m}^2$
- peso das telhas – $0,1\text{kN/m}^2$

O dimensionamento das telhas da cobertura, terças de sustentação das telhas e vigas secundárias de sustentação das terças foram realizados utilizando o Metálicas 3D. Para as terças e vigas secundárias foi determinado a utilização de perfis de chapa dobrada, os quais foram dimensionados de acordo com ABNT NBR14672. Na Tabela 1 são apresentados os perfis utilizados nas terças e vigas secundárias, os quais foram padronizados para os três diferentes tipos de vigas principais desenvolvidas neste trabalho.

Tabela 1 – Perfis dimensionados para as terças e vigas secundárias.

Relação das bitolas dos perfis dimensionados					
Perfil			Função		
Perfil tubular retangular 70x30x1,2			Terça		
Perfil tubular retangular 150x50x2,0			Vigas secundárias		
Material utilizado					
Designação	Tipo	E (MPa)	v	fy (MPa)	γ (kN/m³)
Aço dobrado	SAE 1020	200000,00	0,30	350,00	77,01

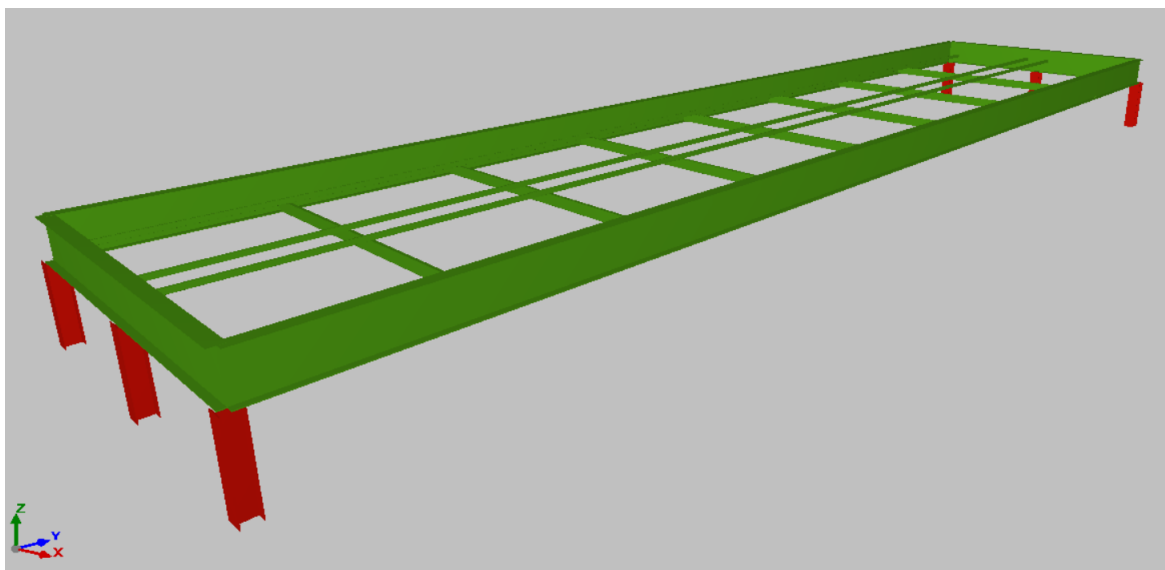
Fonte: Do autor (2023).

A partir da escolha das telhas e do dimensionamento das terças e vigas secundárias de sustentação das terças, foram realizados o dimensionamento de três tipos de vigas principais para vencer o vão de 20 metros da estrutura.

4.1. Projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário

A primeira solução estrutural desenvolvida foi baseada no dimensionamento de uma estrutura metálica com vigas principais em perfil W sem pilares intermediários para vencer todo o vão de 20m. Na Figura 10 pode-se observar o modelo dessa estrutura.

Figura 10 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário.



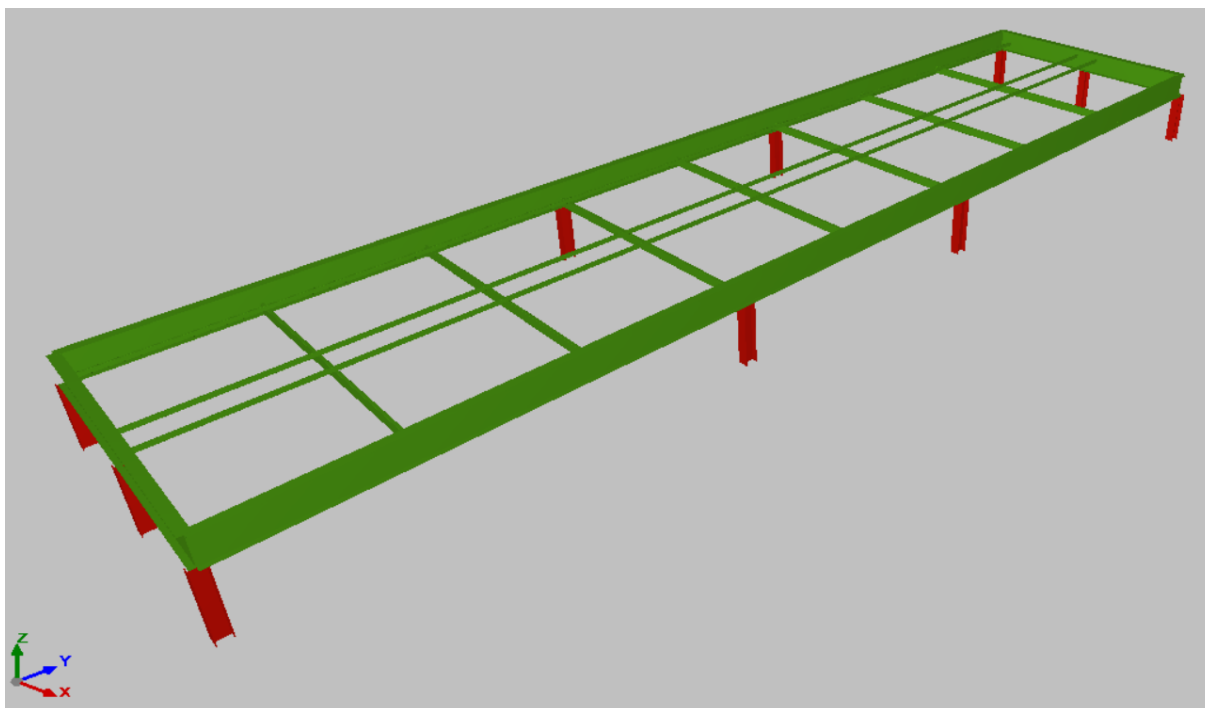
Fonte: Do autor (2023).

O dimensionamento das vigas principais foi realizado utilizando o Metálicas 3D e com base nos critérios de dimensionamento da NBR8800:2008.

4.2. Projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado com pilares intermediários

A segunda solução elaborada foi baseada no dimensionamento de uma estrutura metálica com vigas principais também em perfil W, porém considerou-se a possibilidade da inserção de 4 pilares intermediários sobre a guarita da portaria, para dividir o vão e vencer os 20m. Na Figura 11 pode-se observar o modelo dessa estrutura.

Figura 11 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais em perfil W laminado com pilares intermediários.



Fonte: Do autor (2023).

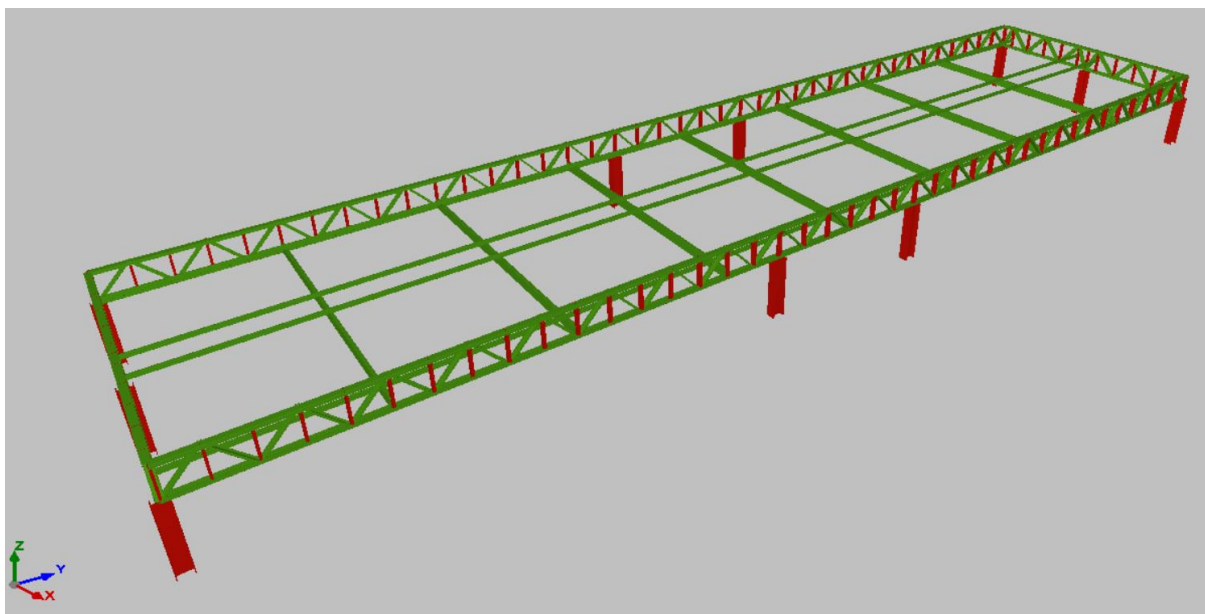
O dimensionamento das vigas principais foi realizado utilizando o Metálicas 3D e com base nos critérios de dimensionamento da NBR8800:2008.

4.3. Projeto estrutural metálico com vigas principais treliçadas com pilares intermediários

A terceira solução elaborada foi baseada no dimensionamento de uma estrutura metálica com vigas principais treliçadas. Porém não foi possível dimensionar uma treliça que fosse capaz de vencer um vão livre de 20m com uma altura inferior a 50cm, especificada no projeto arquitetônico.

Dessa forma, e assim como utilizado no item 4.2, considerou-se a possibilidade da inserção de 4 pilares intermediários sobre a guarita da portaria, para dividir o vão e vencer os 20m. Na Figura 12 pode-se observar o modelo dessa estrutura.

Figura 12 – Vista 3D da estrutura metálica com vigas principais treliçadas em perfil de chapa dobrada com pilares intermediários.



Fonte: Do autor (2023).

O dimensionamento das vigas principais foi realizado utilizando o Metálicas 3D e com base nos critérios de dimensionamento da NBR 14762:2010.

4.4. Critérios de dimensionamento

Com base nos critérios de dimensionamento estabelecidos pela NBR8800:2008 e NBR14762:2010, foram realizadas as seguintes verificações para os elementos estruturais das vigas:

4.4.1. Critérios de dimensionamento segundo à NBR 8800:2008

4.4.1.1. Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

O índice de esbeltez das barras comprimidas foi calculado de acordo com a Equação (1), tomado como a maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200 ($\lambda \leq 200$).

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r} \quad (1)$$

Onde:

λ : Índice de esbeltez.

K: Coeficiente de flambagem.

L: Comprimento de flambagem.

r: Raio de giração em relação aos eixos principais.

4.4.1.2. Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

A resistência a compressão foi calculada de acordo com a Equação (2):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Onde:

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

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

4.4.1.3. Resistência à flexão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A resistência a compressão no eixo foi calculada de acordo com a Equação 3, considerando o momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} de vigas de alma não-esbelta.

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3)$$

Onde:

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

W : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

4.4.1.4. Resistência ao esforço cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , foi determinada pela Equação (4):

$$V_{Rd} = \frac{V_{PL}}{\gamma_{a1}} \quad (4)$$

Onde:

V_{Rd} : Esforço cortante resistente de cálculo.

V_{pl} : Esforço cortante de plastificação.

4.4.1.5. Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

A resistência aos esforços combinados foi calculada de acordo com a Equação 5:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1 \quad (5)$$

Onde:

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

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

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

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

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal.

4.4.2. Critérios de dimensionamento segundo à NBR 14762:2010

4.4.2.1. Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez das barras comprimidas foi calculado de acordo com a Equação (6), tomado como a maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200 ($\lambda \leq 200$).

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r} \quad (6)$$

Onde:

λ : Índice de esbeltez.

K: Coeficiente de flambagem.

L: Comprimento de flambagem.

r: Raio de giração em relação aos eixos principais.

4.4.2.2. Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A resistência a compressão foi calculada de acordo com a Equação (7):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (7)$$

Onde:

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo.

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

χ : Fator de redução associado à flambagem.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ : Coeficiente de segurança do material.

4.4.2.3. Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) Equação 8 e b) Equação 9:

a) Início de escoamento da seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (8)$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (9)$$

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

4.4.2.4. Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada de acordo com as Equações 10, 11 e 12:

para

$$\frac{h}{t} \leq 1.08 \cdot \left(\frac{E \cdot k_v}{f_y} \right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = \frac{0.6 \cdot f_y \cdot h \cdot t}{\gamma} \quad (10)$$

para

$$1.08 \cdot \left(\frac{E \cdot k_v}{f_y} \right)^{0.5} < \frac{h}{t} \leq 1.4 \left(\frac{E \cdot k_v}{f_y} \right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = \frac{0.65 \cdot t^2 \cdot (k_v \cdot f_y \cdot E)^{0.5}}{\gamma} \quad (11)$$

para

$$\frac{h}{t} > 1.4 \left(\frac{E \cdot k_v}{f_y} \right)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = \frac{\left[\frac{0.905 \cdot E \cdot k_v \cdot t^3}{h} \right]}{\gamma} \quad (12)$$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_y : Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

k_v : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: $k_v = 5.00$

4.4.2.5. Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação (Equação 13):

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad (13)$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

4.5. Comparação das concepções estruturais

Com base nas modelagens e nas verificações dos elementos estruturais descritos no item 4.4, a lista de materiais necessários para fabricação e montagem dos 3 modelos estruturais dimensionados neste trabalho foram geradas pelo *software* Metálicas 3D, e a partir dela e com o auxílio das tabelas do SINAPI referentes ao estado de Minas Gerais, foi realizado a etapa de levantamento de custos. Em posse dos resultados, foram executados tabelas e gráficos para as possíveis comparações. Além do orçamento via SINAPI, foi feito também três orçamentos em empresas da região onde será implantada a estrutura. As tabelas de custos, insumos e composições do SINAPI, utilizada neste estudo foi atualizada no mês de outubro de 2023.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO


Neste tópico são apresentados os resultados dos dimensionamentos realizados utilizando o *software* Matálicas 3D, orçamentos em empresas da região e levantamento de custos com base de dados SINAPI, além da comparação dos resultados obtidos para as diferentes concepções das estruturas metálicas abordadas.

5.1. Cálculo da estrutura

A partir do dimensionamento da estrutura metálica da cobertura realizada no *software* Matálicas 3D, foram encontradas as bitolas dos perfis necessários para resistir os esforços solicitantes.

Com base nos cálculos foi verificado que para vencer o vão de 20m sem pilares intermediários, foi necessário a utilização de um perfil do tipo W 530 x 66, o qual correspondeu à um peso para a estrutura de 3235.36kg. Na Figura 13 é apresentado o tipo de perfil selecionado.

Figura 13 – Propriedades do perfil selecionado para as vigas principais sem pilares intermediários.

Perfil: W 530 x 66 Material: Aço (A-572 345MPa)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	$I_{xx}^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_{yy}^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_{zz}^{(2)}$ (cm ⁴)
	N25	N26	2.500	83.60	34971.00	857.00	31.52
	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	0.50	0.50	0.50	0.50		
	L_k	1.250	1.250	1.250	1.250		
	C_b	-		1.000			
	Notação: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_b : Fator de modificação para o momento crítico						

Fonte: Do autor (2023).

Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos materiais necessários para resistir os esforços solicitantes no projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário.

Tabela 2 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado sem pilar intermediário.

Perfil		Função	Peso (kg)
W 530 x 66		Viga Principal	3235.36
Perfil Tubular Retangular 150x50x2,0	ASTM A572 Gr50	Vigas secundárias	188.07
Perfil Tubular Retangular 70x30x1,2	SAE 1020	Terças	144.72
Peso Total			3568,15

Fonte: Do autor (2023).

Já para vencer o vão de 20m com quatro pilares intermediários, foi possível a utilização de um perfil do tipo W 460 x 52, o qual correspondeu à um peso para a estrutura de 2577.45 kg. Na Figura 14 é apresentado o tipo de perfil selecionado.

Figura 14 – Propriedades do perfil selecionado para as vigas principais com pilares intermediários.

Perfil: W 460 x 52 Material: Aço (A-572 345MPa)						
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)
N6	N61	0.249	66.60	21370.00	634.00	21.79
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		0.50	0.50	0.50	0.50	
L_k		0.125	0.125	0.125	0.125	
C_b		-		1.000		
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_b : Fator de modificação para o momento crítico						

Fonte: Do autor (2023).

Na Tabela 3 é apresentado o resumo dos materiais necessários para resistir os esforços solicitantes no Projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado com pilares intermediários.

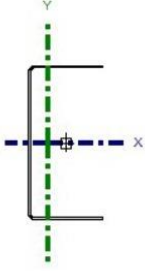
Tabela 3 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais em perfil W laminado com pilar intermediário.

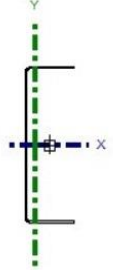
Perfil		Função	Peso (kg)
W 460 x 52		Viga Principal	2577.45
Perfil Tubular Retangular 150x50x2,0	ASTM A572 Gr50	Vigas secundárias	188.07
Perfil Tubular Retangular 70x30x1,2	SAE 1020	Terças	144.72
Peso Total			2910,24

Fonte: Do autor (2023).

Considerando uma treliça de 50cm de altura para vencer o vão de 20m com quatro pilares intermediários localizados nos cantos da guarita, foram dimensionado perfil de chapa dobrada conformados a frio. Dessa forma, para os banzos superior e inferior da treliça o perfil U100x50x2,25mm correspondendo à um peso de 335,3kg e para as diagonais e montantes o perfil U92x30x2,0mm correspondendo à um peso de 282,7kg, atenderam aos critérios de dimensionamento, e corresponderam à um peso para a estrutura de 618 kg. Na Figura 15 é apresentado os tipos de perfis selecionados.

Figura 15 – Propriedades dos perfis selecionados para as vigas principais treliçadas com pilares intermediários.

Perfil: U100X50X2.25									
Material: Aço (CF-26)									
	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)
		N22	N23	0.500	4.33	68.42	10.83	0.07	-11.46
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	0.50	0.50	0.50	0.50				
	L _K	0.250	0.250	0.250	0.250				
	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									

Perfil: U92X30X2.00									
Material: Aço (CF-26)									
	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)
		N22	N23	0.500	2.91	34.55	2.28	0.04	-8.20
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	0.50	0.50	0.50	0.50				
	L _K	0.250	0.250	0.250	0.250				
	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									

Fonte: Do autor (2023).

Na Tabela 4 é apresentado o resumo dos materiais necessários para resistir os esforços solicitantes no projeto estrutural metálico com vigas principais treliçadas com pilares intermediários.

Tabela 4 – Resumo dos perfis dimensionados para o projeto estrutural metálico com vigas principais treliçadas com pilares intermediários.

Perfil	Função	Peso (kg)
U100X50X2.25	Banzos da Viga Principal Treliçada	335,30
U92X30X2,00	Diagonais e Montantes da Viga Principal	282,70
SAE 1020	Treliçada	
Perfil Tubular Retangular 150x50x2,0	Vigas secundárias	188,07
Perfil Tubular Retangular 70x30x1,2	Terças	144,72
Peso Total		950,79

Fonte: Do autor (2023).

Vale ressaltar ainda que para o projeto arquitetônico apresentado, existe uma grande vantagem na utilização dos perfis laminados do tipo W como viga principal na fachada da cobertura, quando comparados com a viga treliçada em perfis de chapa dobrada. Esta vantagem se dá, pois, as vigas do tipo W, após montadas e pintada, já proporcionam à estrutura um acabamento final de ótima qualidade e com grande durabilidade.

Já para as vigas principais treliçadas, seria necessário a utilização de chapas para o fechamento lateral interno e externo das vigas, além de rufos e pingadeiras auxiliares. Esta demanda traz grande desvantagem para as vigas treliçadas, pois para manter o mesmo nível de acabamento das vigas tipo W, seria necessário a utilização de fechamentos externos com placas cimentícias ou ACM (*Aluminium Composite Material*) o que elevaria o custo do acabamento da estrutura e sua necessidade de manutenção em períodos muito frequentes, apesar de terem proporcionado um peso bem inferior para as vigas principais, quando comparados com os perfis do tipo W.

Com base nos orçamentos realizados no mês de novembro de 2023 em três empresas diferentes da região onde a estrutura foi projetada, para a confecção dos três tipos de estruturas, além dos pesos dos perfis, os quais podem ser observados na Tabela 5, é possível perceber que para vencer o vão de 20m sem a utilização de pilares intermediários, foi necessário a utilização de um perfil W530x66 para as vigas principais, o qual resultou num custo médio dos orçamentos de R\$31.706,53 com um peso de 3568,15 kg.

Com a utilização de pilares intermediários para sustentação da estrutura, foi possível a utilização de um perfil de seção W460x52, o qual resultou num custo médio dos orçamentos de R\$25.259,01 e reduziu o peso da estrutura para 2577,45 kg.

Já com a utilização das vigas principais treliçadas confeccionadas em perfis U de chapa dobrada, e com a utilização de pilares intermediários, foi possível reduzir drasticamente o peso da estrutura, quando comparada com as mesmas vigas em perfil do tipo W. Dessa forma, foi possível obter um custo médio dos orçamentos dos materiais de R\$5227,7 com um peso de 618,00 kg de material.

Apesar de possui um menor peso e custo inferior que as vigas de perfil W, as vigas treliçadas precisam ser revestidas para proporcionar o mesmo acabamento e robustez apresentadas pelas vigas W. Dessa forma foi realizado também nas empresas da região os orçamentos para revestir as treliças com placas cimentícias, onde obteve-se um valor médio de 3 orçamentos de R\$18.000,00 para o acabamento da estrutura.

Tabela 5 – Orçamentos realizados em empresas da região.

Perfil	Peso (kg)	Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3		Média dos orçamentos (R\$)
		Valor Unitário (R\$/kg)	Valor Total (R\$)	Valor Unitário (R\$/kg)	Valor Total (R\$)	Valor Unitário (R\$/kg)	Valor Total (R\$)	
		W 530x66	3235,36	9,0	29118,2	10,0	32353,6	
W 460x52	2577,45	9,0	23197,1	10,0	25774,5	10,4	26805,5	25259,01
Viga Treliçada - Perfis UDC	618,00	7,7	4762,9	9,3	5735,0	8,4	5185,0	5227,7

Para validar os orçamentos de custo dos materiais levantadas nas empresas da região, foi realizado também o orçamento tomando como base as tabelas de custos de insumos da

SINAPI. Na Tabela 6 pode-se verificar o valor do peso aço para os perfis do tipo W (laminados) e perfis do tipo UDC (perfil de chapa dobrada).

Tabela 6 – Insumos SINAPI.

CÓDIGO SINAPI	INSUMO	CUSTO UNITÁRIO (R\$/kg)
00043082	PERFIL "I" DE ACO LAMINADO, ABAS PARALELAS, "W", QUALQUER BITOLA	10,1
00040598	PERFIL UDC ("U" DOBRADO DE CHAPA) SIMPLES DE ACO LAMINADO, GALVANIZADO, ASTM A36, 127 X 50 MM, E= 3 MM	8,53

Fonte: Do autor (2023).

Com base no custo por kg de aço apresentado na Tabela 6 multiplicado pelo peso de aço dimensionado para cada um dos três tipos de estrutura metálica projetada, foi possível chegar no custo total dos insumos de acoco com a SINAPI, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Orçamentos com base na SINAPI.

Estrutura		Peso Perfil 'W' (kg)	Peso Perfil 'UDC' (kg)	Custo SINAPI (R\$/kg)	Custo Total (R\$)
Perfil W sem pilares int.	Viga Principal	3235,40	-	10,10	32677,14
Perfil W com pilares int.	Viga Principal	2577,50	-	10,10	26032,25
Treliçada com pilares int.	Banzos, Diagonais e Montantes da Viga Principal Treliçada	-	618,00	11,69	7224,42

Fonte: Do autor (2023).

De acordo com a Tabela 8, pode-se verificar que houve pequena variabilidade de 3,06% nos custos dos insumos para as estruturas com perfil do tipo W, quando comparado os orçamentos das empresas da região e o orçamento baseado na SINAPI. Porém, para a estrutura metálica treliçada houve uma variação de 38,9%.

Mesmo assim, consideram os valores dos orçamentos apresentados, pode-se verificar que o custo dos insumos para uma estrutura metálica treliçada é aproximadamente 80% menor que o custo dos insumos para produção da mesma estrutura em perfil do tipo W.

Tabela 8 – Comparação entre orçamentos dos insumos: Base própria x SINAPI.

Sistema Estrutural	Média dos orçamentos (Empresas) (R\$)	Custo Total Insumo SINAPI (R\$)	Δ (%)
Estrutura em Perfil W sem pilares intermediários.	31706,53	32677,14	3,06
Estrutura em Perfil W com pilares intermediários.	25259,01	26032,25	3,06
Estrutura em Viga Treliçada com pilares intermediários.	5227,67	7224,42	38,19

Fonte: Do autor (2023).

Por fim, é importante ressaltar que as vigas treliçadas proporcionam para as edificações uma diminuição drástica no peso da estrutura e conseqüentemente uma grande redução do custo. Porém, quando considerado o custo total é preciso adicionar o custo do acabamento de R\$18.000,00 às treliças o que elevará seu custo final de R\$5227,67 para R\$23.227,67, valor somente 8,04% menor que o R\$25.259,01, necessário para executar a estrutura em perfil laminado do tipo W.

6. CONCLUSÃO

A busca por métodos construtivos mais eficientes, que possibilitam a racionalização de suas variáveis, como a precisão no quantitativo de materiais, incremento na velocidade de montagem, minimização de perdas e controle rigoroso da qualidade se mostra uma forte tendência para o aperfeiçoamento dos projetos e execuções de obras. Tendo isso em mente, no panorama financeiro, mas especificamente em relação ao valor bruto dos materiais, o presente estudo conclui que as estruturas metálicas que utilizam o sistema de treliças compostas por perfis de chapa dobrada resultam no sistema estrutural mais leve, e com menor custo, quando comparado com estruturas de perfis laminados.

No entanto, a utilização dos perfis laminados do tipo W como viga principal na fachada da cobertura, quando comparados com a viga treliçada em perfis de chapa dobrada, resultou numa estrutura mais robusta e que tem maior durabilidade ao longo do tempo, sem a necessidade de manutenção periódica em curtos períodos, como pintura e retoque de acabamento, porém com maior custo.

Com base nos dados e discussões apresentadas, foi possível afirmar que o custo final da estrutura metálica treliçada é 8,04% menor que a estrutura em perfil do tipo W. Verificou-se também que as vigas treliçadas necessitam de maior tempo para fabricação e acabamento, e que as vigas do tipo W proporcionam maior peso da estrutura.

Dessa forma, aos olhos do cliente, é possível pautar a escolha entre os sistemas considerando a manutenção periódica exigida, peso, agilidade de fabricação e custo de cada tipo apresentado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253**: Perfis de aço formados a frio: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355**: Perfis estruturais, de aço, formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 2017 – Revisão.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT. 2014.
- BEER, Ferdinand P. et al. **Estática e mecânica dos materiais**. AMGH Editora, 2013.
- CAIXA – **Sistema construtivo em painéis reticulados estruturados com perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico (Light Steel Framing)** – Requisitos mínimos para financiamento pela Caixa. Caixa Econômica Federal, 2003.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI Metodologia e Conceitos** - 8ª Edição. Brasília, DF: Caixa, 2020. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-manual-de-metodologias-e-conceitos/Livro1_SINAPI_Metodologias_e_Conceitos_8_Edicao.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.
- CONSTANTINO, C. A. S. **A COHAB-SP e uma nova política habitacional**: o período 2001-2004. PhD Thesis. São Paulo: USP. 2007. 245p.
- DE MATTOS, Rodrigo Bhering. SINAPI–sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil: uma ferramenta útil no desenvolvimento de trabalhos de avaliações de imóveis. **Revista Valorem**, v. 2, n. 1, p. 37-45, 2023.
- ELHAJJ, N. **Fastening of light frame steel housing**: an international perspective. MD: National Association of Home Builders (NAHB), 2004.

FONSECA, L. A. F. Comparativos de custos totais de galpões em estrutura metálica com vigas de alma cheia e treliçada. 88 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019.

ISO 6241; **Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered.** Londres, 1984.

KESSLER, R. M. P. **Estudo acerca da racionalização dos itens de infra-estrutura em conjuntos de habitação popular com unidades individuais, baseado na obra da COHAB-RS.** Porto Alegre: UFRGS. 1982. 215p.

MANUAL DO UTILIZADOR CYPE 3D: Memória de Cálculo. Braga CYPE Ingenieros S. A., 2015.

NEVES, O. R.; CAMISASCA, M. M. **Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço.** Editora Escritório de Histórias. Belo Horizonte, 2013.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008.** 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PIGNATTA, V.; FRUCHTENGARTEN, J.; CAMPELLO, E. M. B. **Dimensionamento de Estruturas de Aço.** Apostila para a disciplina de Estruturas Metálicas e de Madeira. 2012. São Paulo. 2012.

PUGLIESI, M.; LAUAND, C.A. **Estruturas Metálicas.** Brasil: Editora Hemus, 2005. p.892
TÉCNICOS, MULTIPLUS SOFTWARES. **CYPECAD – Manual do Usuário.** São Paulo, 2010.

SOUZA, M. F.; RODRIGUES, R. B. **Sistemas Estruturais de Edificações Exemplos.** 2008. 93 f. Relatório Final de Pesquisa Científica – Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo.

TOMY, C. A. V. **Processos construtivos empregados na habitação popular no âmbito do SFH: os conjuntos da COHAB-BD (1967-2000).** Campinas: UNICAMP. 2000. 131p.