

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LARYSSA ALVES FEITOSA FONSECA

**COMPARATIVO DE CUSTOS TOTAIS DE GALPÕES EM ESTRUTURA
METÁLICA COM VIGAS DE ALMA CHEIA E TRELIÇADA**

Goiânia, GO
2019

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |
-

Nome Completo do Autor: Laryssa Alves Feitosa Fonseca

Matrícula: 20151011050071

Título do Trabalho: Comparativo de custos totais de galpões em estrutura metálica com vigas de alma cheia e treliçada

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

() O documento está sujeito a registro de patente.

() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

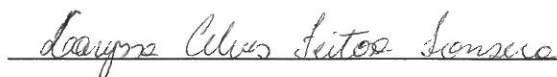
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 20 de Dezembro de 2019.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

LARYSSA ALVES FEITOSA FONSECA

**COMPARATIVO DE CUSTOS TOTAIS DE GALPÕES EM ESTRUTURA
METÁLICA COM VIGAS DE ALMA CHEIA E TRELIÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás, Campus Goiânia, como
parte dos requisitos necessários
para obtenção de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Valdeir
Francisco de Paula

Goiânia, GO

2019

F676c Fonseca, Laryssa Alves Feitosa.

Comparativo de custos totais de galpões em estrutura metálica com vigas de alma cheia e treliçada / Laryssa Alves Feitosa Fonseca. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

88f.

Orientadora: Dr Valdeir Francisco de Paula.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,

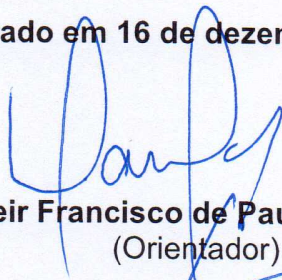
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

Laryssa Fonseca

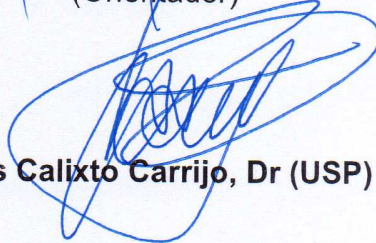
**COMPARATIVO DE CUSTOS TOTAIS DE GALPÕES EM ESTRUTURA
METÁLICA COM VIGAS DE ALMA CHEIA E TRELIÇADA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil**

Aprovado em 16 de dezembro de 2019:



Valdeir Francisco de Paula, Dr (UNB)
(Orientador)



Elias Calixto Carrijo, Dr (USP)



Marcus Vinícius A. da Silva Mendes, Dr (UFG)

Goiânia, GO
2019

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o custo final dos galpões com viga de alma cheia e treliçado. Para isso, foi realizado o dimensionamento estrutural dos galpões utilizando o *software CYPE 3D*, analisando o consumo de aço gerado. Foram feitas também entrevistas com profissionais do ramo de execução de estruturas metálicas, com intuito de obter informações relevantes sobre o consumo de aço e a influência dos outros itens que compõem o custo final de uma estrutura metálica. Devido à falta de detalhamento na composição orçamentária das tabelas oficiais disponíveis, foi necessário criar uma composição de custos unitários para essas duas tipologias de galpões, considerando a contribuição de cada item que compõe o orçamento, através das análises feitas no decorrer das visitas em campo. Por fim, verificou-se que o custo final para o galpão com viga de alma cheia é menor do que o sistema treliçado, apesar de levar a um maior consumo de aço.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas; Galpões Metálicos; Sistemas Treliçado; Vigas de Alma Cheia; Custos.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the final cost of full and screened soul sheds. For this, the structural design of the sheds was performed using the CYPE 3D software, analyzing the steel consumption produced. Interviews were also conducted with professionals in the field of steel structure execution, in order to obtain relevant information on steel consumption and the influence of other items that make up the final cost of a metal structure. Considering the lack of detail in the budget composition of the available official tables, it was necessary to create a unit cost composition for these two types of sheds, considering the contribution of each item that composes or budget, ie, performs the analyzes performed during the visits in the field. Finally, make sure that the final cost for the full soul shed is lower than the tracked system, although it leads to higher steel consumption.

Keywords: Metal Structures; Metal sheds; Lattice systems; Full Soul Beams; Costs

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Teatro Palais Royal, na França	20
Figura 2: Edifício industrial com colunas e vigas de alma cheia.....	27
Figura 3: Edifício industrial com sistema de cobertura treliçado.....	28
Figura 4: Edifício industrial com coluna de Alma Cheia e viga de rolamento	28
Figura 5: Edifício industrial com coluna treliçada e viga de rolamento	29
Figura 6: Edifício industrial com duas meias-águas, geminado.....	29
Figura 7: Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado	30
Figura 8: Galpão em arco treliçado	30
Figura 9: Galpão com contraventamento em X e Vigas Longitudinais	32
Figura 10: (a)Vínculo Flexível e (b) Vínculo Engastado	33
Figura 11: Elementos de uma treliça.....	34
Figura 12: Aplicações de sistemas treliçados: (a) cobertura de edificações industriais, (b) contraventamentos de edifícios, (c) contraventamentos de pontes ...	34
Figura 13: treliças com banzo superior inclinado	35
Figura 14: Tipologias de treliça	36
Figura 15: Ligação quanto à rigidez à rotação; (a) ligação flexível, com dupla cantoneira de alma; (b) ligação rígida, com dupla cantoneira de alma e chapas de transpasse nas mesas da viga; (c) curvas momento x rotação relativa	38
Figura 16: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s) para o território brasileiro	38
Figura 17: Elementos tracionados em estruturas	42
Figura 18: perfis usados em peças tracionadas: (a) barra redonda; (b) barra chata; (c) perfil laminado simples (cantoneira); (d) seções compostas de dois perfis laminados (dupla cantoneira com faces opostas ou cantoneiras opostas pelo vértice)	45
Figura 19: Colunas de seção simples e de seção múltipla.....	45
Figura 20: Modelo do pórtico alma cheia	55
Figura 21: Modelo do pórtico treliçado	55
Figura 22: Coeficientes externos para a parede.....	58
Figura 23: Coeficientes externos para a cobertura.....	59
Figura 24: Sobreposição dos coeficientes de forma e de pressão para o vento longitudinal (V_0°)	59

Figura 25:Sobreposição dos coeficientes de forma e de pressão para o vento longitudinal ($V0^\circ$)	60
Figura 26:Caso crítico de carga para o vento longitudinal ($V0^\circ$) – (kn/m^2)	60
Figura 27: Caso crítico de carga para o vento longitudinal ($V90^\circ$) – (kn/m^2)	61
Figura 28: Sobrecarga permanente – $0,03\text{tf/m}$	63
Figura 29: Sobrecarga normativa da cobertura – $0,15\text{tf/m}$	63
Figura 30: Carga Vento 90° Direita/Esquerda (tf/m)	64
Figura 31 : Carga Vento 90° Esquerda/ Direita (tf/m)	64
Figura 32: Carga Vento 0°	65
Figura 33: Representação tridimensional com todas as cargas atuantes	66
Figura 34: Sd/Rd – Pórtico de alma cheia	67
Figura 35: Sd/Rd – Pórtico treliçado	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Consumo per capita de aço em 2017	23
Quadro 2: Produção de aço bruto por país	23
Quadro 3: Produto Interno Bruto (PIB), em bilhões de US\$, 2016.	24
Quadro 4: PIB Paridade Poder de Compra (PPC), em bilhões de US\$, 2016	24
Quadro 5: Valores de sobrecargas para o sistema treliçado.....	66
Quadro 6: Lista de materiais para o galpão com viga de alma cheia.	68
Quadro 7: Lista de materiais para o galpão com viga treliçada.....	70
Quadro 8: Deslocamento máximo do pórtico treliçado.....	71
Quadro 9: Deslocamento máximo do pórtico de Alma Cheia	71
Quadro 10: Custos unitários para produção e montagem de galpões estruturados em aço	82
Quadro 11: Custo final das tipologias em estudo	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características tipos de treliças.....	36
Tabela 2: Coeficientes de Segurança Parciais γ_f Aplicados às Ações (ou Solicitações) no Estado Limite Último	43
Tabela 3: Valores dos Fatores de Combinação ψ_0 e de Redução ψ_1 e ψ_2 para as Ações Variáveis.....	44
Tabela 4: Consumo de Aço	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Deslocamentos	49
--------------------------------	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	MÉTODO DE PESQUISA	17
3.	REVISÃO DA LITERATURA	19
3.1.	Breve histórico.....	19
3.2.	Fabricação do aço	20
3.3.	Propriedades do aço	21
3.4.	Consumo de aço no Brasil e no mundo.....	22
3.5.	Vantagens e desvantagens da estrutura em aço	25
3.6.	Tipologias dos Galpões	26
3.7.	Componentes do Galpão.....	31
3.7.1.	Terças e Tirantes	31
3.7.2.	Contraventamentos e vigas longitudinais	31
3.7.3.	Pilares	32
3.7.4.	Placas de base e chumbadores	33
3.7.5.	Treliças.....	33
3.7.5.1.	Tipologias de treliças para cobertura	35
3.8.	Ligações Rígidas e Flexíveis.....	37
3.9.1.	Estados limites	39
3.9.2.	Ações	40
3.9.3.	Dimensionamento de elementos estruturais	44
4.	TRABALHOS RELACIONADOS COM O TEMA PROPOSTO.....	50
5.	ÁNALISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DAS TIPOLOGIAS	54
6.	ENTREVISTAS.....	72
6.1.	Entrevistado Um:	72
6.2.	Entrevistado Dois:	74
6.3.	Entrevistado Três:	76
7.	COMPOSIÇÃO ORÇAMENTÁRIA	79
8.	CUSTO FINAL.....	83

9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
10.	APÊNDICE 1	85
	REFERÊNCIAS.....	86

1. INTRODUÇÃO

Os galpões são construções que geralmente possuem um único pavimento, com intuito de cobrir grandes áreas, sendo utilizado como armazenamento, abrigo ou apenas proteger as instalações. Dentre as variadas construções, têm-se fábricas, estádios e almoxarifados (MIC/STI, 1986).

Segundo Fischer (1993), os edifícios industriais, em geral, tem como objetivo abrigar uma área para estoque ou produção. O projeto do edifício logicamente seria uma área restrita do engenheiro estrutural, contudo, é primordial para a construção dos edifícios tomada de decisões e detalhamentos que não estão contidas apenas no projeto estrutural.

Em 1750, têm-se os primeiros registros de obras em aço após a descoberta da sua produção industrializada. Em torno de 1780, ocorreu sua aplicação estrutural na França, com obras na escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal. Em 1757, na Inglaterra, foi feita uma ponte de ferro fundido. Mas apenas em torno de 1812, o aço começou a ser utilizado em edifícios. No Brasil, acredita-se que a pioneira na utilização do ferro fundido foi no Estaleiro de Mauá, em Niterói, para a construção da Ponte de Paraíba do Sul, utilizada ainda hoje. Quanto ao aço importado, a primeira obra a utilizá-lo foi em edifícios do Teatro Santa Izabel, em Recife em 1876 (Bellei, 2010).

Há duas tipologias básicas de galpões em pórticos, classificados em função do tipo de estrutura transversal portante: os pórticos de alma cheia, que utilizam os perfis maiores laminados ou soldados como elementos principais da estrutura, e os pórticos treliçados, que empregam perfis formando reticulados em treliça para compor os elementos principais da estrutura. Devido ao seu fator econômico e flexível, os galpões de aço vêm sendo um dos tipos de construções mais atrativas no mercado. O aço se destaca na construção civil devido a diversos fatores, como sua flexibilidade, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, racionalização de materiais e mão de obra, precisão construtiva, alívio de carga nas fundações e precisão no orçamento (PINHO, 2010).

Neste trabalho será projetado um galpão com viga de alma cheia e outro galpão em treliça para obter o consumo de aço de cada estrutura. Em seguida será

feita entrevistas com profissionais experientes na área de execução em estruturas metálicas, com intuito de quantificar a taxa de produtividade e os itens que interferem no custo. Com isso, será construída uma tabela orçamentária de custos unitários para que seja calculado o custo final de cada tipo de galpão projetado.

2. MÉTODO DE PESQUISA

2.1. Problema

No cotidiano dos escritórios e construtoras envolvidas com obras de estrutura metálica é afirmado que o consumo de aço em galpões com viga de alma cheia é maior quando comparadas com vigas treliçadas. Contudo, quando se analisa outros fatores, como a produtividade na fabricação, o custo final de galpões com vigas treliçadas pode ser menor do que as construções executadas com o emprego de vigas de alma cheia?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo geral

Avaliar o custo final da estrutura metálica de um galpão, empregando-se viga de alma cheia e treliçada.

2.2.2. Objetivos específicos

- a) Dimensionar estrutura de um galpão, segundo critérios da ABNT,2008;
- b) Entrevistar profissionais envolvidos com execução de estruturas metálicas;
- c) Quantificar a taxa de consumo de aço;
- d) Montar a composição de custos unitários dos dois tipos de galpões;
- e) Analisar as diversas variáveis ponderadas nas entrevistas, com intuito de avaliar sua contribuição no custo final de cada tipologia adotada.

2.3. Delimitação

Este trabalho delimitou-se à realização do estudo com um galpão industrial, situado na cidade de Goiânia/GO, com 30 metros de largura, 48 metros de comprimento, 6 metros de pé-direito e com espaçamento entre os pórticos de 6 metros. O dimensionamento foi feito através do software CYPE 3D.

2.4. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Seleção do projeto;
- c) Determinação do modelo estrutural;
- d) Dimensionamento das estruturas;
- e) Quantificar o consumo de aço;
- f) Entrevistas sobre produtividade de execução com profissionais da área;
- g) Elaboração de uma tabela com custos unitários dos itens que compõem o orçamento das duas tipologias de galpões, sendo considerados os índices de produtividade quantificados com as entrevistas;
- h) Calcular custo final, de acordo com a tabela elaborada para cada estrutura;
- i) Comparação dos resultados;
- j) Análise final e conclusão.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa será feita uma abordagem de fundamentação teórica do aço assim como o método de cálculo adotado para o dimensionamento da estrutura.

3.1. Breve histórico

Há 8000 anos, a utilização do ferro se iniciou em países como o Egito, Babilônia e Índia. Inicialmente, seu uso se destinava somente em adornos nas construções, em joias e equipamentos militares. Apenas após a revolução industrial o ferro fundido começou a ser usado em escala industrial, viabilizando seu uso como material estrutural (CHAMBERLAIN, FICANHA e FABEANE, 2013).

Entre 1780 e 1820, conforme se popularizava seu grande potencial de utilização em estruturas, construíram-se diversas pontes em arco ou treliçadas, que possuíam elementos em ferro fundido, trabalhando à compressão. Entretanto, no século XIX, declinou o uso do ferro fundido, sendo substituído pelo ferro forjado que, em geral, oferecia maior segurança (PFEIL e PFEIL, 2009).

Segundo Bellei (2010), o início da fabricação de ferro no Brasil se deu em torno de 1812. A primeira obra a utilizar ferro fundido no Brasil teria sido no estaleiro de Mauá, em Niterói, Rio de Janeiro, foi a ponte de Paraíba do Sul, em 1857 (Figura 1). Em 1921, foi implantada a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira para a produção de arame farpado e perfis leves. Em 1940 foi fundada a comissão executiva do plano siderúrgico nacional. Em 1941, inaugurou a Companhia Siderúrgica Nacional, para fins de produção de chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas.

As primeiras construções em obra de aço ocorreram em 1750 quando se descobriu um modo de produção industrial do aço. Sua utilização estrutural foi realizada na França por volta de 1780, na escadaria do Louvre e no teatro do *Palais Royal* (Figura 1). Em 1757 na Inglaterra construiu-se uma ponte de ferro fundido. Contudo, o uso do aço em edifícios ocorreu por volta de 1812.

Figura 1: Teatro *Palais Royal*, na França.



Fonte: PEDRO NONATO, 2011.

3.2. Fabricação do aço

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os metais ferrosos são mais utilizados na forma de aço, ferro fundido e ferro forjado. A presença do elemento carbono aumenta a resistência mecânica do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais dúcteis.

O processo de fabricação do aço consiste na produção de ferro fundido no alto-forno e depois é feito o refinamento em aço no conversor de oxigênio. Para melhor rendimento e economia, o carvão e o minério são preparados antes de serem colocados no alto forno. Para isso, o minério utilizado em pelotas e o carvão são destilados, para que se obtenha o coque, que através dele ainda se obtém subprodutos carboquímicos (FERRAZ, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Carvão Mineral (2007), o carvão quando em forma de coque deve exercer alguns papéis básicos, como:

- 1 – Suprir o calor necessário para os requisitos endotérmicos das reações químicas e fundir as escórias e produtos metálicos dessas reações;
- 2 – Produzir e regenerar os gases para a redução de vários óxidos (principalmente CO);
- 3 – Proporcionar a formação de uma forte e permeável armação, através da qual a escória e o metal possam cair para a fornalha, e que os vários gases possam se elevar até o topo do forno;
- 4 – Suprir carbono que se dissolverá no metal quente.

De acordo com Blucher (2010), após a etapa de redução é feito o processo de refino, realizado em fornos a oxigênio ou elétricos em que o ferro gusa é

transportado para a aciaria, em estado líquido, para que seja transformado em aço, com a queima de impurezas e adições. Por fim, ocorre o procedimento para a fabricação do aço, a laminação. Em que o aço em estado de solidificação é modificado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos, como bobinas, arames, barras, chapas, dentre outros.

3.3. Propriedades do aço

O conhecimento das propriedades do aço é primordial, especificamente no campo de estruturas metálicas, em que o projeto e execução são baseados nelas (FERRAZ, 2005).

São propriedades do aço:

a) Elasticidade: é a capacidade do metal de voltar a sua forma inicial, depois que a força externa aplicada seja retirada. Essa deformação se baseia na Lei de Hooke, em que dentro do regime elástico, as tensões são proporcionais às deformações;

b) Plasticidade: contrária à propriedade da elasticidade, nela, analisa-se a capacidade do material não voltar a sua forma original depois que é retirado a carga externa, ou seja, ocorrem deformações permanentes. Essa propriedade faz com que modifique a estrutura do aço, aumentando sua dureza (FERRAZ, 2005);

c) Dureza: é a resistência ao risco ou abrasão. Para verificá-la, mede-se a resistência que a superfície do metal oferece à penetração de uma peça de maior dureza (PFEIL e PFEIL, 2008). Sua análise é de fundamental importância nas operações de estampagem de chapas de aços;

d) Ductibilidade: é a capacidade do material de se deformar sobre a ação de cargas antes de se romper, dessa forma, a ductibilidade é fundamental na construção, pois serve como um aviso prévio à ruptura final do material.

Os aços dúcteis, quando sujeitos à tensões locais elevadas, estão sujeitos a deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Esse comportamento plástico permite, por exemplo, que se considere numa ligação parafusada distribuição uniforme da carga entre parafusos. (PFEIL e PFEIL, 2009, p.16).

e) Fragilidade: oposta à propriedade de ductibilidade, ou seja, rompe sem aviso prévio. São vários fatores que podem tornar um material frágil, como a solda elétrica e temperaturas ambientes muito baixas.

O comportamento frágil é analisado sob dois aspectos: iniciação da fratura e sua propagação. A iniciação ocorre quando uma tensão ou deformação unitária elevada se desenvolve num ponto onde o material perdeu ductibilidade. As tensões elevadas podem resultar de tensões residuais, concentração de tensões, efeitos dinâmicos e etc. A falta de ductibilidade pode originar-se de temperatura baixa, estado triaxial de tensões, efeito de encruamento, fragilização por hidrogênio etc. Uma vez iniciada, a fratura se propaga pelo material, mesmo em tensões moderadas. (PFEIL e PFEIL, 2009, p.16).

f) Resiliência e Tenacidade: essas propriedades estão relacionadas com a capacidade do material de absorver energia mecânica. Tem-se que resiliência é a capacidade de restituir a energia mecânica absorvida. Já a tenacidade é a energia montante que o material absorve por unidade de volume até sua ruptura. Dessa forma, “um material dúctil com a mesma resistência de uma matéria frágil irá requerer maior energia para ser rompido, portanto é mais tenaz” (FERRAZ, 2005);

g) Fadiga: É o fenômeno que expressa quando o comportamento do material se rompe devido à exposição de repetidas solicitações. Essa ruptura ocorre em tensões inferiores às verificadas em ensaios.

3.4. Consumo de aço no Brasil e no mundo

Segundo a Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2018), 4,0% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro corresponde à indústria de aço. Apesar do setor siderúrgico não ser intensivo em mão de obra, ele influencia significativamente nos setores que os são, pois segundo a Fundação Getúlio Vargas (FGV) possui efeito multiplicador de 23,57. O consumo *per capita* de aço em 2017 é representado no Quadro 2 e a produção de aço bruto por país é representado no Quadro 3.

Quadro 1: Consumo *per capita* de aço em 2017

CONSUMO PER CAPITA DE AÇO EM 2017	
<i>Países</i>	<i>Kg/hab.</i>
Coreia do Sul	1152
Formosa/Taiwan	897
Japão	550
China	545
Alemanha	538
Turquia	475
Itália	438
Polônia	427
Estados Unidos	338
Espanha	315
Rússia	308
México	228
Chile	176
Argentina	127
Brasil	98

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL (2017).

Quadro 2: Produção de aço bruto por país

PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO POR PAÍS (kg/hab.)						
<i>Países</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>
China	731	822	823	799	808	832
Japão	107	111	111	105	105	105
Índia	77	81	87	89	96	101
Estados Unidos	89	87	88	79	79	82
Rússia	70	69	72	71	71	71
Coreia do Sul	69	66	72	70	69	71
Alemanha	43	43	43	43	42	43
Turquia	36	35	34	32	33	38
Brasil	35	34	34	33	31	34
Ucrânia	33	33	27	23	24	23

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL (2017).

O Instituto de Pesquisas de Relações Internacionais fez três listagens em 2017, duas delas relaciona as quinze maiores economias do mundo quanto ao PIB em dólares (Quadro 4) e PIB Paridade Poder de Compra (Quadro 5). Os dados se referem ao ano de 2016 e está de acordo com o Fundo Monetário Internacional (FMI).

Quadro 3: Produto Interno Bruto (PIB), em bilhões de US\$, 2016.

PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB), EM BILHÕES DE US\$, 2016.		
Posição	País	US\$ bilhões
1°	Estados Unidos	18.569,10
2°	China	11.218,28
3°	Japão	4.938,64
4°	Alemanha	3.466,64
5°	Reino Unido	2.629,19
6°	França	5.463,22
7°	Índia	2.256,40
8°	Itália	1.850,74
9°	Brasil	1.798,62
10°	Canadá	1.529,22
11°	Coreia do Sul	1.411,25
12°	Rússia	1.280,73
13°	Austrália	1.258,98
14°	Espanha	1.232,60
15°	México	1.046,00

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL (2017).

Quadro 4: PIB Paridade Poder de Compra (PPC), em bilhões de US\$, 2016

PARIDADE PODER DE COMPRA (PPC), EM BILHÕES DE US\$, 2016.		
Posição	País	US\$ bilhões
1°	China	21.291,77
2°	Estados Unidos	18.569,10
3°	Índia	8.662,35
4°	Japão	5.237,79
5°	Alemanha	3.980,28
6°	Rússia	3.799,70
7°	Brasil	3.141,34
8°	Indonésia	3.032,09
9°	Reino Unido	2.785,56
10°	França	2.733,68
11°	México	2.315,65
12°	Itália	2.234,50
13°	Turquia	1.988,33
14°	Coreia do Sul	1.934,03
15°	Arábia Saudita	1.750,86

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL (2017).

Dessa forma, analisando os dados apresentados, fica evidente que o desenvolvimento econômico de um país está associado ao consumo de aço, uma vez que os maiores consumidores estão entre as maiores potências econômicas mundiais.

3.5. Vantagens e desvantagens da estrutura em aço

As principais vantagens do aço são as seguintes (PUGLIESI E LAUAND, 2015):

- Tempo de execução menor: A estrutura metálica é projetada para fabricação industrial e seriada dessa forma levando a um menor tempo de fabricação e montagem;
- Confiabilidade maior: 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 a 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.

Em relação às principais desvantagens são as seguintes:

- Limitação de execução em fábrica, 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.

3.6. Tipologias dos Galpões

Existem vários sistemas estruturais. A escolha da tipologia a ser adotada depende principalmente da finalidade do projeto, sendo considerados todos os componentes que configura o sistema. (CHAMBERLAIN, 2012). Há vários modelos para a estrutura de aço, a seguir serão descritas os principais tipos de galpões para o grupo de edifício industrial em duas águas, com sistema treliçados na cobertura:

- Edifício industrial em duas águas, com vigas de cobertura em alma cheia (Figura 3);

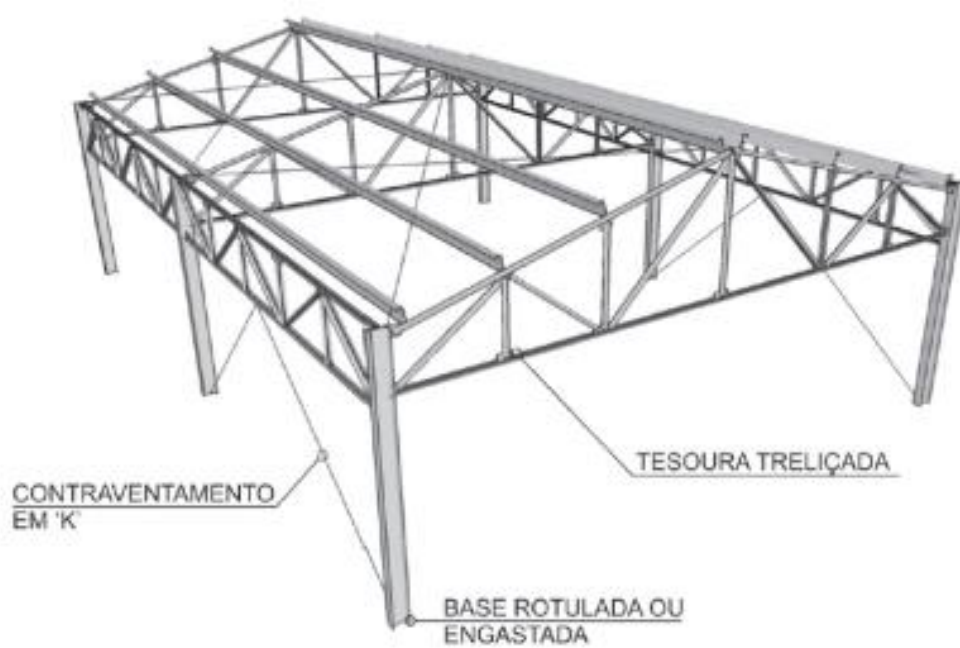
- Edifício industrial em duas águas, com sistemas treliçados na cobertura (Figura 4);
- Edifício industrial em duas águas, em perfis de alma cheia, com viga de rolamento apoiada em mísula (Figura 5);
- Edifício industrial em duas águas, com coluna treliçada e vigas de cobertura em alma cheia, com viga de rolamento (Figura 6);
- Edifício industrial em duas meias-águas, geminado (Figura 7);
- Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado (Figura 8);
- Cobertura em arco treliçado (Figura 9).

Figura 2: Edifício industrial com colunas e vigas de alma cheia



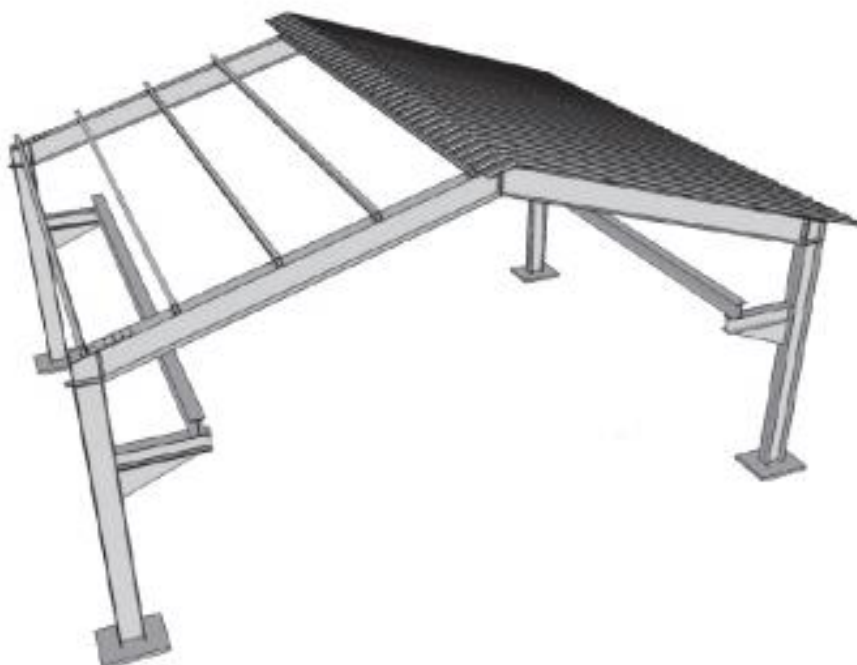
Fonte: CBCA (2010)

Figura 3: Edifício industrial com sistema de cobertura treliçado



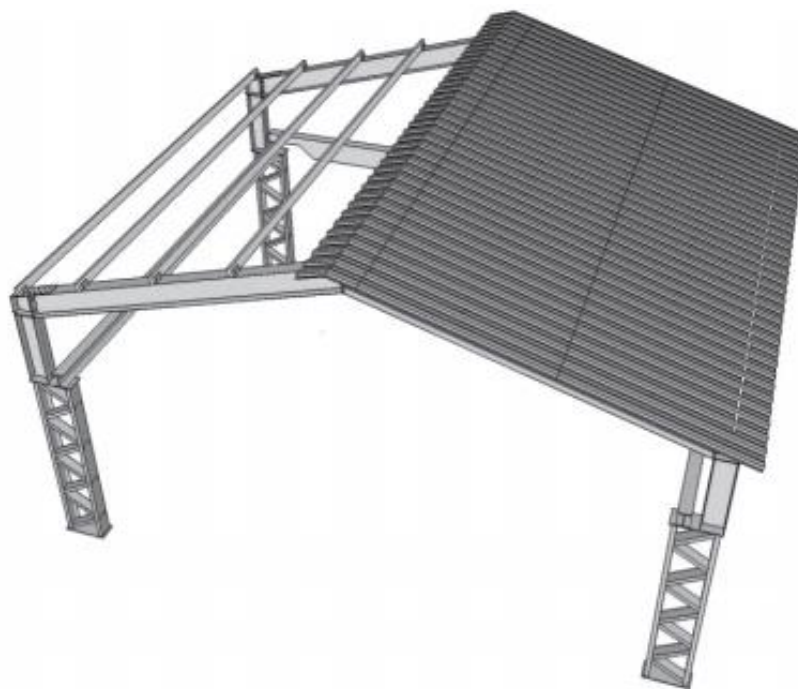
Fonte: CBCA (2010)

Figura 4: Edifício industrial com coluna de Alma Cheia e viga de rolamento



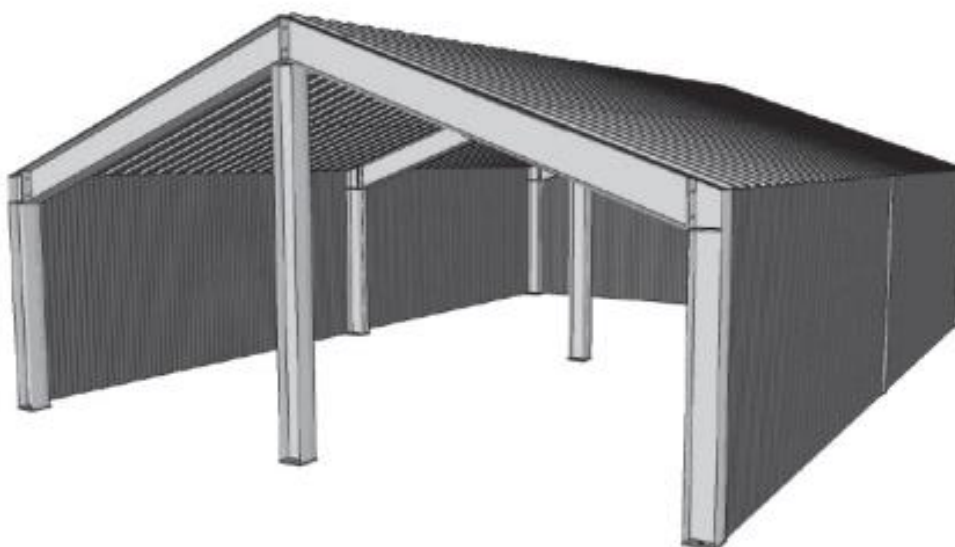
Fonte: CBCA (2010)

Figura 5: Edifício industrial com coluna treliçada e viga de rolamento



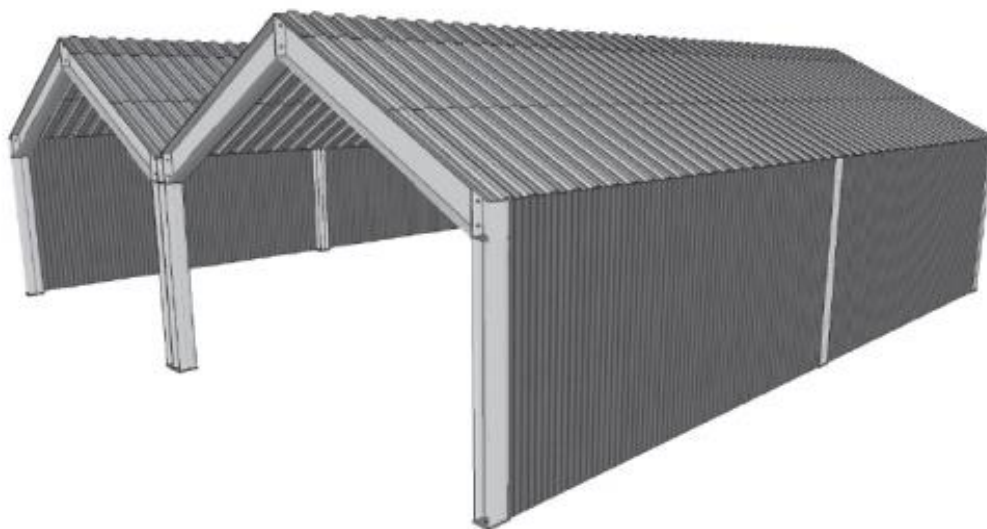
Fonte: CBCA (2010)

Figura 6: Edifício industrial com duas meias-águas, geminado



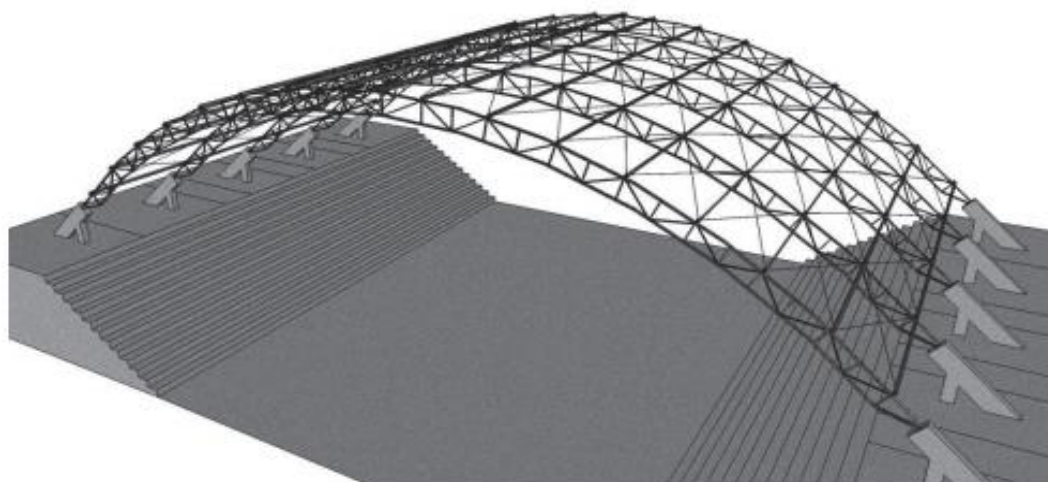
Fonte: CBCA (2010)

Figura 7: Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado.



Fonte: CBCA (2010)

Figura 8: Galpão em arco treliçado



Fonte: CBCA (2010)

Segundo Pinho (2015), os galpões com ponte rolante são mais complexos, pois requerem um suporte para o rolamento deste. Geralmente são utilizadas para instalações industriais, já que facilita o transporte de materiais e equipamentos dentro da fábrica. Praticamente todas as tipologias empregadas nos galpões sem ponte rolante podem ser utilizadas para os galpões com ponte rolante. Contudo, a carga predominante não é mais do vento e sim da própria estrutura, que gera esforços verticais e horizontais. Para os galpões com pontes rolantes leves, manuseadas com controles pendentes, as vigas de rolamento podem se apoiar em

consoles soldados nas colunas de seção única, respeitando os afastamentos mínimos exigidos para a movimentação da ponte.

Para os galpões com pontes rolantes médias ou com a altura maior para o caminho de rolamento, é necessário utilizar perfis diferentes para os segmentos abaixo e acima do apoio das vigas de rolamento para obter um conjunto econômico, respeitando as folgas necessárias para a movimentação da ponte rolante.

Para galpões com pontes rolantes pesadas ou de grandes vãos livres, a utilização de uma segunda coluna, apenas para o apoio das vigas de rolamento, tornará o conjunto bastante eficiente, desde que se trave uma coluna na outra formando um conjunto treliçado, dando a rigidez necessária para resistir às cargas horizontais da ponte rolante.

3.7. Componentes do Galpão

3.7.1. Terças e Tirantes

As terças são partes da estrutura destinadas a receber e transmitir ao restante da estrutura, o carregamento das telhas do galpão, e quando necessário, também há terças laterais destinadas ao carregamento das chapas de fechamento lateral. Quando o vão da terça é muito grande, pode-se reduzir seu vão na direção da menor inércia, fixando tirantes no sentido perpendicular na metade do vão. Geralmente se utilizam barras redondas como tirantes (SILVA, 2017b).

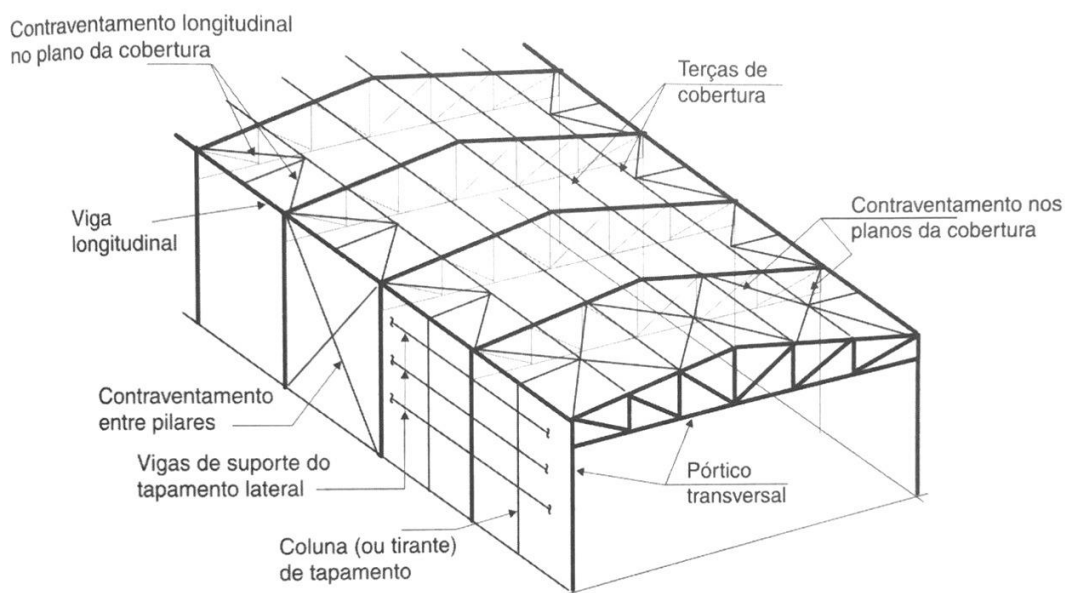
3.7.2. Contraventamentos e vigas longitudinais

Os sistemas de contraventamentos montados na Figura 13 são feitos por barras associadas geralmente em forma de X compondo os sistemas treliçados, que são destinados, principalmente, a fornecer estabilidade espacial ao conjunto, além de distribuir a carga do vento (PFEIL e PFEIL, 2009).

As estruturas com ligações viga-pilar flexíveis, só são estáveis para a ação de cargas verticais. Para resistir às ações horizontais, os pilares funcionam isolados (sem ação de pórtico); por isso deve-se associar uma subestrutura com grande rigidez à flexão, denominada contraventamento, que no caso de galpões são

formadas por barras ou cabos de aço, dispostas em formato de X ou K. As vigas longitudinais (Figura 9), em conjunto com o contraventamentos dão estabilidade espacial à estrutura, frente aos carregamentos horizontais. Geralmente, os contraventamentos de cobertura formam treliças dispostas no plano das terças, que juntamente com os contraventamentos laterais, absorvem as ações longitudinais que atuam na estrutura transmitindo-as para as fundações, garantindo assim a estabilidade longitudinal da construção (CHAVES, 2007).

Figura 9: Galpão com contraventamento em X e Vigas Longitudinais



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

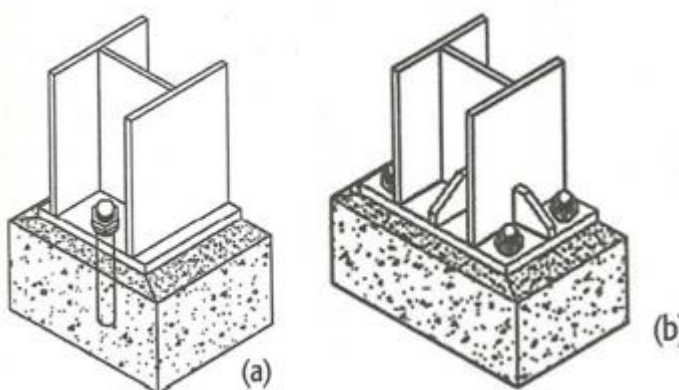
3.7.3. Pilares

De acordo com Dias (1997), os pilares são responsáveis por transmitir as solicitações aos elementos de fundação, contribuindo de forma significativa na estabilidade global da estrutura, além de resistir às solicitações provenientes das ações horizontais na estrutura. Sua ligação com a fundação se dá através de chumbadores fixados na placa de base. Além disso, os pilares estão sujeitos geralmente à esforços axiais de compressão.

3.7.4. Placas de base e chumbadores

As placas de base e chumbadores são as peças situadas na base do pilar, responsáveis por transferir para a fundação as forças horizontais, verticais e momentos, dependendo se o vínculo é rotulado ou engastado. Os chumbadores são feitos de barras redondas com uma extremidade rosqueada e com dispositivo de ancoragem na outra. Com pórticos rotulados nas bases obtêm-se fundações mais econômicas se comparadas aos engastados na base, favorecendo a implantação dessas estruturas em terrenos de baixa capacidade de suporte. Em contrapartida, há uma maior solicitação dos esforços na estrutura se comparados com os pórticos de base engastada, assim como os deslocamentos que são maiores (BELLEI, 2010).

Figura 10: (a) Vínculo Flexível e (b) Vínculo Engastado



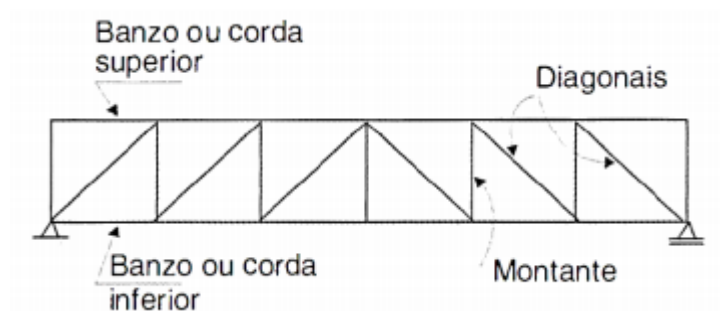
Fonte: QUEIROZ e VILELA, 2012.

3.7.5. Treliças

As treliças utilizadas são constituídas de segmentos de hastes, unidos em pontos denominados nós, formando uma configuração geométrica estável, de base triangular, que pode ser isostática ou hiperestática (PFEIL e PFEIL, 2009).

A principal característica das treliças é que as suas barras trabalham normalmente a tração ou a compressão. A Figura 11 mostra a nomenclatura dos diversos elementos de uma treliça plana (PFEIL e PFEIL, 2009).

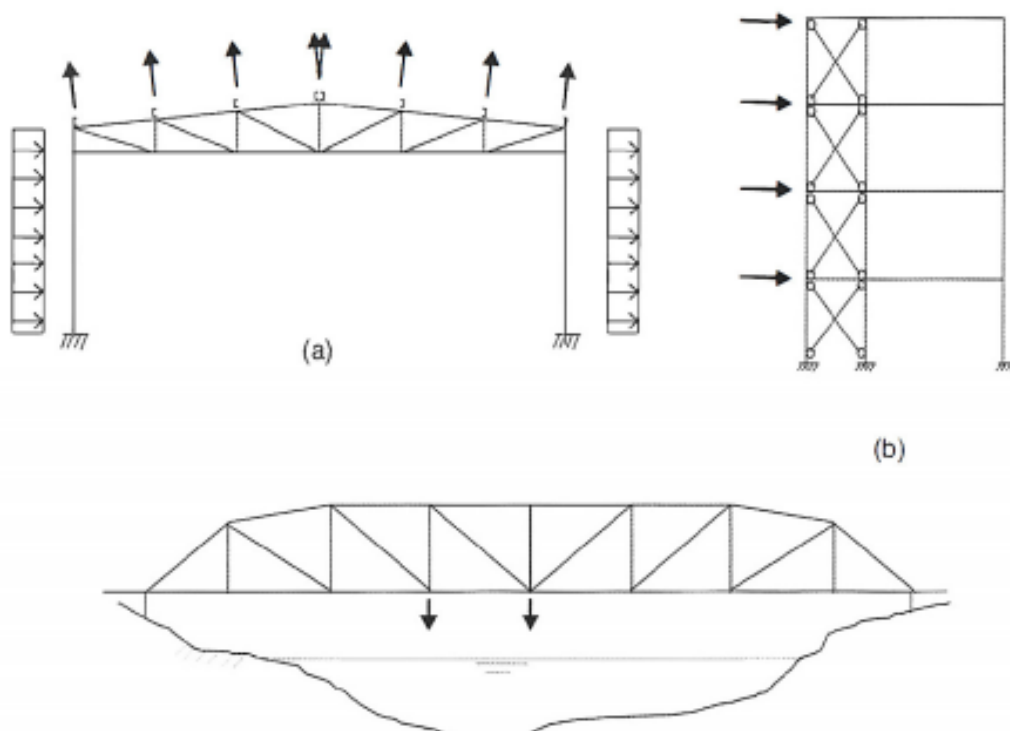
Figura 11: Elementos de uma treliça



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

As principais aplicações dos sistemas treliçados metálicos são coberturas de edificações industriais, contraventamentos de edifícios e pontes, como mostrado na Figura 12.

Figura 12: Aplicações de sistemas treliçados: (a) cobertura de edificações industriais, (b) contraventamentos de edifícios, (c) contraventamentos de pontes.



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

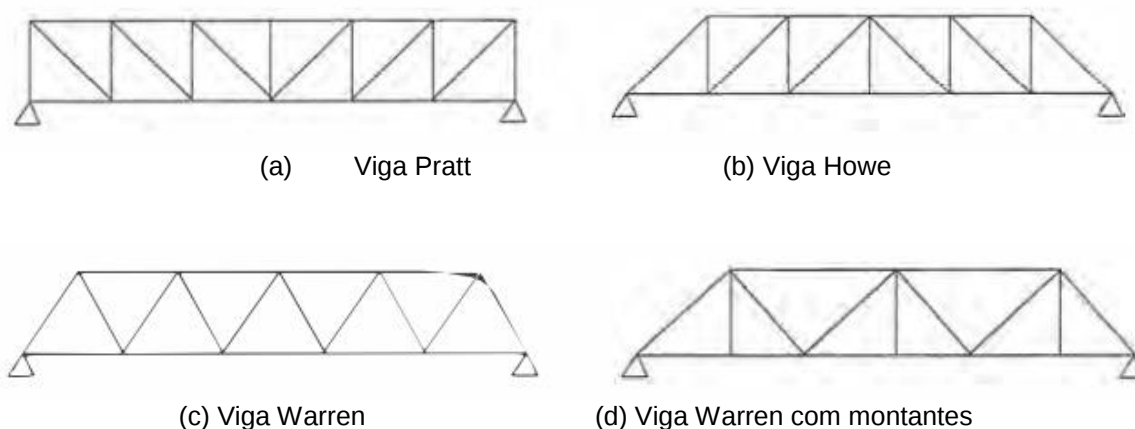
Geralmente as treliças possuem o banzo superior inclinado (Figura 13), enquanto as utilizadas em apoios de pisos e pontes têm bantos paralelos (Figura 20). As configurações geométricas mais conhecidas são designadas por nomes próprios, como Pratt, Howe e Warren, representadas a seguir.

Figura 13: treliças com banzo superior inclinado.



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

Figura 14: Treliças com Banzos Paralelos



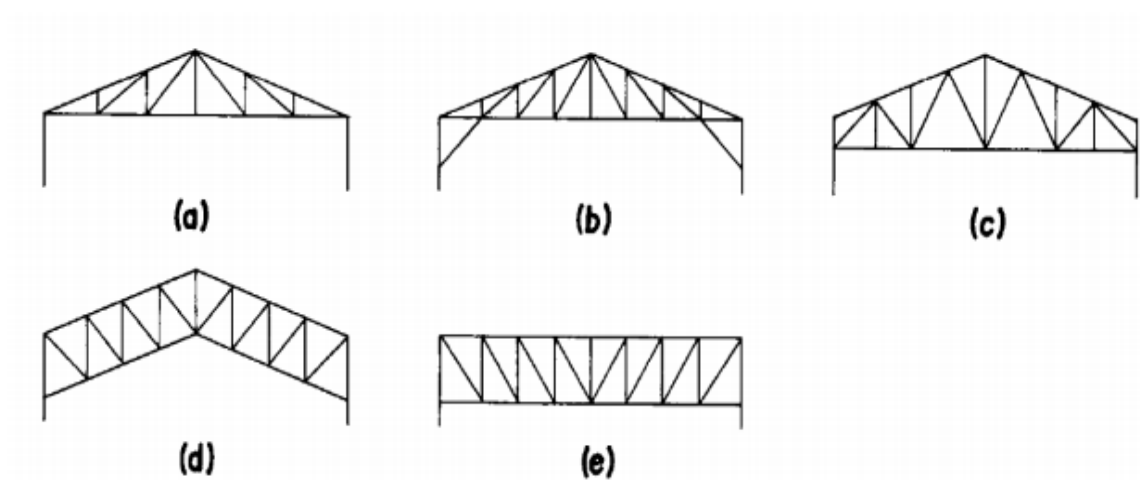
Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

3.7.5.1. Tipologias de treliças para cobertura

Segundo Bellei (2010), a forma da treliça e disposição dos elementos define a tipologia do sistema estrutural do pórtico principal do galpão. O arranjo deve ser ajustado para conseguir uma solução que atenda aos requisitos funcionais, de segurança e econômicos. Existe uma grande variedade de tipos de treliças usadas em edifícios industriais.

As mais usuais são apresentadas na Figura 15. A tesoura mais simples é a calculada como biapoiada (Figura 15-a). Para alcançar maior rigidez para as cargas laterais de vento, é utilizada uma mão-francesa indo da coluna até o primeiro montante (Figura 15-b), ou se adota uma solução como a indicada na Figura 15-c, que propicia excelente rigidez às colunas para qualquer tipo de carregamento. As soluções em treliças, com as cordas paralelas, também é uma ótima opção para inclinações de 0° a 10° (Figura 15-d-e).

Figura 15: Tipologias de Treliças



Fonte: BELLEI, 2010.

Na Tabela 1 a seguir, contém as principais características dos tipos de treliças normalmente empregados em coberturas.

Tabela 1: Características tipos de treliças



Triangular (Fink)

Este tipo de treliças se utiliza mais para vãos menores e calculadas com simplesmente apoiadas.



Treliça banzo paralelo (Warren)

Para vãos maiores entre 20 e 100 m, as diagonais encontram-se solicitadas de forma alternada a tração e compressão.

Existem dois tipos de treliças em cruz:

- Se as diagonais foram calculadas para resistir a compressão, a treliça em cruz é a sobreposição de duas treliças tipo Warren.
- Se for desprezada a resistência à compressão das diagonais o comportamento será o mesmo que uma treliça tipo Pratt.





Treliça Trapezoidal

É possível desenhar o banzo superior com inclinação (a duas águas) para suporte da cobertura.



Treliça tipo Pratt

Para vãos maiores entre 20 e 100 m. Em uma treliça tipo Pratt as diagonais estão solicitadas a tração para cargas gravitacionais. Usa-se quando predominam os carregamentos gravitacionais. Na segunda figura as diagonais estão sobre tração para carregamentos de levantamento. Essas treliças são usadas para galpões abertos.



Fonte: SECHALO, 2012.

3.8. Ligações Rígidas e Flexíveis

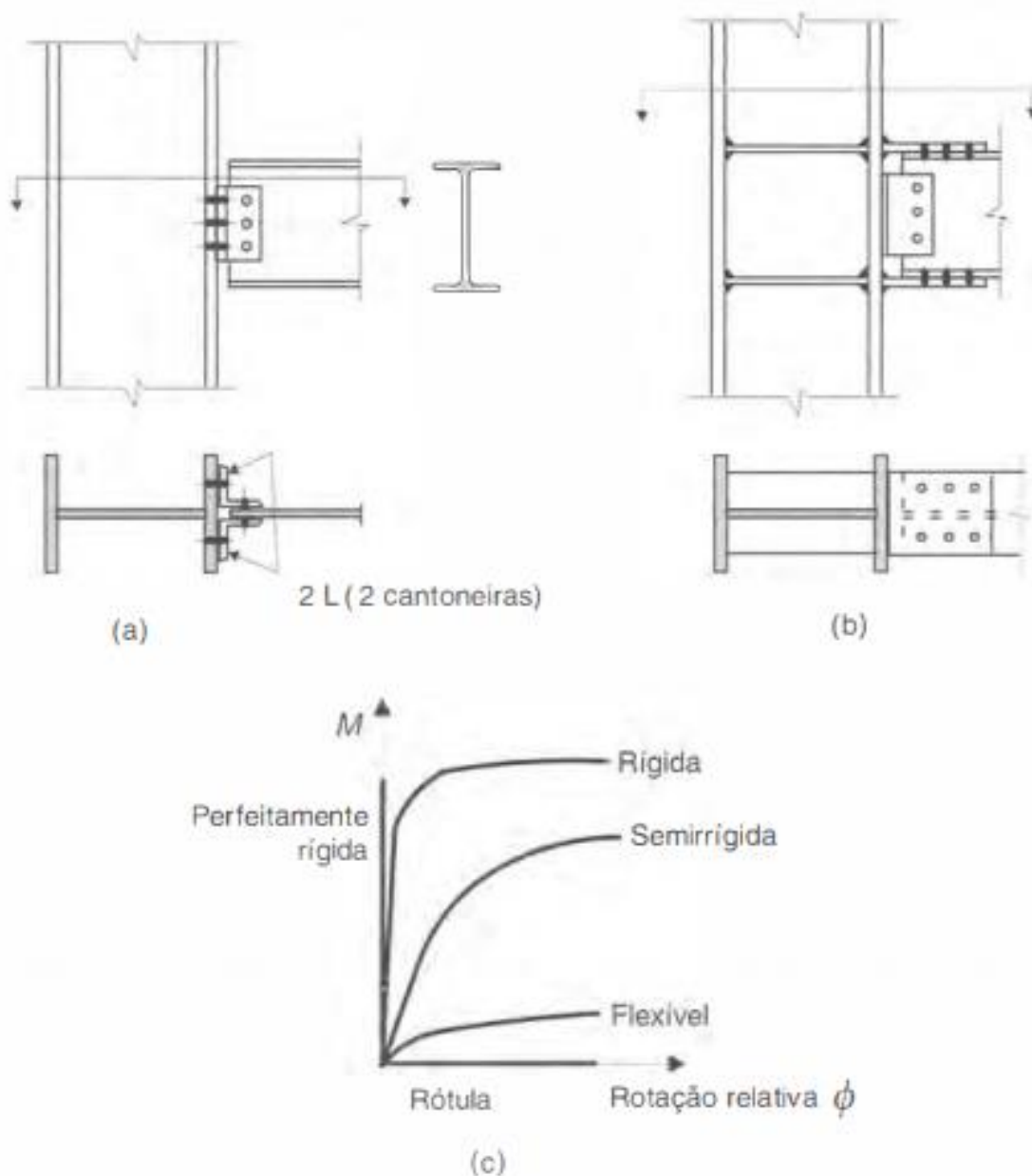
O esquema estrutural por associações em pórticos depende do tipo de ligações viga-pilar. Os dois tipos básicos de pórticos conforme suas ligações são:

- a) Pórtico com ligações rígidas;
- b) Estrutura contraventada de pórtico com ligações flexíveis.

A ligação rígida é aquela em que não ocorre rotação relativa entre as peças conectadas, enquanto que as flexíveis permitem essa rotação (Figura 16). O modelo estrutural de pórtico com ligações rígidas é estável para a ação das cargas verticais e também das horizontais.

A rigidez lateral do pórtico depende da rigidez à flexão dos elementos de viga e pilar, e os deslocamentos horizontais devem ser mantidos pequenos. As ligações flexíveis são mais simples de instalar e possuem menor custo que as rígidas. Porém, leva à concentração das forças horizontais nas fundações, enquanto nas ligações rígidas as forças horizontais se distribuem pelas fundações de todos os pilares (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 16: Ligação quanto à rigidez à rotação; (a) ligação flexível, com dupla cantoneira de alma; (b) ligação rígida, com dupla cantoneira de alma e chapas de transpasse nas mesas da viga; (c) curvas momento x rotação relativa



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009

3.9. Métodos de cálculo estrutural

Um projeto precisa garantir a segurança da estrutura, para evitar que ela entre em colapso e assegurar seu bom desempenho, de modo a evitar deslocamentos, danos locais e vibrações significativas.

As etapas de um projeto estrutural são:

- Anteprojeto ou projeto básico (sistema estrutural, materiais, sistema construtivo);
- Dimensionamento ou cálculo estrutural (seções, ligações);
- Detalhamento (desenhos executivos com todas as especificações).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), para a fase de dimensionamento e detalhamento, utiliza-se conhecimentos de análise estrutural e resistência dos materiais, regras e recomendações referentes à:

- Critérios de garantia e segurança;
- Padrões para caracterização dos materiais e limites e resistência mecânica;
- Definição de níveis de carga mais desfavorável;
- Limites de tolerância para imperfeições na execução;
- Regras construtivas.

Segundo Dias (1997), o projeto de engenharia de uma estrutura é formado pela concepção estrutural, a escolha dos perfis a serem utilizados; caracterização teórica dos vínculos; cálculo dos esforços atuantes; dimensionamento; consumo de aço, dentre outros, em que a finalidade é produzir desenhos, com representação da definição estrutural.

3.9.1. Estados limites

A norma brasileira (ABNT, 2008), se baseia no método dos estados limites e estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto nas edificações.

Para que ocorra um estado limite à estrutura deixa de satisfazer seus objetivos, que podem ser divididos em:

a) Estados limites últimos (ELU):

Estão relacionados à ocorrência de cargas excessivas e consequente colapso da estrutura, que pode ser devido a ruptura por fadiga, ruptura de uma ligação ou seção, flambagem em regime elástico ou não, por exemplo.

b) Estados limites de utilização:

Estes de referem a cargas em serviço, incluindo deformações e vibrações excessivas.

Para garantir a segurança pelos estados limites últimos, deve atender a seguinte equação:

$$Sd = S(\sum \gamma f_i F_i) < Rd = R \left(\frac{f_k}{\gamma_m} \right) \quad (\text{eq. 1})$$

Em que a solicitação de projeto Sd é menor que a resistência de projeto Rd .

A solicitação de projeto é obtida a partir de uma combinação de ações F_i , cada uma majorada pelo coeficiente γ_i enquanto a resistência de projeto é função da resistência característica do material f_k , minorada pelo coeficiente γ_m . Os coeficientes γ_f , de majoração das cargas (ou ações), e γ_m , de redução da resistência interna, refletem as variabilidades dos valores característicos dos diversos carregamentos e das propriedades mecânicas do material e outros fatores como discrepâncias entre o modelo estrutural e o sistema real.

O Método dos Estados Limites considera as incertezas de forma mais racional do que o método das tensões admissíveis, além de considerar as reservas de resistência após o início da plastificação. (PFEIL e PFEIL, 2009).

3.9.2. Ações

As ações que devem ser consideradas no projeto da estrutura são todas as cargas que provocam tensões ou deformações nos elementos estruturais. Elas são classificadas como permanentes ou variáveis.

3.9.2.1. Ações permanentes:

São valores constantes durante a vida útil da edificação, composta pelo peso próprio da estrutura e de todo o material de acabamento utilizado, que permanecerá na estrutura.

3.9.2.2. Ações variáveis:

São cargas que podem ou não atuar na estrutura, vai depender da sua finalidade e localização. Segundo o item B.5.1 do Anexo B (ABNT, 2008)

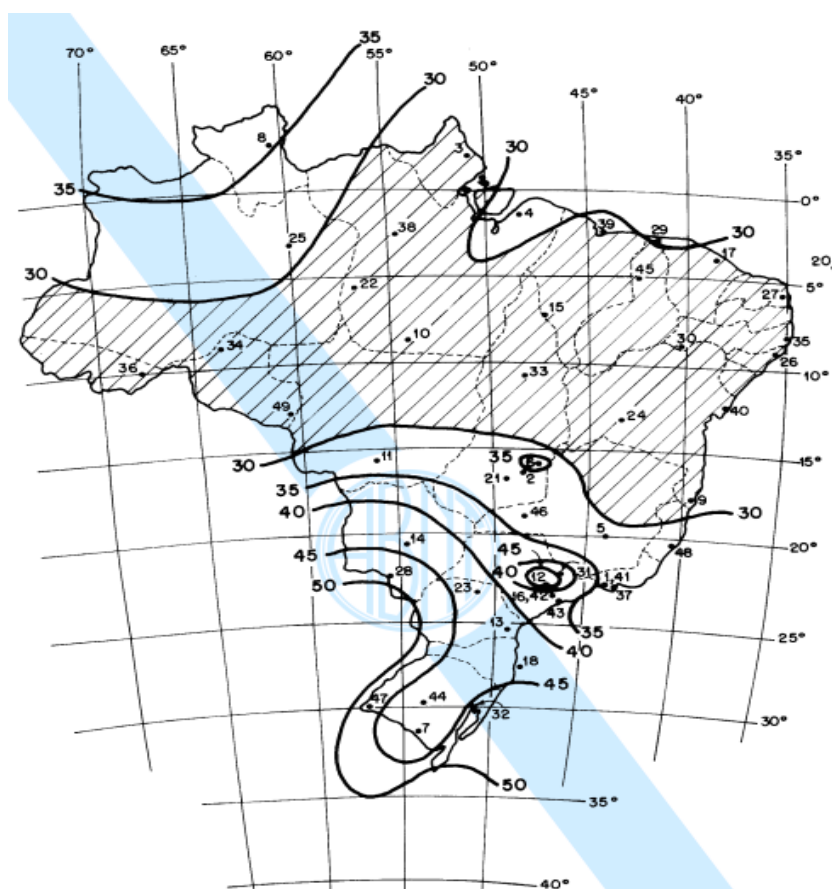
para sobrecargas em coberturas, admite-se que a ação variável accidental englobe as cargas resultantes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamento térmico e acústico e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até um limite superior de 0,05 KN/m². Conforme especificado no item B.5.2 do Anexo B (ABNT, 2008), o valor da sobrecarga na cobertura deve ser especificado de acordo com a sua finalidade, porém com um valor mínimo de 0,25 KN/m².

Dentre as ações variáveis, tem-se a ação do vento atuando na estrutura que deve ser calculada de acordo com a ABNT NBR 6123/88 (Forças devidas ao vento em edificações). Para o cálculo da carga variável de vento, utilizou-se o software Visual Ventos. Nele, foi determinada uma velocidade máxima do vento, que depende dos seguintes fatores:

- Velocidade básica do vento (V_0);
- Topografia do local;
- Características de rugosidade do local;
- Dimensões da edificação;
- Probabilidade de ocorrência do vento de velocidade máxima, na vida útil da edificação;
- Risco para vidas humanas, a depender do tipo de uso da edificação.

De acordo com a NBR 6123/1988, a velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, a dez metros de altura, em campo aberto e plano, ultrapassada, em média, uma vez em 50 anos. A velocidade básica depende da localização da edificação, para isso a norma em questão estabeleceu valores de referência a partir de medições realizadas em todo território brasileiro, gerando o mapa de isoietas (Figura 17) para a determinação da velocidade básica a ser considerada em projeto.

Figura 17: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s) para o território brasileiro



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988)

De acordo com fatores como a topografia, rugosidade, dimensões da edificação, e risco probabilístico, são determinados os coeficientes S_1 , S_2 e S_3 . Através deles se determina a velocidade (V_k) e pressão (q) características, e finalmente se obtém a força exercida em cada parte da edificação.

De acordo com a NBR 8800/2008, as combinações das ações são feitas para definir a probabilidade das ações ocorrerem simultaneamente, para obter a combinação mais crítica que a estrutura irá resistir. Para cada combinação, deve-se aplicar a equação 2, combinando as ações permanentes, variável principal e as ações variáveis secundárias.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma G_i * F_{G_i,k}) + \gamma q_1 * F_{q_1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma q_j * \psi_{oj} * F_{q_j,k}) \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

F_d = força; valor de ação;

$F_{Gi,k}$ = valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ = valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ = valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal;

γ_g = coeficiente de ponderação das ações permanentes

γ_q = coeficiente de ponderação das ações variáveis;

ψ_o = fator de combinação.

As tabelas 2 e 3 a seguir fornece os coeficientes necessários para utilização da equação 2, para a devida combinação das ações.

Tabela 2: Coeficientes de Segurança Parciais γ_f Aplicados às Ações (ou Solicitações) no Estado Limite Últimas

AÇÕES		COMBINAÇÕES		
		NORMAIS	ESPECIAIS OU DE CONSTRUÇÃO	EXCEPCIONAIS
PERMANENTES	Peso próprio de estruturas metálicas	1.25 (1.00)	1.15 (1.00)	1.10 (1.00)
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1.30 (1.00)	1.20 (1.00)	1.15 (1.00)
	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	1.35 (1.00)	1.25 (1.00)	1.15 (1.00)
	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1.40 (1.00)	1.30 (1.00)	1.20 (1.00)
	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1.50 (1.00)	1.40 (1.00)	1.30 (1.00)
	Deformações impostas por recalques de apoio, imperfeições geométricas, retração e fluência do concreto	1.20 (1.00)	1.20 (1.00)	0 (0)
VARIÁVEIS	Efeito de temperatura	1.2	1	1
	Ação do vento	1.4	1.2	1
	Demais variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação.	1.5	1.3	1

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008.

Tabela 3: Valores dos Fatores de Combinação ψ_0 e de Redução ψ_2 e ψ_3 para as Ações Variáveis

AÇÕES		γf_2		
		ψ_0	ψ_2	ψ_3
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (1)	0.5	0.4	0.3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (2)	0.7	0.6	0.4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas.	0.8	0.7	0.6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0.6	0.3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0.6	0.5	0.3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0.6	0.4	0.3
	Vigas de rolamento e pontes rolantes	1	0.8	0.5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0.7	0.6	0.4
Notas: (1) Edificações residenciais de acesso restrito (2) Edificações comerciais, de escritório e de acesso público.				

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008.

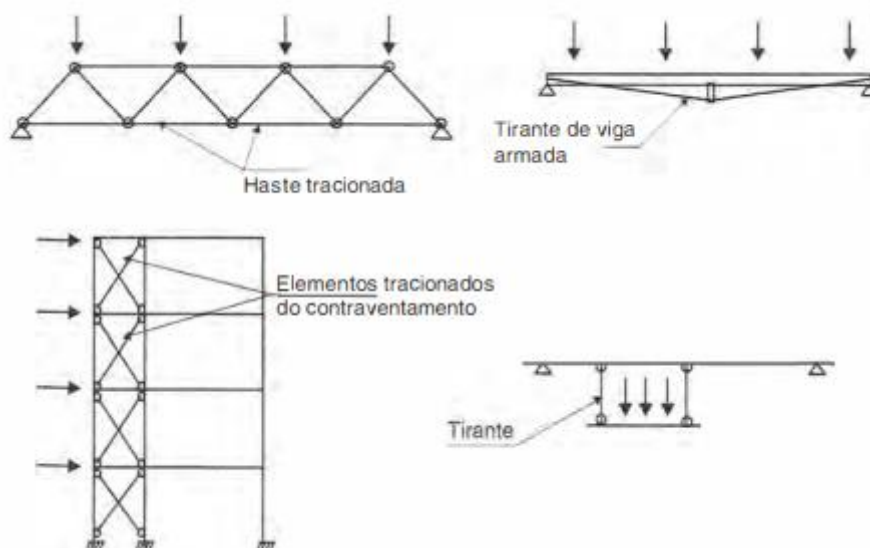
3.9.3. Dimensionamento de elementos estruturais

Com as ações definidas e os esforços calculados, devem-se dimensionar as peças e verificar se estão atendendo todos os requisitos da norma NBR 8800/ 2008.

As peças tracionadas são peças sujeitas a solicitações de tração axial, ou tração simples. São encontradas nas estruturas em formas de tirantes ou pendurais, contraventamentos de torres, travejamentos de vigas ou colunas, tirantes de vigas

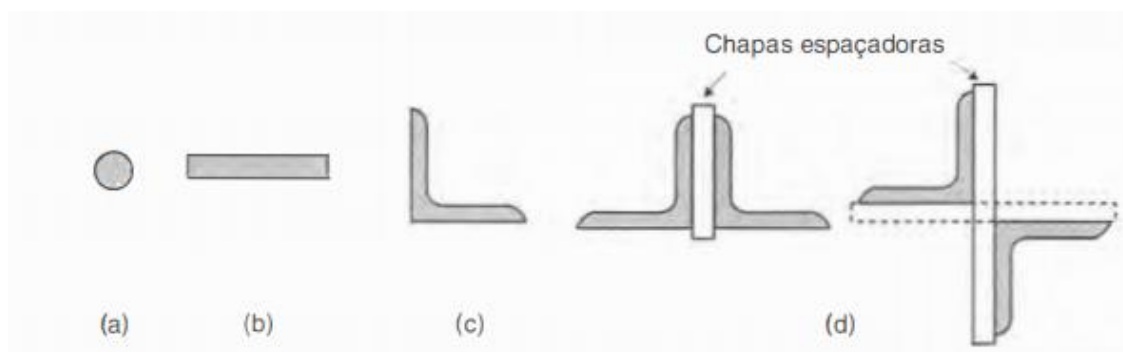
armadas e barras tracionadas de treliças (Figura 18). As peças tracionadas podem ser composto de seção simples ou composto (Figura 19) (PFEIL e PFEIL, 2009).

Figura 18: Elementos tracionados em estruturas



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009

Figura 19: perfis usados em peças tracionadas: (a) barra redonda; (b) barra chata; (c) perfil laminado simples (cantoneira); (d) seções compostas de dois perfis laminados (dupla cantoneira com faces opostas ou cantoneiras opostas pelo vértice)



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009

Segundo a (ABNT, 2008), a força axial de tração solicitante de cálculo ($N_{t,Sd}$) deve ser menor ou igual a força de tração resistente de cálculo ($N_{t,Rd}$), conforme a equação 3.

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (eq. 3)$$

A força axial resistente de cálculo, usada no dimensionamento será o menor dos valores obtido considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta (*equação 4*) e ruptura da seção liquidada (*equação 5*).

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{eq.4})$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\text{eq.5})$$

Em que:

A_g = área bruta da seção transversal da barra;

f_y = resistência ao escoamento do aço;

A_e = área líquida efetiva da seção transversal da barra;

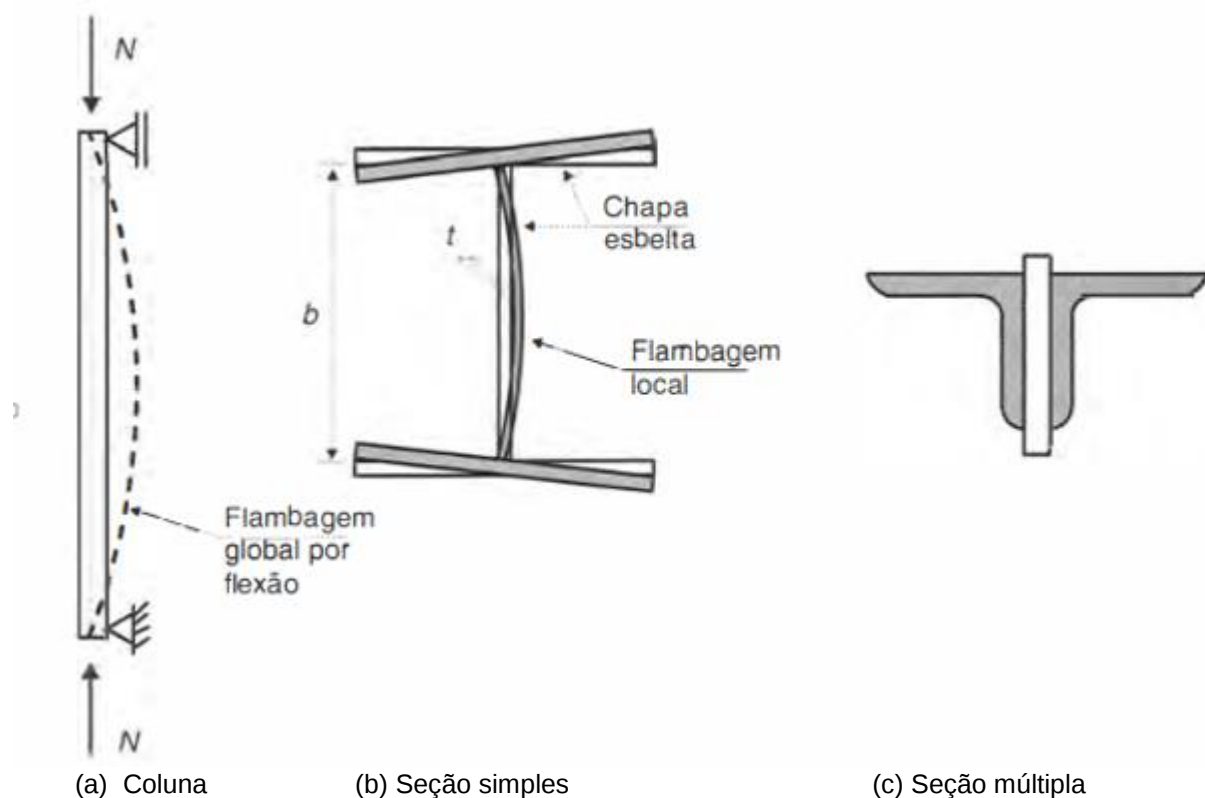
f_u = resistência à ruptura do aço;

γ_{a1} e γ_{a2} = coeficientes de ponderação das resistências.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), a coluna é uma peça vertical sujeita à compressão centrada. Peças comprimidas são encontradas em componentes de treliças, sistemas de travejamento e em pilares de sistemas contraventados de edifícios com ligações rotuladas. Com a compressão ocorrem deslocamentos laterais que compõem o processo denominado de flambagem por flexão (Figura 20), que faz com que reduza a capacidade de carga em relação ao caso da peça tracionada. Podem ser compostas de seção simples ou de seção múltipla (Figura 20-b-c).

Chapas que formam um perfil comprimido podem estar sujeitas à flambagem local, que é uma instabilidade caracterizada pelo aparecimento de deslocamentos transversais à chapa, na forma de ondulações. Esse fato ocorre devido ao índice de esbeltez da chapa (b/t) (Figura 20-b). Devido a essas implicações na estrutura ao realizar o dimensionamento, deve-se considerar os estados limite últimos de instabilidade por flexão e de flambagem local em peças de seção simples e de seção múltipla, enquanto às hastes sofrem efeitos de flexocompressão.

Figura 20: Colunas de seção simples e de seção múltipla



Fonte: PFEIL e PFEIL (2009)

De acordo com a NBR 8800/2008 para efeitos de dimensionamento de barras sujeitas a esforço axial de compressão, devem satisfazer a seguinte condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (\text{eq. 6})$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ = força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ = força axial de compressão resistente de cálculo.

Para determinar a força axial de compressão resistente de cálculo da barra, $N_{c,Rd}$, tem-se que:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{eq. 7})$$

Onde:

χ = fator de redução 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 ponderação das resistências.

De acordo com a NBR 8800/2008, quando um elemento estrutural está sujeito a uma força axial de tração ou compressão e momento fletor simultaneamente, além da verificação dos estados-limites para esses casos, deve atender a seguinte condição:

Para $N_{Sd} / N_{Rd} \geq 0,2$:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{eq. 8})$$

Para $N_{Sd} / N_{Rd} < 0,2$:

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{eq. 9})$$

Onde:

N_{Sd} = força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

N_{Rd} = força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ = momentos fletores solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ = momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal.

4. TRABALHOS RELACIONADOS COM O TEMA PROPOSTO

A seguir será apresentado uma revisão bibliográfica de estudos publicados e os principais autores relacionados com o trabalho em questão foram:

Chaves (2007) desenvolveu um estudo paramétrico considerando pórticos transversais com variadas tipologias e carregamentos usuais, com variação dos vãos entre 16 a 32 metros. Para a análise, utilizou simulações computacionais através do SAP2000 - Versão 10. As análises foram feitas nas tipologias: pórtico de alma cheia, pórtico com treliça triangular, pórtico com treliça trapezoidal, pórtico com treliça em arco, pórtico com treliça em banzos paralelos. Com isso, ele avaliou a influência da tipologia e vão livre no desempenho do pórtico transversal, como critério de desempenho foi considerado a taxa de consumo de aço e os efeitos estruturais, sendo considerados os deslocamentos verticais e horizontais ocorridos em cada modelo. As taxas de consumo de aço dos pórticos treliçados compostos por cantoneira dupla nos banzos foram sempre inferiores aos compostos por perfis T eletro soldado. Os pórticos treliçados possuem taxas menores de consumo que os pórticos de alma cheia. Os pórticos com treliça trapezoidal em relação a taxa de consumo e análise estrutural (deslocamento da estrutura) indicaram melhor resultado. Já os pórticos com treliça em arco e treliça de banzos paralelos possuem consumo de taxa de aço semelhante. Ele verificou que os pórticos em alma cheia têm taxas de consumo de aço superiores que o restante das tipologias para todos os vãos estudados. Quanto maior o vão livre maior a vantagem dos pórticos treliçados em relação os pórticos de alma cheia, pois quanto maior esse vão maior é a taxa de consumo de aço.

Madeira (2009) avaliou a eficiência dos sistemas utilizando como parâmetros de comparação o consumo de aço e seu comportamento estrutural utilizando um edifício específico para análise. Este foi modelado, analisado e dimensionado no software mCalc3D 2009. Verificou que do ponto de vista estrutural (consumo de aço), considerando os diversos sistemas e avaliações paramétricas, que o pórtico treliçado é mais eficiente que o pórtico de alma cheia no consumo de aço, pois potencializa o uso do aço na estrutura. O pórtico composto por perfis em alma cheia apresenta taxa de consumo de aço superior em 21% em relação ao pórtico treliçado. Contudo, ressaltou que essa porcentagem pode variar de acordo com a geometria

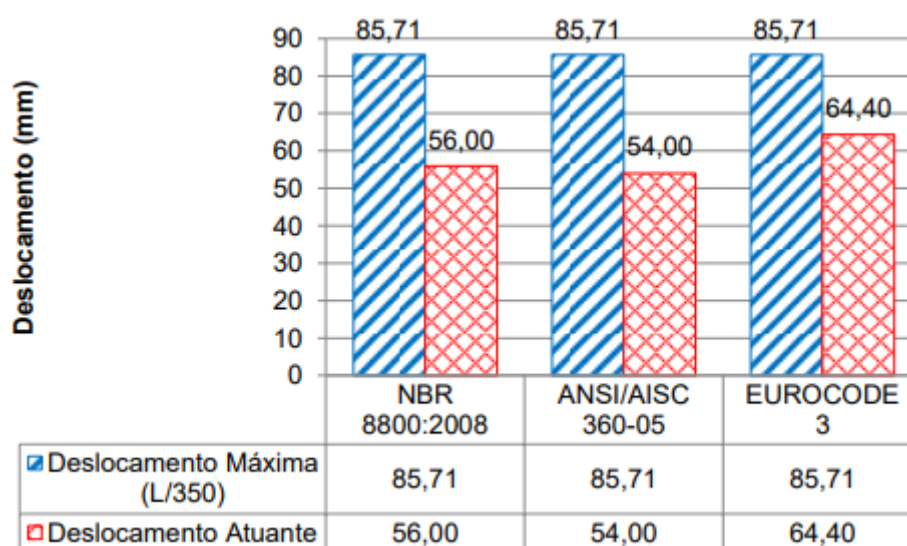
escolhida para o pórtico treliçado e que o fato do valor ser menor em relação a taxa de consumo de aço não reflete no preço final da edificação, já que o pórtico treliçado apesar de gastar menos material, exige mais hora/homem de trabalho. Logo, para a escolha do tipo do pórtico adotado está vinculado não só a disposição dos materiais, mas também a mão de obra existente no local.

Nogueira (2009) avaliou comparativamente o desempenho de alguns sistemas estruturais utilizados para galpões de uso geral composto por vigas de cobertura formadas a frio. Ele considerou as seguintes tipologias para fazer a comparação: pórtico de alma cheia, pórtico com treliça em arco, pórtico de banzos paralelos, pórtico com treliça trapezoidal e pórtico com treliça triangular, com vãos de 16m, 20m, 24m, 28m e 32m, com distância entre os pórticos de 6m, 7,5m e 9m. a velocidade básica considerada do vento foi de 30m/s, 35m/s e 40m/s. As diversas tipologias de galpões foram modelados, analisados e calculados no software mCalc2008, para validação dos resultados da análise estrutural gerados pelo mCalc2008, realizou-se uma comparação com resultados gerados por meio dos programas computacionais SAP 2000 v10, STRAP v12.5 e FTool v2.11. O parâmetro para avaliar a eficiência do sistema estrutural foi a taxa de consumo de aço e os deslocamentos nas estruturas. Ao final do trabalho, ele concluiu que os pórticos treliçados são mais eficientes quando comparados aos pórticos de alma cheia. Dentre os pórticos treliçados, a mais eficiente para pequenos vãos, baixa ação do vento e baixo espaçamento entre os pórticos transversais é a treliça em arco. Para maiores vãos, a treliça trapezoidal e a treliça de banzos paralelos apresentam melhor desempenho.

Santos e Vito (2016) fizeram uma comparação no dimensionamento de estruturas articuladas em aço para treliça em arco, sendo ela plana do tipo Warren. Realizando os cálculos baseados na NBR 8800:2008, EUROCODE e ANSI/AISC 360-05 (normas regidas no Brasil, Europa e Estados Unidos, respectivamente). Realizaram as fases de quantificação de ações, combinações de carga, análise estrutural, dimensionamento e verificações das treliças que utilizam perfis metálicos do banco de dados da AISC. Para a seleção dos perfis, optaram pelo perfil “U” do banco de dados da AISC (American Institute of Steel Construction) versão 14.0 devido a sua variabilidade, pois possui valores intermediários aos das tabelas encontradas no Brasil. Para o lançamento e cálculo das treliças foi adotado o software versão Estudantil Autodesk Robot Structural Analysis 2014. Os resultados

encontrados demonstram que os diferentes coeficientes de majoração de carga e redução de carga, assim como o método de cálculo da carga de vento nas três normas distintas, influenciam diretamente na combinação de carga, gerando resultados diferentes para as cargas aplicadas e consequentemente afetando no consumo de aço. Eles verificaram os deslocamentos verticais da treliça (Gráfico 1), utilizando a conferência de norma com deslocamento máximo sendo $L/350$ para as três normas analisadas. O consumo do aço está representado na Tabela 4. O comparativo dos quantitativos demonstra um aumento de 37,75% o que representa 344,69 kg no consumo de aço em relação feita entre a norma ANSI/AISC 360-05 e a EUROCODE 3. O mesmo resultado foi obtido fazendo a relação entre a norma EUROCODE 3 e NBR 8800:2008, o que nos demonstra que o consumo de aço entre a NBR 8800:2008 e ANSI/AISC 360-05 foi o mesmo, sendo de 964,09 kg.

Gráfico 1: Deslocamentos



Fonte: SANTOS, VITO (2016).

Tabela 4: Consumo de Aço

Norma	Perfil	Comprimento Total das Barras (m)	Peso (kg/m)	Peso Total (kg)
NBR 8800:2008	U 3" x 6 lb/ft	106,06	9,09	964,09
ANSI/AISC 360-05	U 3" x 6 lb/ft	106,06	9,09	964,09
EUROCODE 3	U 6" x 8,2 lb/ft	106,06	12,34	1308,78

Fonte: SANTOS, VITO (2016).

Silva, C. (2017a), realizou um estudo da variação da taxa de consumo de aço para várias disposições de estruturas metálicas em arco para centros esportivos.

Variou modelos de acordo com as geometrias e condições de vinculação. Para melhor parametrização ele dividiu em três sistemas estruturais (arcos tri articulados, arcos biarticulados e arcos de extremidade fixa ou engastada) para verificar qual seria o mais eficiente em relação à massa da estrutura. O dimensionamento foi feito pelo programa computacional STRAP® baseado nas prescrições contidas na norma técnica (ABNT, 2008). Com todo o dimensionamento feito, constatou que a taxa de aço pode sofrer variações consideráveis de um sistema para outro e também no mesmo sistema, devido à relação do vão e do espaçamento. Observou também que a utilização de pequenos espaçamentos entre pórticos com a finalidade de diminuir o carregamento em cada quadro curvo pode levar a grandes taxas de aço. Tal situação ocorre devido a limitação da esbeltez de peças comprimidas. Em contrapartida, espaçamentos maiores resultam em grandes áreas de influência, que necessita de seções maiores para resistirem aos esforços solicitantes. Com isso, verificou que há um espaçamento que otimiza o consumo de material, o que possibilita elaboração mais econômicas de projetos estruturais.

Silva, R. (2017b), verificou o consumo de aço em um projeto de galpão metálico industrial, comparando duas alternativas usuais de sistemas estruturais, a primeira em pórticos com treliças trapezoidais e pilares em perfis conformados a frio, e a segunda em pórticos com vigas e pilares em perfis laminados de alma cheia. Foi escolhido um modelo de galpão simples em duas águas, com vão de 20 metros, localizado em Goiânia e feito o seu dimensionamento para as duas alternativas com o software CYPE 3D, analisando o consumo de material gerado. Concluiu que a solução em perfis conformados a frio é a mais eficiente estruturalmente, apresentando menores deslocamentos, e mais econômica, apresentando uma redução de cerca de 20% no consumo de aço mais leves que os de alma cheia.

5. ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DAS TIPOLOGIAS

Neste capítulo apresentam-se os principais aspectos da análise e dimensionamento dos modelos de pórticos que compõem o estudo comparativo. O objetivo do dimensionamento é obter o consumo de aço para cada tipologia.

5.1. Definição das tipologias

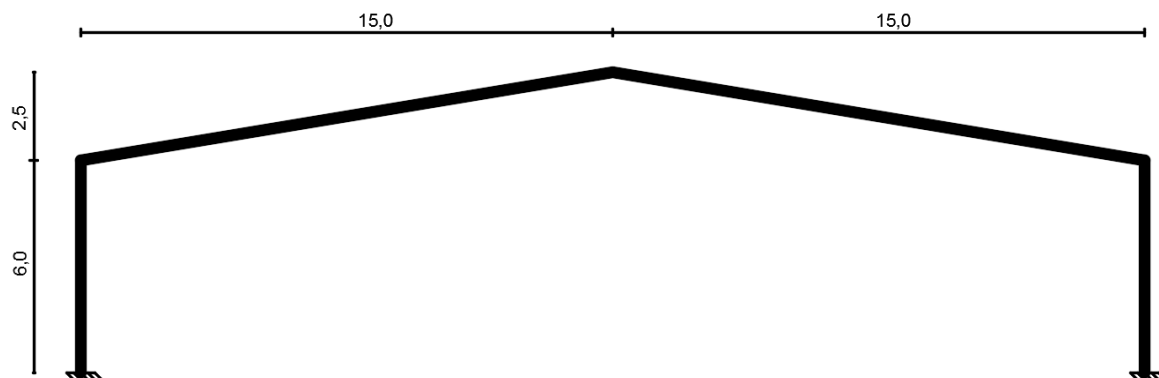
Como o objetivo é analisar a influência da produtividade no custo final dos galpões, que segundo a revisão bibliográfica o galpão com viga de alma cheia possui consumo de aço maior em relação ao galpão com viga treliçada, neste item serão definidas as características geométricas de cada modelo.

5.1.1. Pórtico de alma cheia

Para a definição da geometria do galpão estudado, tem-se que a inclinação da cobertura adotada foi de 16%, atendendo a inclinação mínima da telha adotada, que foi a telha galvanizada trapezoidal 40 que necessita de no mínimo 5%. Aumentou-se a inclinação para diminuir os esforços solicitados nos banzos e consequente redução do peso dos perfis, otimizando o consumo de aço.

Nas figuras 21 e 22 apresenta-se o modelo de pórtico de alma cheia cujo vão livre é de 30 metros. Para este modelo admite-se que as ligações entre o pilar e a viga de cobertura são engastadas, assim como a ligação do pilar com a base. A distância entre terças é de 1,5 metros.

Figura 21: Modelo do pórtico alma cheia

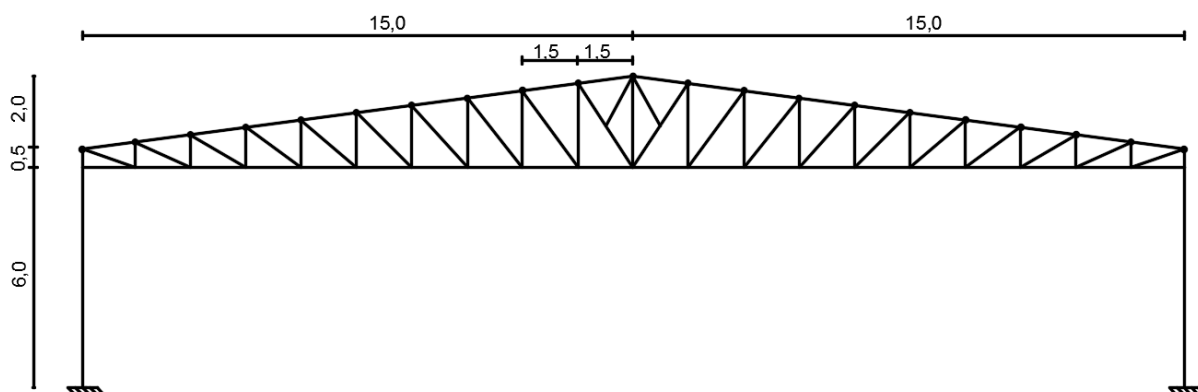


Fonte: AUTORA (2019)

5.1.2. Pórtico treliçado

Na Figura 27 apresenta-se o modelo de pórtico treliçado com o mesmo vão livre do pórtico de alma cheia, 30 metros. A ligação entre o pilar e a base é rígida e entre os banzos da treliça e o pilar é flexível. Os elementos das diagonais e montantes são rotulados nas suas extremidades. A inclinação neste modelo permanece a mesma em relação ao de alma cheia, 16%. A distância entre terças é de 1,5 metros.

Figura 22: Modelo do pórtico treliçado



Fonte: AUTORA (2019)

5.2. Ações

As ações atuantes nos modelos estruturais foram determinadas de acordo com as recomendações do Anexo B da NBR 8800:2008.

5.2.1. Carga permanente

Para o dimensionamento do galpão, a ação de carga permanente se refere ao próprio peso dos perfis adotados para a estrutura. O peso dos elementos é determinado diretamente pelo CYPE 3D, enquanto as demais ações são informadas separadamente. Além do peso próprio dos elementos adotados, considerou-se uma carga de 0,08 KN/m no caso do modelo treliçado e uma carga de 0,3KN/m no modelo de alma cheia. Essa sobrecarga é referente ao peso disponibilizado no catálogo da telha galvanizada trapezoidal 40, mesmo sendo usado o mesmo tipo de telha nos dois sistemas estruturais o valor da sobrecarga se difere devido à área de influência, uma vez que o carregamento no sistema de alma cheia se descarrega em toda a viga de cobertura, já o treliçado descarrega nos nós do banzo superior.

5.2.2. Sobrecarga normativa da cobertura

Para coberturas comuns, na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga nominal mínima de 0,25 KN/m² - Anexo B da NBR 8800:2008.

Como a unidade do software está em tf/m, a essa carga normativa foi multiplicada pela distância entre as terças de 1,5 metros, resultando em uma sobrecarga de 0,0375tf/m, igual a 0,375 KN/m, no caso do sistema treliçado. No sistema de alma cheia a carga normativa foi multiplicada por 6 metros, referente à área de influência entre os pórticos, resultando em uma sobrecarga de 0,15KN/m.

5.2.3. Vento

O estudo do vento para o galpão considerado neste trabalho foi feito de acordo com as recomendações da NBR 6123:1988. Na avaliação das forças ao vento se estabeleceu uma velocidade básica $V_0 = 35 \text{ m/s}$, velocidade encontrada na cidade de Goiânia, Goiás. Esta velocidade foi obtida através do mapa das isopletras do Brasil.

Admitiu-se também que o galpão será implantado em terreno plano ou fracamente acidentado, coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçado em zona florestal, industrial ou urbanizado (S1). A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m (S2). Por último, tem-se que as aberturas principais do galpão estejam todas abertas, dessa forma foi considerado as quatro faces igualmente permeáveis (S3).

Em função da descrição anterior, foram admitidas as seguintes características para o vento:

- a) Velocidade básica: 35m/s;
- b) Fator topográfico: $S_1=1,0$;
- c) Fator de rugosidade: $S_2= 0,82$;
- d) Fator estático: $S_3= 0,95$.

Com isso, a velocidade característica de vento é de:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 = 27,14 \text{ m/s} \quad (\text{eq. 10})$$

E a pressão dinâmica é calculada da seguinte forma:

$$q = 0,613 * V_k^2 = 0,45 \text{ KN /m}^2 \quad (\text{eq. 11})$$

Para o desenvolvimento do trabalho é necessário determinar as forças devidas ao vento para dois casos distintos de pórticos para o galpão que possui cobertura em duas águas. A seguir, tem-se o estudo das ações de vento atuantes para o modelo.

5.2.3.1. Características geométricas

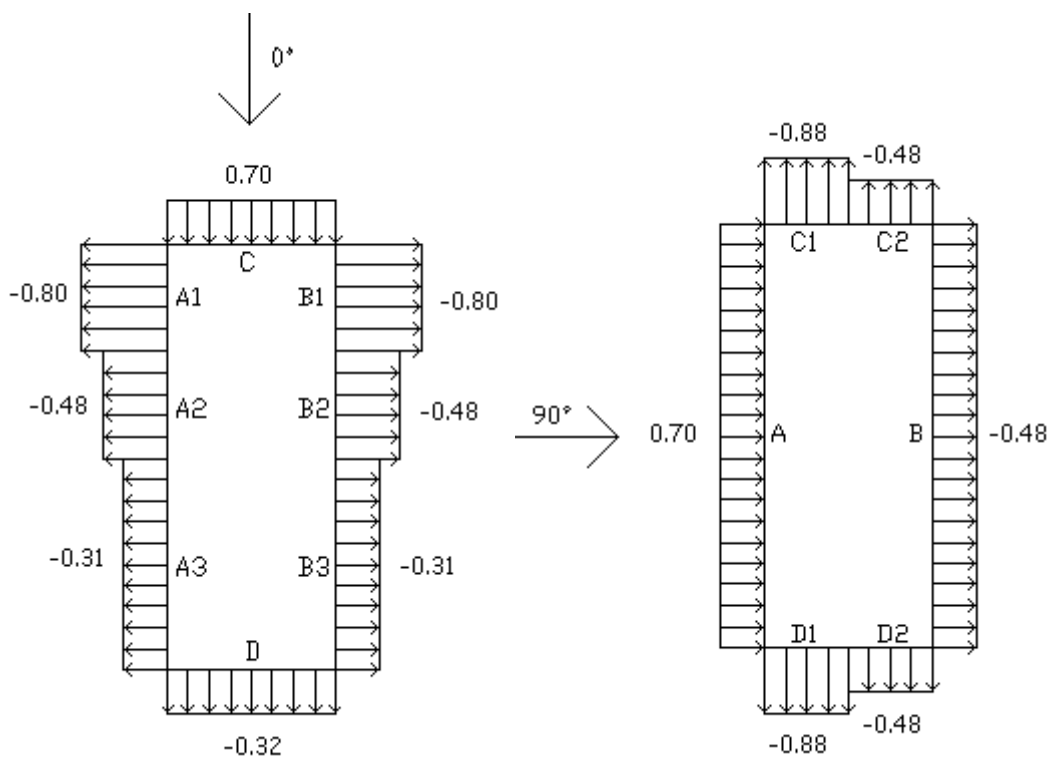
Para o galpão estudado têm-se as seguintes características geométricas:

- a) Vão livre: 30 metros;
- b) Distância entre pórticos transversais = 6 metros;
- c) Altura do pilar: 6 metros;
- d) Comprimento: 48 metros.

5.2.3.2. Coeficientes de forma externos

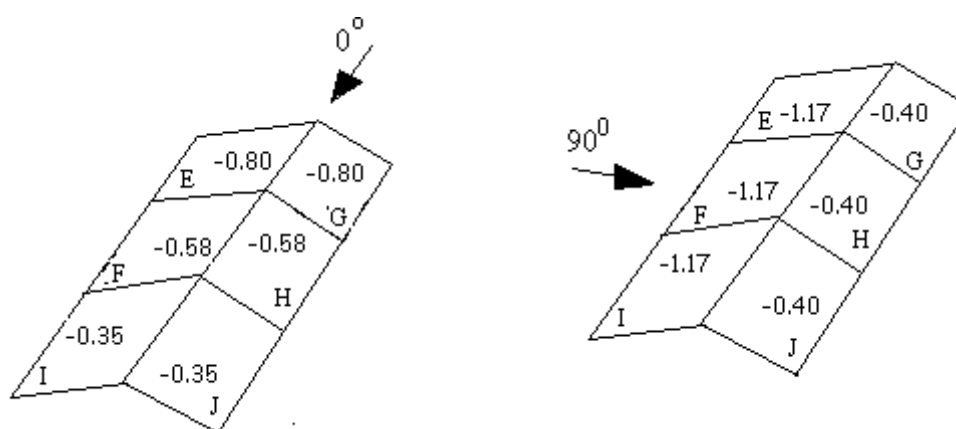
Nas figuras 23 e 24 têm-se os coeficientes de pressão externa para as paredes e cobertura para o galpão.

Figura 23: coeficientes externos para a parede



Fonte: AUTORA (2019).

Figura 24: coeficientes externos para a cobertura



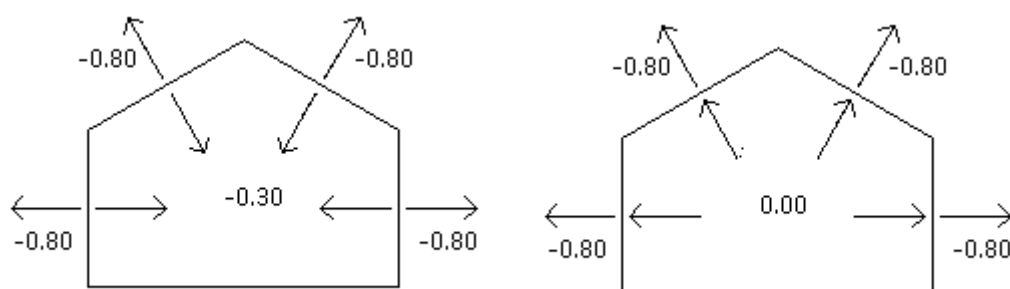
Fonte: AUTORA (2019).

5.2.3.3. Coeficientes de pressão interna

Admite-se que o galpão possui quatro faces igualmente permeáveis, sendo assim $C_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor para a situação mais crítica).

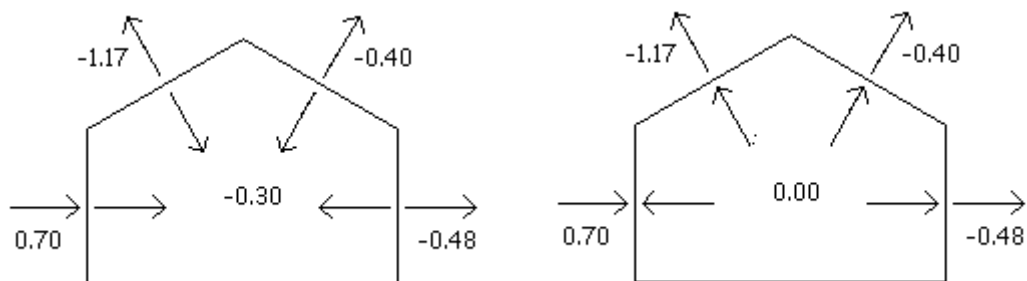
5.2.3.2. Sobreposição dos coeficientes de forma e de pressão interna

Nas figuras 25 e 26, têm-se a sobreposição dos coeficientes de forma e pressão interna para as duas direções de vento consideradas.

Figura 25: Sobreposição dos coeficientes de forma e de pressão para vento longitudinal ($V0^\circ$)

Fonte: AUTORA (2019).

Figura 26: Sobreposição dos coeficientes de forma e de pressão para vento transversal ($V90^\circ$)

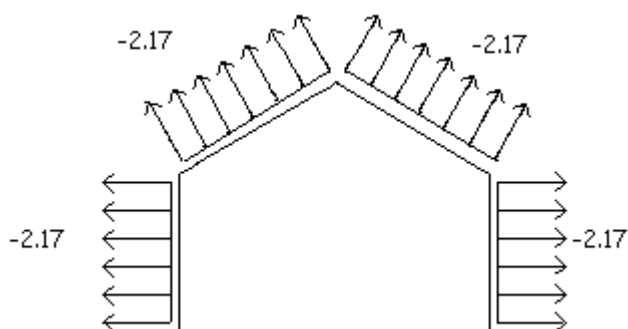


Fonte: AUTORA (2019).

5.2.3.4. Casos de carga críticos

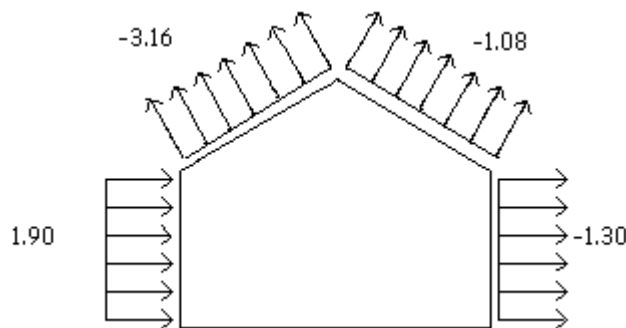
Nas figuras 27 e 28 têm-se os casos críticos de cada direção de vento para os quais será dimensionado o galpão.

Figura 27: Caso crítico de carga para o vento longitudinal ($V0^\circ$) - (kN/m^2)



Fonte: AUTORA (2019)

Figura 28: Caso crítico de carga para o vento transversal (V90°) (kN/m²)



Fonte: AUTORA (2019).

5.3. Combinações de ações

Os critérios para combinação das ações, ou seja, a probabilidade de uma ação ocorrer simultaneamente com outra, estão definidos na NBR 8800/2008. Na presente norma está prescrito as combinações a seguir:

- a) Combinação 01 = $1,25 \times AP$ (ação permanente) + $1,5 \times SC$ (sobrecarga);
- b) Combinação 02 = $1,0 \times AP$ (ação permanente) + $1,4 \times V90^\circ$ (vento transversal);
- c) Combinação 03: $1,0 \times AP$ (ação permanente) + $1,4 \times V0^\circ$ (vento longitudinal)

5.4. Análise Estrutural

Com a definição da geometria, das ações e combinações das mesmas estabelecidas na estrutura, tem-se a análise estrutural e dimensionamento de cada tipologia adotada de galpão.

A análise e dimensionamento serão realizados pelo CYPE 3D. O método adotado para o dimensionamento será o método dos estados-limites, onde os estados-limites últimos (ELU) e os estados-limites de serviço (ELS) serão considerados. Os estados-limites últimos estão relacionados ao estado no qual a estrutura já não pode ser utilizada por

razão de esgotamento da capacidade resistente e risco à segurança. Os estados-limites de serviço se referem ao critérios de segurança que estão relacionados ao conforto para os usuários, durabilidade da estrutura, aparência e funcionalidade adequada.

De acordo com o Método dos Estados-limites, é necessário que nenhum estado-limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações de ações. Caso um ou mais estados-limites forem excedidos, a estrutura não estará adequada para sua finalidade de projeto. Tanto os estados-limites últimos (ELU) quanto os estados-limites de serviço (ELS) devem ser considerados para a análise de projeto.

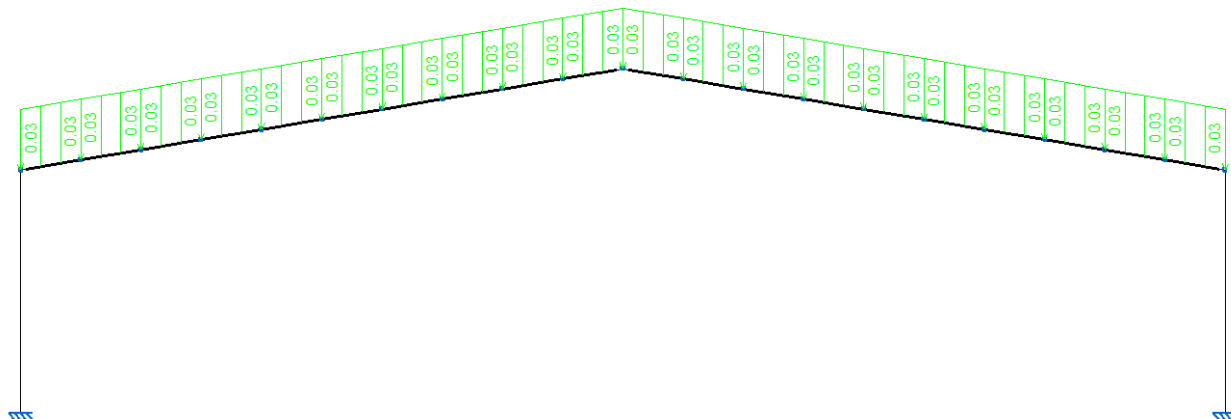
A Norma Brasileira de estruturas de aço e mistas de aço e concreto, NBR 8800:2008 é fundamentada no Método dos Estados-limites e aplica-se às estruturas de edifícios destinados à habitação, de edifícios de usos comerciais e industriais e de edifícios públicos. Aplica-se também às estruturas de passarelas de pedestres e a suportes de equipamentos. Esta norma não engloba o dimensionamento de elementos estruturais que é composto por perfis formados a frio, sendo que esta deve seguir a NBR 14762:2001.

5.4.1. Pórtico alma cheia

No pórtico de alma cheia, os pilares e as vigas estão sujeitos a esforço axial, momento fletor e esforço cortante. As ligações são todas engastadas.

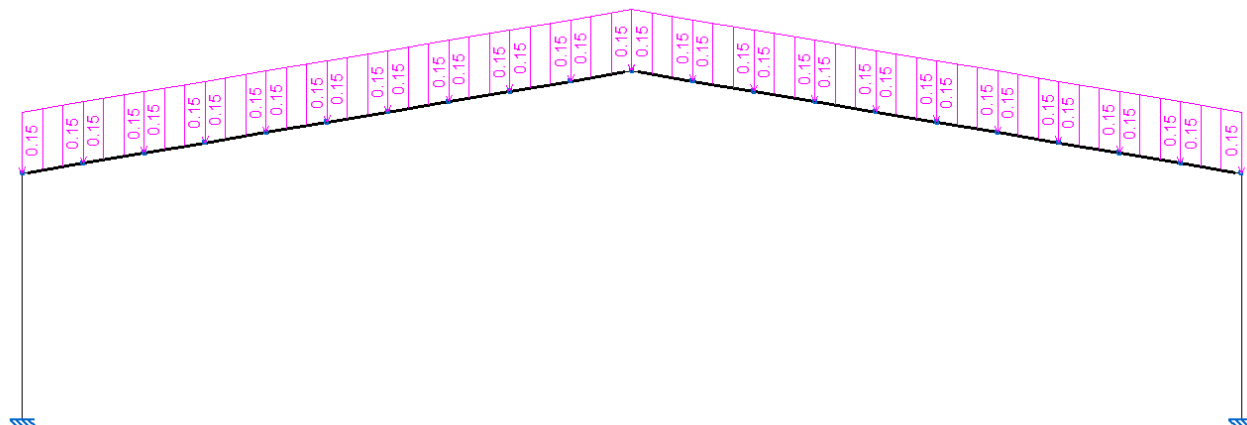
A figura 29 a 33 a seguir, mostram as ações com seus respectivos valores.

Figura 29: Sobrecarga permanente - 0,03tf/m



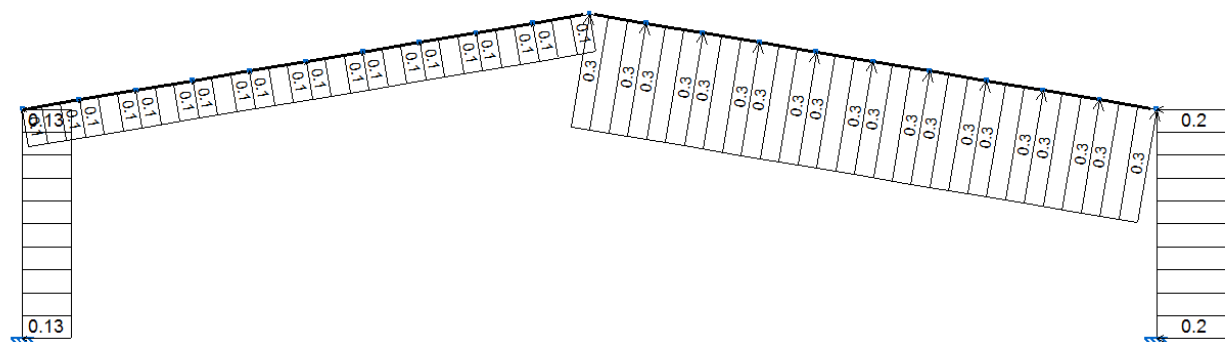
Fonte: AUTORA (2019)

Figura 30: Sobrecarga Normativa da Cobertura - 0,15tf/m



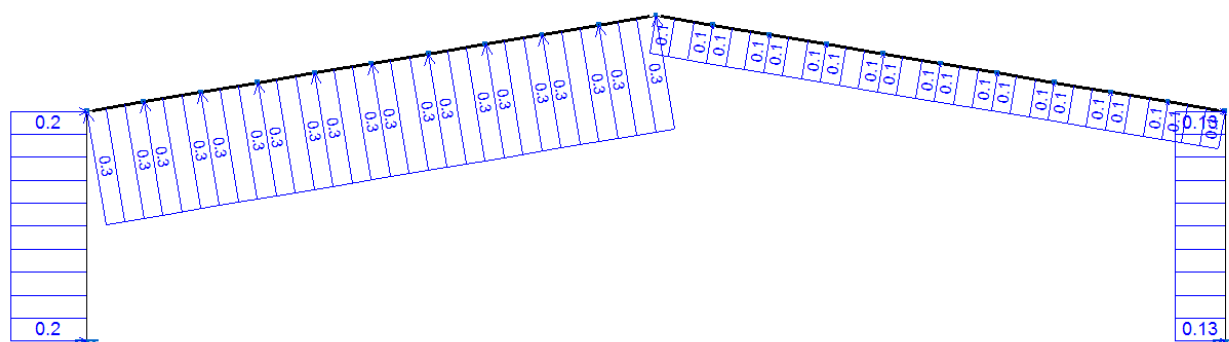
Fonte: AUTORA (2019)

Figura 31: Carga Vento 90° Direita/Esquerda (tf/m)



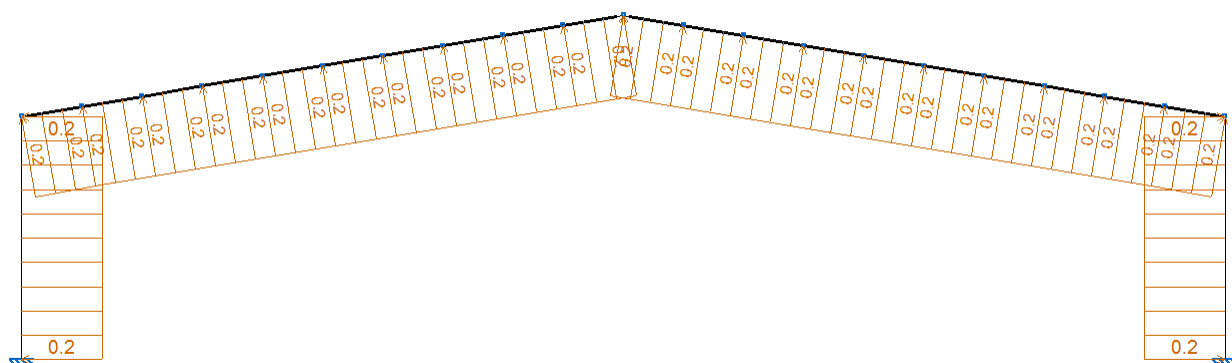
Fonte: AUTORA (2019)

Figura 32: Carga Vento 90° Esquerda/Direita (tf/m)



Fonte: AUTORA (2019)

Figura 33: Carga Vento 0°



Fonte: AUTORA (2019)

5.4.2. Pórtico Treliçado

No pórtico treliçado, os elementos que compõem a viga treliçada de cobertura e o pilar estão sujeitos somente a esforços axiais. Considera-se ainda que os pilares estejam rotulados nas bases. São utilizadas mãos-francesas entre terças e os nós do banzo inferior das vigas treliçadas de cobertura para fazer o travamento lateral do banzo inferior da treliça de cobertura.

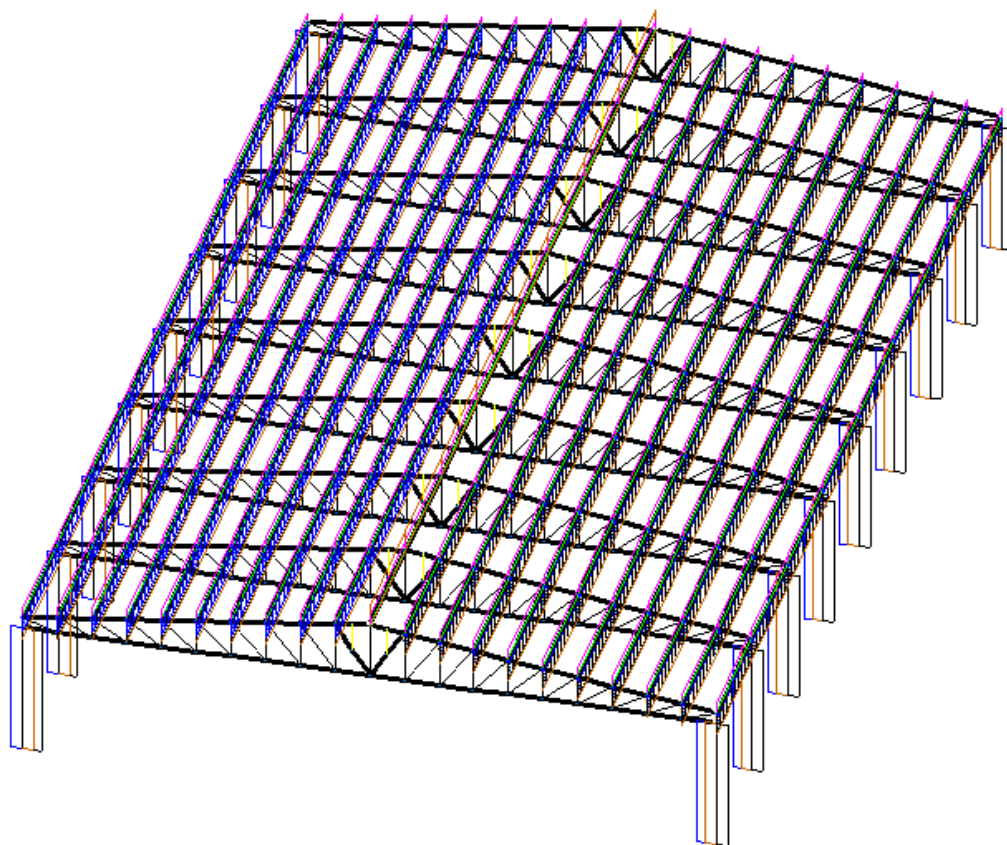
O banzo superior está contido lateralmente nos pontos de intersecção das terças. Como as cargas atuantes na cobertura são descarregadas nos nós da treliça e não em toda a viga, como ocorre no galpão com viga de alma cheia, as cargas consideradas para o dimensionamento estão no quadro 6, a representação das cargas será feita em vista tridimensional para melhor visualização, de modo que as cargas aplicadas na cobertura são pontuais nos nós da treliça (Figura 34).

Quadro 5: Valores de sobrecargas adotados para o sistema treliçado

CARGAS (KN/M)	
Permanente	0,08
Normativa cobertura	0,40
Vento 0°	2,00
Vento 90° lateral esquerda/direita	0,50
Vento 90° lateral direita/esquerda	0,33
Vento 90° cobertura esquerda/direita	0,77
Vento 90° cobertura direita/esquerda	0,26

Fonte: AUTORA (2019)

Figura 34: Representação tridimensional com todas as cargas atuantes



Fonte: AUTORA (2019).

5.5. Dimensionamento

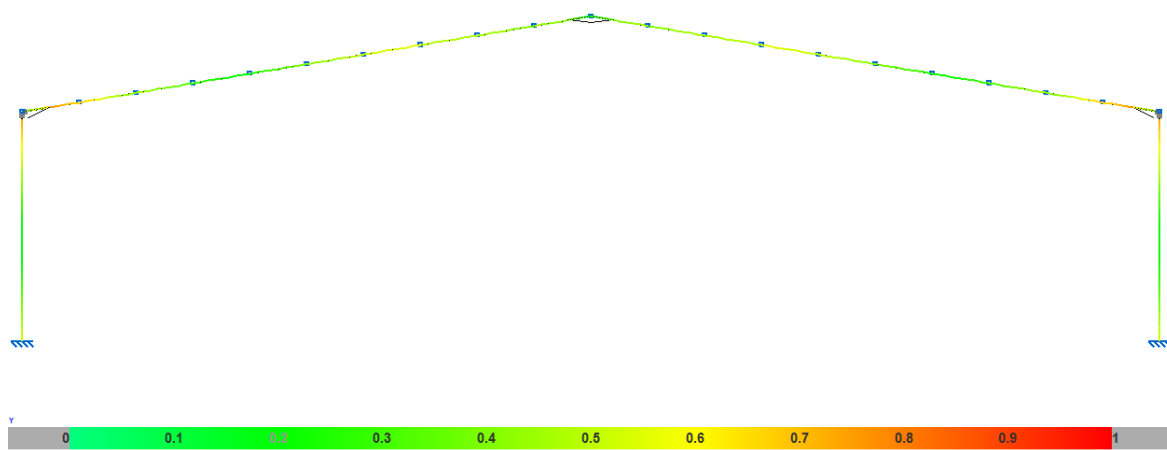
A partir dos resultados obtidos na análise estrutural, realizou-se o dimensionamento dos perfis que compõem o pórtico. Este é realizado no software CYPE 3D que permite calcular as resistências de cálculo do perfil escolhido e comparar esses resultados com as solicitações de cálculo obtidas na análise formando o processo de verificação de cada uma das barras da estrutura.

O dimensionamento dos perfis é feito de acordo com sua respectiva norma, no caso dos perfis laminados ou soldados, em que foram utilizados no dimensionamento do pórtico de alma cheia os cálculos foram baseados de acordo com a NBR 8800:2008. Enquanto no pórtico treliçado os perfis utilizados foram os formados a frio, em que o dimensionamento foi baseado seguindo a NBR 14762:2001.

5.5.1. Dimensionamento do pórtico de alma cheia

Os resultados da verificação de seções transversais para o pórtico formado por perfis de alma cheia são apresentados na figura 35. Os resultados indicam a relação de forças resistentes (R_d) e solicitantes (S_d) S_d/R_d para a combinação crítica em cada barra do pórtico transversal. Os valores de S_d/R_d menores de 1,00 indicam que a barra atende ao critério de estado-limite e se mostra adequado para a sua utilização. Os perfis adotados foram dimensionados para otimizar seu aproveitamento

Figura 35: S_d/R_d – Pórtico de alma cheia.



Fonte: AUTORA (2019).

No quadro 7 a seguir, têm-se os perfis adotados para o dimensionamento, com seu respectivo comprimento, volume e peso. Cabe salientar o peso total na tipologia do galpão com viga de alma cheia foi de 34027,20 kg, que se tratando de um galpão de 1440m² tem-se que o consumo de aço por metro quadrado foi de R\$ 23,63 por metro quadrado.

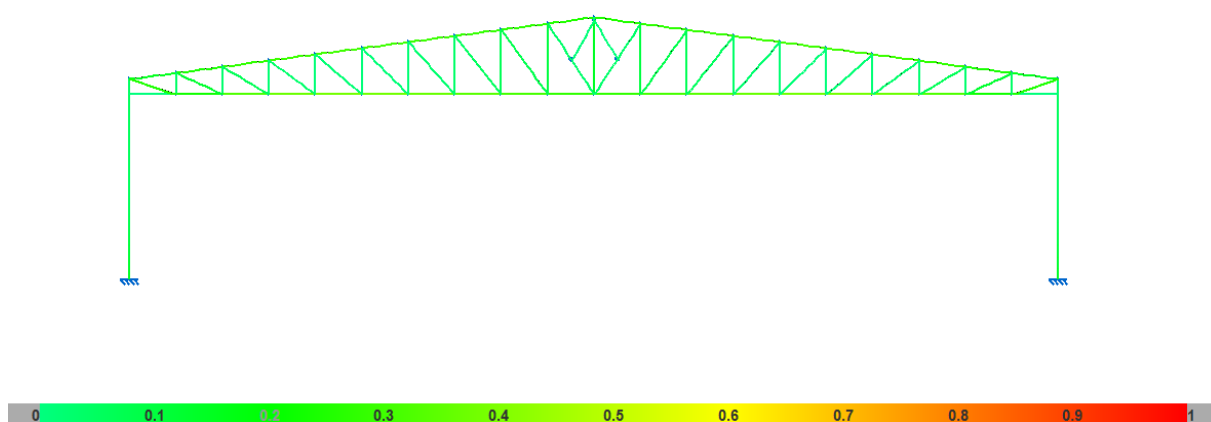
Quadro 6: Lista de materiais para o galpão com viga de alma cheia

LISTA DE MATERIAIS - GALPÃO ALMA CHEIA								
MATERIAL				COMPRIMENTO			PESO	
TIPO	DESIGNAÇÃO	SÉRIE	PERFIL	PERFIL (M)	SÉRIE (M)	MATERIAL (M)	PERFIL (KG)	SÉRIE (KG)
AÇO LAMINADO	A-36 250 Mpa	H	W 250 X 73.0	108			7859.11	
					108			7859.11
			W 360 X 44 simples com mísulas	60.828			2861.43	
			W 360 X 39 simples com mísulas	212.897			8712.12	
		I	U 152.4 X 5.1		273.72			11573.55
				960				
			U 101.6 X 6.3 Duplo I união soldada	48			11680.8	
		Perfil U	1.1/4"		1008		896.78	
				486.62				12577.58
		Barra Redonda				18776.35	3024.39	

Fonte: AUTORA (2019).

5.5.2. Dimensionamento do pórtico treliçado

Para o pórtico treliçado os resultados da verificação de seções transversais serão apresentados na figura 36. Os resultados indicam a relação S_d/R_d para a combinação crítica em cada barra do pórtico transversal.

Figura 36: S_d/R_d – Pórtico treliçado

Fonte: AUTORA (2019).

No quadro 8 a seguir, têm-se os perfis adotados para o dimensionamento, com seu respectivo comprimento, volume e peso. Cabe salientar o peso total na tipologia do galpão treliçado foi de 29491,20 kg, que se tratando de um galpão de 1440m² tem-se que o consumo de aço por metro quadrado foi de R\$ 20,48 por metro quadrado.

Quadro 7: Lista de materiais para o galpão com viga treliçada

Lista de materiais - Galpão Treliçado								
Material				Comprimento			Peso	
Tipo	Designação	Série	Perfil	Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (kg)	Série (kg)
AÇO LAMINADO	A-36 250 Mpa	H	W 200 X 35.9	108			3874.45	
					108			3874.45
			U 152.4 X 5.1	1194.28			14531.5	
			U 203.2 X 5.6	960			16338.05	
			U 76.2 X 4.3 duplo I união soldada	48	273.72		586.3	
				960				31455.85
		Barra redonda	1"				89.5	
				22500				
					22500	2332.78		

Fonte: AUTORA (2019).

Com os resultados dos dimensionamentos para as duas tipologias, verificou-se maior consumo de aço para o sistema de alma cheia assim como nos estudos realizados por Madeira (2009), Nogueira (2009) e Silva, R. (2017b).

5.5.3. Deslocamentos

A verificação do deslocamento vertical e horizontal máximo foi feito com base no critério indicado no Anexo C da ABNT NBR 8800:2008.

Para o deslocamento vertical máximo, leva-se em conta a ação permanente e sobrecarga de cobertura, onde se estabelece um valor máximo de $L/250$ para o caso de estruturas biapoiadas, suportando elementos elásticos. Para a verificação do deslocamento horizontal máximo, recomenda-se levar em conta a ação do vento e estabelecer um valor de $H/300$. Nos quadros 9 e 10 apresentam-se os deslocamentos máximos e os deslocamentos permitidos para as duas tipologias de galpões.

Quadro 8: Deslocamento máximo do pórtico treliçado

DESLOCAMENTO	ADMISSÍVEL	TRELIÇADO
Horizontal	60 mm	13,8 mm
Vertical	20 mm	15,5 mm

Fonte: AUTORA (2019)

Quadro 9: Deslocamento máximo do pórtico de Alma Cheia

DESLOCAMENTO	ADMISSÍVEL	ALMA CHEIA
Horizontal	60 mm	38,3 mm
Vertical	20 mm	5,70 mm

Fonte: AUTORA (2019)

6. ENTREVISTAS

As entrevistas foram realizadas em empresas no ramo de fabricação e montagem de estruturas metálicas em forma de questionário, seguindo questões que estão descritas no Apêndice 1. Para o levantamento de dados e análises, foram visitadas três empresas diferentes situadas na cidade de Goiânia. Em seguida, tem-se o que foi abordado durante cada entrevista.

6.1. Entrevistado Um:

Engenheiro civil e empresário na área da construção foi responsável técnico de obras civis por 34 anos, totalizando 980.000m² construídos e 25.000 toneladas de estruturas metálicas projetadas, fabricadas e montadas. Hoje é responsável técnico da empresa Irontec Construção Metálica em Aparecida de Goiânia. A seguir, é apresentado as ponderações feitas às perguntas contidas no Apêndice 1.

- a) O consumo do galpão em viga de alma cheia sempre será maior em relação ao galpão treliçado. Isso ocorre por questão de inércia, já que no treliçado tem como considerar no dimensionamento a inércia mais favorável possível, enquanto no modelo de alma cheia em que é usado perfil W isso não ocorre por estar limitado na altura do perfil, pois se aumentar muito a altura, ficará pesado demais e o tornará inviável economicamente. Esse consumo de aço varia de 10 a 50% nas situações viáveis, dependendo do vão do pórtico. Para estruturas menores essa diferença é em torno de 10%, para estruturas com vão de 30 metros essa diferença é em torno de 30% e para vão de 40 metros essa diferença pode chegar a 50%.
- b) Com relação ao custo final de cada tipologia, salientou que para o galpão treliçado o custo é em torno de 25% maior quando comparado com o galpão com viga de alma cheia. Considerando apenas os custos diretos.

- c) A etapa que mais impacta o custo final da obra é a fabricação. Para exemplificar, citou que em sua empresa as máquinas são automatizadas e que só consegue utilizá-las em obras com perfis laminado, os quais são utilizados em galpões com viga de alma cheia.
- d) Sobre o processo de fabricação do galpão com viga de alma cheia é mais rápido em relação ao treliçado. Pois apenas os perfis laminados podem ser fabricados por máquinas automatizadas, enquanto na treliça toda a produção é feita de forma manual, envolvendo muita solda, uma série de intervenções e tarefas que acaba tornando o processo mais lento. Como exemplo, informou que em sua empresa uma viga laminada de alma cheia iniciando o processo de fabricação pela manhã, consegue até o final do dia que a viga esteja sendo pintada. Já a treliçada, a pintura é executada no terceiro ou quarto dia. Com isso, nota-se que a mão de obra para o galpão treliçado é maior que o laminado. Quantificando o custo, tem-se que essa diferença seria em torno de 25 a 30% maior.
- e) Existem outros dois fatores significantes que interferem no custo. O primeiro é relacionado à pintura, a estrutura treliçada costuma ter o dobro ou até o triplo de área exposta, ou seja, maior área para ser jateada e pintada. Dessa forma o custo da pintura é no mínimo o dobro quando comparada com a estrutura de alma cheia. Além disso, na treliça existe o dobro de desperdício, uma vez que possuem mais vazios, dessa forma, quando é realizada a pintura líquida com névoa, considerando a área exposta e o desperdício, a pintura de uma estrutura treliçada pode ficar três a quatro vezes mais caras que o sistema de alma cheia. Outro fator importante é o frete, uma estrutura de alma cheia consegue ser transportada na carreta torno de 30 toneladas por viagem, enquanto na treliçada são transportadas apenas oito toneladas em média, ou seja, a diferença só em frete daria em torno de três a quatro vezes maiores, ou seja, dependendo do lugar da obra esse valor pode

representar cerca de 6 a 7% do valor total, tornando totalmente inviável o sistema treliçado caso a obra for muito longe.

- f) O desperdício no laminado é menor devido aos cortes das peças e pintura. Quanto à qualidade, manutenção e vida útil são melhores na estrutura de alma cheia, pois o laminado possui naturalmente uma resistência à corrosão em relação às chapas devido a sua espessura. Com isso, a vida útil é muito maior e consequentemente a manutenção é muito menor. Por exemplo, caso seja necessário repintar uma estrutura em laminado de 10 em 10 anos, na treliçada terá que ser o mínimo cinco anos para a manutenção.

Em relação à qualidade, tem-se automaticamente que as peças automatizadas são melhores quando comparadas às peças manuais, ou seja, o sistema laminado possui maior qualidade em relação ao treliçado.

- g) Por todos os motivos já citados ele recomendaria o sistema de alma cheia para vãos viáveis, que seria no máximo até 50 metros, já que os perfis laminados possui limitação em suas séries. Com isso, cabe ressaltar também a finalidade do projeto, como shoppings, fábricas e centros de distribuição que possuem muitas instalações e geralmente é preciso pendurar alguns equipamentos na estrutura de cobertura. No caso da estrutura em alma cheia, pode-se pendurar em qualquer lugar do pórtico, enquanto no treliçado só pode ser pendurado nos nós, ou seja, em questão de uso, versatilidade e adaptabilidade o sistema de alma cheia também é mais vantajoso.

6.2. Entrevistado Dois:

Engenheiro civil e empresário na área da construção. Possui 33 anos de experiência na área de estruturas metálicas. Tem cerca de 20 000 toneladas de estruturas metálicas projetadas, fabricadas e montadas. Hoje é responsável técnico da empresa Ferroarte Estruturas Metálicas em Senador Canedo. A seguir, é apresentado as ponderações feitas às perguntas contidas no Apêndice 1.

- a) Considerou que para vãos até 40, 50 metros o consumo de aço realmente é maior para o galpão com viga de alma cheia, atingindo em torno de 20% essa diferença de consumo entre as duas tipologias.
- b) Apesar de o galpão treliçado consumir menos aço, seu custo final para os vãos até 50 metros tende a ser em torno de 20% mais caro.
- c) O que causa maior impacto é a etapa de fabricação, pois empresas com tecnologia conseguem automatizar cortes e furações das peças laminadas, empregadas no sistema de alma cheia. Já no treliçado isso não ocorre, tem que ser tudo manual.
- d) Quanto ao processo de fabricação de cada tipologia, a principal diferença está na automatização para as peças laminadas, podendo atingir cerca de 30% de diferença no prazo para a produção de um pórtico de alma cheia em relação ao treliçado.

Além disso, a mão de obra para a produção do treliçado é maior, pois todos os cortes e soldas são feitos de forma manuais. Exemplificando, no caso da treliça projetada neste trabalho cada peça das diagonais e montantes possui um comprimento de barra diferente, fazendo com que o processo de corte seja ainda mais lento e que, apesar da produtividade do soldador ser muito boa o processo do treliçado de qualquer forma vai demandar mais tempo para a produção, ou seja, a hora/homem do soldador vai aumentar de uma tipologia para a outra, já que vai demandar mais tempo.

- e) Os outros custos são os itens que de fato interferem no custo final de cada obra. No caso da pintura, o tempo, desperdício e a área total a ser pintada nas peças da treliça são realmente maiores e que essa diferença pode ser quantificada por volta de 30%.

Quanto ao transporte, à disparidade pode ser tão elevada que dependendo do local da obra, a solução em treliça é totalmente inviável. Exemplificando, uma estrutura laminada consegue ser transportada em torno de R\$ 0,30 no quilo do aço, enquanto na treliça

o quilo do aço fica por volta de R\$ 1,00. Essa diferença de R\$ 0,70 é muito significativo no orçamento final, pois as carretas transportam toneladas por viagem.

- f) A vida útil a princípio deve ser a mesma para as duas tipologias, contudo no sistema treliçado as peças estão sujeitas a mais deposição de poeira e sujeira, o que demanda um maior cuidado com a limpeza e manutenção. Além disso, as espessuras das peças na treliça são mais finas que as laminadas, se sujeitando com mais facilidade à corrosão.
- g) Por questões econômicas e de utilização já citadas anteriormente, ele recomenda o sistema de alma cheia.

6.3. Entrevistado Três:

Engenheiro civil e empresário na área da construção. Possui 39 anos de experiência na área de estruturas metálicas. Tem cerca de 28 000 toneladas de estruturas metálicas projetadas, fabricadas e montadas. Hoje é responsável técnico da empresa Florenzano Estruturas Metálicas em Goiânia. A seguir, é apresentado as ponderações feitas às perguntas contidas no Apêndice 1.

- a) O consumo de aço em galpões com vigas de alma cheia geralmente é maior quando comparadas ao treliçado. Essa diferença pode ser quantificada em torno de 20%.
- b) Normalmente o custo final da obra laminada é menor em relação ao treliçado. Pois além do consumo de aço, devem ser considerados no orçamento a produção, fabricação, montagem e o transporte. Com isso, essa disparidade fica entre 25 a 30% do valor final.
- c) A fabricação interfere significativamente, já que o fator produtividade da mão de obra difere muito entre as duas tipologias.

d) O processo de fabricação no sistema laminado é mais rápido, pela facilidade dos cortes e furações das peças, já que estas são todas automatizadas. Como a produção das treliças é manual, demanda-se uma quantidade maior de mão de obra e tempo. Para exemplificar, mostrou que para o pórtico laminado sua finalização ocorre em um dia de produção, enquanto o treliçado é em torno de dois dias e meio a três dias. Ou seja, se for quantificado essa diferença é em torno de 25%.

e) A pintura no sistema de alma cheia é mais rápida que na treliça, a altura dos pórticos é um dos fatores que interferem nessa velocidade de execução. Para o jateamento da tinta, o equipamento alcança até um metro para a pintura, contudo, as peças treliçadas possuem alturas maiores por questão de inércia. Já que para consumir menos aço, aumenta-se a altura das peças, de modo que a favoreça. Quantificando, a diferença de prazo seria de 25% em relação aos dois sistemas.

Quanto ao transporte, o volume gerado pela solução treliçada é maior e o peso é menor em relação ao laminado. Por exemplo, em uma carreta que transporta 25 toneladas com perfil laminado, consegue transportar em torno de 25% menos toneladas de aço no treliçado. Esse fator vai depender da altura das peças.

f) Devido à tecnologia dos softwares utilizados nos projetos, o desperdício é mínimo, já que otimizam os perfis. Quanto à qualidade, o sistema laminado possui vantagens, já que possui menos emendas, ou seja, ocorrem menos cortes e soldas, facilitando o controle de qualidade das peças. Com relação à manutenção, o sistema treliçado está condicionado a receber maior acúmulo de sujeira devido à sua forma, o que necessita de maior cuidado com a limpeza e manutenção.

g) O tipo de galpão a ser recomendado vai depender muito da finalidade da obra. Mas se relacionada apenas os itens sugeridos, a tipologia do

galpão em alma cheia é mais vantajoso economicamente, além de demandar menor prazo.

6.4. Ponderações em comum dos três entrevistados

- a) O consumo de aço sempre será maior para galpões com vigas de alma cheia. Pois no dimensionamento do sistema treliçado, pode-se dimensionar a favor de sua inércia, enquanto no laminado é usado perfil W que fica limitado na sua altura. Esse consumo de aço para vãos de 30 metros varia em torno de 25%;
- b) Quanto ao custo final de cada tipologia, o sistema treliçado é em torno de 20% mais caro;
- c) A etapa que mais interfere no custo final é a fabricação;
- d) Perfis laminados podem ser fabricados por máquinas automatizadas, facilitando a execução de cortes e furações;
- e) No sistema treliçado toda a produção é feita de forma manual, envolvendo muita solda, uma série de intervenções e tarefas que acaba tornando o sistema mais lento.
- f) Em relação à pintura o sistema treliçado geralmente tem o dobro ou até o triplo de área exposta, ou seja, maior área para ser pintada e jateada. Possui o dobro de desperdício, pois possuem mais vazios. O custo da pintura pode ficar três vezes mais caro em relação ao treliçado.
- g) O sistema laminado em relação ao frete possui maior aproveitamento no transporte da carga na viagem de cada carreta, consegue ser carregadas em média 30 toneladas de carga em cada viagem da carreta. A diferença pode chegar de 6% a 7% no custo final, podendo ser fator decisivo na viabilidade da obra, dependendo da distância.
- h) O perfil laminado possui naturalmente uma resistência à corrosão em relação às chapas devido sua espessura. Consequentemente a vida útil é maior e a manutenção é menor

7. COMPOSIÇÃO ORÇAMENTÁRIA

Com o intuito de calcular o custo final das duas tipologias de galpões projetadas neste trabalho, foram realizadas entrevistas em campo com profissionais experientes na área de execução em estruturas metálicas. Nelas, foram discutidas uma série de itens que compõem e influenciam no orçamento. A seguir, têm-se os itens que compõem o orçamento e o que influencia no custo de cada um.

- a) Matéria-prima: O preço do aço está baseado no custo da siderúrgica. Para o orçamento foi considerado o valor do quilo por feixe fechado.
- b) Manuseio: Está relacionado ao deslocamento das peças dentro da fábrica. Como os perfis laminados são peças únicas, existe uma dificuldade maior de locomoção dentro da fábrica, diferentemente da treliça que possui vários elementos de comprimentos menores que podem ser transportados manualmente.
- c) Corte: O tipo de corte definido depende do tipo de aço, espessura e o volume do material, além da aplicação da peça. O corte mecânico usado com serras é indicado para peças com espessura máxima de 25 milímetros. Já espessuras mais finas podem ser cortadas com serras de fricção. A fabricação de estruturas metálicas também pode ser realizada com corte térmico, quando as peças possuírem espessuras muito grossas, que não possa ser cortada mecanicamente, o tipo de corte mais comum nesse caso é o corte plasma, a laser ou o oxicorte. Nestes últimos tipos de cortes, há maior produtividade já que o processo é praticamente todo automatizado, enquanto o corte mecânico é manual.
- d) Solda: A realização da solda com eletrodo revestido ocorre com a junção do eletrodo e o perfil de aço utilizado, ambos condutores elétricos, que ao se conectarem através da condução elétrica que passa por eles, acontece o afastamento do eletrodo da peça. Assim, forma-se um arco elétrico condutor de corrente, que superaquece o eletrodo e o perfil, causando a fusão dos metais do eletrodo e da peça na região de transferência desta energia. A alma do eletrodo, metálica

e, portando, condutora de eletricidade, está revestida por uma resina que, ao ser aquecida, queima e expulsa o oxigênio no momento da fusão. Dessa forma, quando a alma do eletrodo se funde, o revestimento se desprende e libera gases que protegem a poça de solda do contato com a atmosfera. A resina, após resfriada fica em estado sólido novamente, dando origem à escória, que fica sobre o local soldado. Para um bom acabamento, ela deve ser removida ao fim de cada passo. Sem a remoção da escória, o acabamento visual da solda fica prejudicado, além de dificultar a produtividade. A remoção requer trabalhos manuais pós-solda. Além disso, o eletrodo tem um tamanho específico e com isso não há a possibilidade de adição contínua de material, o que reduz ainda mais a produtividade.

- e) Usinagem: Compreende todo o processo mecânico onde a peça é a matéria-prima de um processo de remoção de material. Existem vários processos de usinagem, dentre eles: serramento, aplainamento, torneamento, fresamento, furação, brochamento. Essa etapa possui uso de máquinas de alta precisão, como é o caso das CNC (com comando numérico computadorizado), com uma precisão que chega a ser de um micrômetro.
- f) Tratamento das superfícies: Envolve todo o procedimento para remoção de impurezas metálicas, que pode ser feita através da detergentização, solubilização, ação química que compreende a decapagem ácida, decapagem alcalina e ação mecânica. O tratamento da superfície normalmente é realizado através da fosfatização que retarda a corrosão, melhora a aderência, reduz o potencial de corrosão e elimina resíduos de ferrugem. Além disso, na preparação da superfície para a pintura por limpeza mecânica, deve-se verificar a limpeza com solventes e a retirada de defeitos superficiais por esmerilhamento. Por fim, utiliza-se a ação mecânica manual ou com ferramentas manuais ou jateamento abrasivo.
- g) Pintura: um dos fatores de maior importância para a pintura é o preparo da superfície. As tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas. As duas primeiras ocorrem através de grupos de moléculas presentes nas resinas das tintas que interagem com

grupos existentes nos metais. A ligação mecânica se dá pela associação a uma das outras duas e implica na necessidade de certa rugosidade na superfície. Com a rugosidade, há o aumento da superfície de contato, melhorando sua aderência. A homogeneização das tintas antes do uso é fundamental, pois as tintas são constituídas de produtos em suspensão e que pela força de gravidade se sedimentam formando duas fases distintas. Uma parte líquida superior com o veículo, que compreende o solvente, resina e aditivos líquidos, e a outra inferior, a sedimentação, que compreende o pigmento sedimentado juntamente com as cargas e os aditivos sólidos. A pintura geralmente é feita por jateamento, em que ocorre a propulsão das partículas abrasivas em alta velocidade impulsionadas por ar, água ou força centrífuga.

- h) Frete: Refere-se ao transporte da estrutura metálica da fábrica para o local da obra. Nessa etapa, as peças devem possuir dimensões e pesos compatíveis com a capacidade dos veículos utilizados.
- i) Mão de obra: Estão presentes na etapa de fabricação das peças e montagem na execução da obra. Sua produtividade depende da utilização de equipamentos que agilizam a produção e também do modelo estrutural a ser adotado no projeto.
- j) Equipamento: Utilizados para que as peças metálicas sejam içadas diretamente do caminhão para a montagem na estrutura, sem a necessidade de armazenamento que aumenta a produtividade da obra.

Dessa forma, com todas as ponderações realizadas nas etapas de fabricação, transporte e montagem, os entrevistados preencheram os valores de cada item da tabela a seguir com intuito de quantificar os custos unitários. A tabela é resultado da média dos valores atribuídos pelos três entrevistados.

Foi necessária a criação dessa composição de custos para quantificar os preços que mais se assemelham à realidade da fabricação e montagem dessas duas tipologias de galpões, pois as tabelas oficiais disponíveis sobre composição orçamentária não fazem o devido detalhamento de produtividade considerado para precificar o metro quadrado desses sistemas.

Quadro 10: Custos unitários para produção e montagem de galpões estruturados em aço

ORÇAMENTO GALPÃO (30X48m)		TRELIÇADO (R\$/KG)				VIGA DE ALMA CHEIA (R\$/KG)			
Entrevistados		1	2	3	Média	1	2	3	Média
ITENS	Descrição								
MATERIAL									
	Matéria-prima (aço)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,30	4,30	4,30	4,30
FABRICAÇÃO									
	Manuseio	0,90	0,95	0,90	0,92	0,60	0,80	0,70	0,70
	Corte	1,10	1,00	1,05	1,05	1,00	0,80	0,90	0,90
	Solda	1,20	1,10	1,20	1,17	0,70	0,80	0,90	0,80
	Usinagem	1,40	1,30	1,30	1,33	1,00	1,20	1,10	1,10
	Tratamento de Superfície	0,50	0,60	0,50	0,53	0,40	0,50	0,30	0,30
	Pintura	1,10	1,10	1,00	1,07	0,60	0,80	0,70	0,70
TRANSPORTE									
	Frete	1,00	1,10	1,10	1,07	0,40	0,30	0,40	0,36
MONTAGEM									
	Mão de obra	1,60	1,50	1,60	1,57	0,90	1,10	1,00	1,00
	Equipamento	1,10	1,00	1,10	1,06	0,80	0,60	0,70	0,70
TOTAL (R\$/Kg)					14,27				10,86

Fonte: AUTORA (2019).

8. CUSTO FINAL

Com a composição dos custos unitários realizada no presente trabalho e com o consumo de aço para cada tipologia de galpão multiplicado pela área total de 1440m², tem-se o custo final de cada tipologia representada no quadro a seguir:

Quadro 11: Custo final das tipologias em estudo

	R\$/Kg	CONSUMO DE AÇO (Kg/m ²)	CUSTO FINAL (R\$)
ALMA CHEIA	10.86	23.63	369535.392
TRELIÇADO	14.27	20.48	420839.424

Fonte: Própria autora

Dessa forma, tem-se que o custo total do galpão treliçado é em torno de 15% maior em relação ao galpão de alma cheia. Com esse resultado, confirma-se a ponderação feita por Madeira (2009) que ressaltou que apesar do consumo de aço para o sistema treliçado ser menor em relação à tipologia de alma cheia, não reflete no preço final da obra devido à produtividade.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram dimensionadas as estruturas das duas tipologias de galpões. Verificou-se que o consumo de aço no sistema com vigas de alma cheia realmente é maior em relação ao treliçado, sendo essa diferença de 16%. A taxa de consumo de aço para a solução em alma cheia foi de 24,63 Kg/m² e para o treliçado foi de 20,48 Kg/m².

Com os estudos em campo, através das análises qualitativas concluiu-se que a mão de obra é de 25% a 30% maior para o sistema treliçado. A fabricação, que compreende o manuseio, corte, solda, usinagem, tratamento e pintura, também é cerca de 30% maior. O transporte pode chegar a 40% a mais no orçamento da treliça em relação ao sistema com viga de alma cheia. Com isso, tem-se que o custo total do galpão em alma cheia seria em torno de 15% menor.

A composição dos custos unitários foi feita baseada na média dos valores atribuídos pelos três entrevistados para as etapas que compreende a fabricação, transporte e montagem das estruturas das duas tipologias de galpões. Com intuito de analisar e considerar as diversas variáveis que compõem os custos das duas tipologias, mostrando que apesar do consumo de aço ser o mais representativo no custo do orçamento, comprovou-se com o estudo que os outros itens ao serem avaliados em conjunto resultam que para o galpão que consome mais aço possui custo final menor.

Sendo assim, com os custos finais calculados verificou-se que para o galpão treliçado o custo foi 15% maior em relação ao galpão com viga de alma cheia. Dessa forma, comprovou-se o objetivo do trabalho que, apesar do sistema de alma cheia consumir mais aço, possui custo final menor em relação ao sistema treliçado.

Cabe salientar que as ponderações realizadas para os resultados obtidos se aplicam para o projeto especificado no presente trabalho. As considerações podem alterar de acordo com a finalidade do projeto e dimensões adotadas para vãos, altura e comprimento da estrutura.

10. APÊNDICE 1

Questões para realização da pesquisa:

- a) De acordo com meu dimensionamento das duas tipologias de galpões: com viga de alma cheia e treliçado, verifiquei que o galpão com viga de alma cheia consome mais aço do que o galpão treliçado. Isso sempre ocorre? Se puder estimar uma porcentagem de consumo de aço entre as duas tipologias, quais seriam?
- b) A princípio, apesar do galpão com viga de alma cheia sempre consumir mais aço que o galpão treliçado, o que você pode me falar a respeito do custo final de cada tipologia? Você acredita que o galpão com viga de alma cheia também terá seu custo final maior?
- c) O que você acha que causa maior impacto no custo final de cada tipologia?
- d) De acordo com sua experiência, o que você pode me falar a respeito do processo de fabricação de cada tipologia? Você consegue quantificar a diferença de produtividade de mão-de-obra de cada tipologia?
- e) Além da produtividade, existem outros fatores de custos indiretos que interferem no custo final dos galpões, o que você pode me falar a respeito desses custos.
- f) O que você pode me falar a respeito do desperdício, qualidade, manutenção, vida útil quando comparado as duas tipologias.
- g) Qual tipologia de galpão você recomendaria e por quais motivos?

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO MINERAL. **Siderurgia**. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/interna_conteudo.php?i_subarea=15&i_area=2>. Acesso: 25 de Maio de 2019.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças Corporativas e Valor**. São Paulo: Atlas, 2009.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço**: projeto e cálculo. 5. Ed. Ver. E ampl. São Paulo: Pini, 2010.

CASAROTTO FILHO, Nelson C.; KOPITKE, Bruno H. **Análise de Investimentos**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CHAMBERLAIN, Z.M.; FICANHA R.; FABEANE, R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CHAVES, M. R. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões leves**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

DIAS, L.A.M. **Estruturas de aço: Estruturas de aço: Conceitos, técnicas e linguagem**. 11. Reimpressão. São Paulo: Zigurate Editora, 2015.

D'ALAMBERT, F. **Galpões em Pórticos com Perfis Estruturais Laminados** (Coletânea do Uso do Aço). Belo Horizonte: GERDAU Açominas, 2004. 2. ed. v.3.

FISHER, J.M. **Industrial Buildings, Roofs to Column Anchorage**. Steel Design Guide Series, 7. Chicago: AISC. 1993.

FREIRE, Carlos. **Análise Comparativa: Custos Estruturas Metálicas x Estrutura de Concreto**. Disponível em: <http://www.metallica.com.br/analise-comparativa-custos-financeiros>. Acesso: 25 de Maio de 19.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Métricas Industriais**. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/22063/BOOK%20completo%20->

[%20Me%CC%81tricas%20Industriais%20BAIXA SITE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>](#). Acesso em: 30 de Maio de 2019.

HOJI, Masakazu. **Administração Financeira e Orçamentária**. São Paulo: Atlas, 2010.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Galpões para usos gerais**. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

MADEIRA, A. R. **Estrutura em Aço para Pavilhão Industrial**: comparação entre soluções com elementos treliçados e de alma cheia. 2009. Trabalho de Diplomação – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOTTA, Regis R; CALÔBA, Guilherme M. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2002.

NOGUEIRA, G. S. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio**. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

NONATO, Pedro. **Rive Gauche**. Disponível em: <<http://rivegaucheparis.blogspot.com/2011/12/le-palais-royal.html>> Acesso em: 21 maio 2019.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático segundo a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: 2009.

PINHO, Fernando. **Galpões em Aço**. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=741> Acesso em: 20 maio 2019

PINHO, F.O.; PENNA, F. **Viabilidade econômica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2008.

PUGLIESI, M.; LAUAND, C.A. **Estruturas Metálicas**. Brasil: Editora Hemus, 2005. p.892

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, 2004. v. 01. 329p.

SANTOS, R.; VÍTO, M. **Estudo Comparativo entre o Dimensionamento de Estruturas Articuladas em Aço para Treliça em Arco pela NBR 8800:2008, EUROCODE 3 e ANSI/AISC 360-05**. Artigo para conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2016.

SILVA, Fabrício. **Análise de Sistema Estrutural Metálico em Arco para Centro Esportivo**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SILVA, Rodrigo. **Projeto de galpão em estrutura metálica:** consumo de aço em soluções com perfis laminados e conformados a frio. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) - Universidade Federal de Goiás, 2017.

SILVA, V.P.; PANNONI, F.D. **Estruturas de aço para edifícios.** São Paulo: Blucher, 2010.