



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

EDUARDO RODRIGUES SCHMITT

**ANÁLISE COMPARATIVA DE COBERTURAS EM AÇO, SEGUINDO O
DIMENSIONAMENTO DAS NORMAS ABNT NBR 14762:2010 E ABNT NBR
8800:2008.**

**PALMAS
2022**

EDUARDO RODRIGUES SCHMITT

**ANÁLISE COMPARATIVA DE COBERTURAS EM AÇO, SEGUINDO O
DIMENSIONAMENTO DAS NORMAS ABNT NBR 14762:2010 E ABNT NBR
8800:2008.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins – Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Dias de
Araújo e Silva

**PALMAS
2022**

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

S355a Schmitt, Eduardo Rodrigues
ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS
PREDEFINIDAS RELATIVAS À COBERTURA DE GALPÕES
METÁLICOS. / Eduardo Rodrigues Schmitt. – Palmas, TO, 2022.
99 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

1. Coberturas metálicas. 2. Dimensionamento. 3. Galpão. I. Dias
de Araújo e Silva, Thiago. II. Título.

CDD 624

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

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

EDUARDO RODRIGUES SCHMITT

**ANÁLISE COMPARATIVA DE COBERTURAS EM AÇO, SEGUINDO O
DIMENSIONAMENTO DAS NORMAS ABNT NBR 14762:2010 E ABNT NBR
8800:2008.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins – Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
bacharelado.

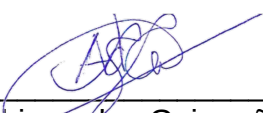
Aprovado em: 11/04/2022

BANCA AVALIADORA

Thiago Dias de A. e Silva

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

IFTO – Campus Palmas



Prof. Dr. Adriano dos Guimarães Carvalho

IFTO – Campus Palmas

Rebeca Freitas Vasconcelos

Prof. Me. Rebeca Freitas Vasconcelos

IFTO – Campus Palmas

RESUMO

O uso de estruturas metálicas cresce e vem crescendo ano após ano no país, com isso, nota-se o aumento do uso de estruturas de aço para obras industriais, devido à isso, pesquisa-se sobre a análise comparativa de concepções estruturais predefinidas, relativas à cobertura de galpões metálicos, com dimensionamento em ferramentas computacionais seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008, a fim de comparar algumas concepções estruturais e fazer uma análise de viabilidade econômica. Para tanto, é necessário descrever as particularidades e o dimensionamento de estruturas metálicas de galpões, predeterminar e dimensionar diferentes concepções estruturais de coberturas de galpões e avaliar os resultados obtidos nos dimensionamentos para determinar os que tem o melhor aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural global. Realiza-se, então, uma pesquisa de finalidade aplicada, com objetivo descritivo e exploratório, realizada pelo método hipotético-dedutivo, com abordagem quantitativa-qualitativa executada por meio de levantamento bibliográfico, documental e estudo de caso experimental sobre coberturas de galpões metálicos. Diante disso, verifica-se que, para as cargas consideradas, coberturas de galpão com treliça de banzos paralelos engastada nos pilares demonstra maior peso estrutural; coberturas de galpão com treliça trapezoidal engastada nos pilares apresenta peso estrutural menor que a anterior e coberturas de galpão com treliça trapezoidal apoiada nos pilares apresenta o menor peso estrutural, o que impõe a constatação de que os modelos que contam com treliça apoiada nos pilares se sobressai sobre as demais analisadas. Desde que seja dimensionada conforme as normas vigentes, é a que melhor se alinha com um custo benefício pautado no menor peso estrutural.

Palavras-chave: Coberturas metálicas. Dimensionamento. Galpão.

ABSTRACT

The use of metallic structures grows and keeps growing year after year in the country, with this, there is an increase in the use of steel structures for industrial buildings, because of this, a research is carried out on to do the comparative analysis of predefined structural conceptions, related to the metal roof structures of steel sheds, following the guidelines of the ABNT NBR 14762:2010 and ABNT NBR 8800:2008, in order to compare some predefined structural conceptions and make an analysis of economic viability. Therefore, it is necessary to describe the particularities and dimensioning shed structures, predetermine and calculate different structural forms of shed roofs and evaluate the results obtained to determine which ones have the best use of the structural profiles and lower overall weight. Research with an applied purpose is then carried out, with a descriptive and exploratory objective, carried out by the hypothetical-deductive method, with a quantitative-qualitative approach carried out through a bibliographic, documentary survey and an experimental case of study about metal shed roofs. In view of this, it appears that, for the loads considered, shed roof with a truss of parallel chords fixed on the pillars demonstrate the heaviest structural weights; shed roof with trapezoidal trusses fixed on the pillars have lower weight than the previous one and shed roof with trapezoidal truss supported on the pillars have the lowest structural weight, which imposes the realization that the model that have a truss supported on the pillars stands out over the others analyzed. As long as it is dimensioned according to the current regulations, it is the one that best align with a cost benefit based on the lowest structural weight.

Keywords: Metal roofs. Dimensioning. Shed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Tensão X Deformação do aço	20
Figura 2 - Demonstrativo de peças componentes de galpões com descrição	24
Figura 3 - Visão das terças e tirantes em corte transversal	25
Figura 4 - Terças com linhas de corrente e tirantes	25
Figura 5 - Aplicação de Mãos-francesas nas terças	26
Figura 6 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em coberturas	27
Figura 7 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em tapamento lateral	27
Figura 8 - Distribuição das cargas de vento pelos contraventamentos e vigas	28
Figura 9 - Contraventamentos horizontais em cobertura de galpão	29
Figura 10 - Formatos de desenhos de treliça com nome de seu criador	30
Figura 11 - Treliça trapezoidal	31
Figura 12 - Treliça Triangular	31
Figura 13 - Treliça especial de banzos paralelos com tirante	32
Figura 14 - Detalhe de pilar com ligação ao bloco de concreto por chumbadores ...	33
Figura 15 - Edifício industrial com colunas e vigas em alma cheia	34
Figura 16 - Edifício com sistemas de cobertura treliçados	34
Figura 17 - Edifício industrial com coluna de alma cheia e viga de rolamento	35
Figura 18 - Edifício com colunas treliçadas e vigas de rolamento	35
Figura 19 - Edifício industrial com duas águas, geminado	36
Figura 20 - Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado	36
Figura 21 - Cobertura em arco treliçado	37
Figura 22 - Cobertura treliçada com elementos de travamento	37
Figura 23 - Flambagem distorcional em perfis dobrados formados a frio	38
Figura 24 - Mapa das velocidades básicas de vento limitados por isopletras	41
Figura 25 – Galpão sem elementos de fechamento lateral	42
Figura 26 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações permanentes	45
Figura 27 -Valores dos coeficientes de ponderação para ações variáveis	46
Figura 28 – Valores dos fatores de combinação e redução	46
Figura 29 - Deslocamentos máximos em terças e travessas de fechamento	55
Figura 30 - Anexo A da NBR 14672– Tabela A.1–Deslocamentos máximos	56

Figura 31 – Galpão sem tapamentos laterais	60
Figura 32 – Coeficiente de pressão para coberturas isoladas.....	61
Figura 33 – Galpão com vigas de travamento nos pilares.....	62
Figura 34 - Modelo 01 – Treliça especial de banzos paralelos engastada no pilar ..	65
Figura 35 - Modelo 02 – Treliça trapezoidal engastada no pilar	66
Figura 36 – Modelo 03 - Treliça trapezoidal apoiada no pilar	66
Figura 37 – Interface inicial do programa	69
Figura 38 – Aba de dados “Geometria”	69
Figura 39 – Aba de dados “Velocidade Básica”	70
Figura 40 – Aba de dados “Fator S1”	70
Figura 41 – Aba de dados “Fator S2”	71
Figura 42 – Aba de dados “Categoria do terreno”	71
Figura 43 – Aba de dados “Classe das Edificações”	72
Figura 44 – Aba de dados “Fator S3”	72
Figura 45 – Aba de dados “Velocidade Característica e Pressão de Obstrução”	73
Figura 46 – Vista 3D de estrutura modelada no programa	75
Figura 47 – Vista lateral de estrutura modelada no programa.....	75
Figura 48 – Vista frontal de estrutura modelada no programa.....	76
Figura 49 – Verificações feitas pelo programa	76
Figura 50 - Fluxograma do trabalho	77
Figura 51 – Demonstrativo das cargas e seus respectivos sentidos positivos	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados das diferentes tipologias de galpões analisadas.....	67
Tabela 2 – Coeficientes de pressão dos ventos $V0^\circ$ e $V90^\circ$ em kN/m^2	78
Tabela 3 – Memória de cálculo das cargas de vento para coberturas isoladas.....	79
Tabela 4 – Galpões com dimensões 15x30m e altura 6m	80
Tabela 5 - Galpões com dimensões 15x30m e altura 9m	81
Tabela 6 - Galpões com dimensões 20x30m e altura 6m	82
Tabela 7 - Galpões com dimensões 20x30m e altura 9m	83
Tabela 8 - Galpões com dimensões 25x30m e altura 6m	84
Tabela 9 - Galpões com dimensões 25x30m e altura 9m	85
Tabela 10 - Galpões com dimensões 30x54m e altura 6m	86
Tabela 11 - Galpões com dimensões 30x54m e altura 9m	87
Tabela 12 - Galpões com dimensões 35x54m e altura 6m	88
Tabela 13 - Galpões com dimensões 35x54m e altura 9m	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CF	Chapa fina
Chumb.	Chumbadores
Diâm.	Diâmetro
ELS	Estados limites de serviço
ELU	Estados limite últimos
MSE	Método da seção efetiva
NBR	Norma Brasileira
PFF	Perfis formados a frio
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área bruta da seção transversal da barra
A_{ef}	Área efetiva da seção transversal da barra
A_n	Área líquida da seção transversal da barra na região da ligação
A_{n0}	Área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação
C	Comprimento
C_{pb}	Coefficiente de pressão em coberturas isoladas lado esquerdo
C_{ps}	Coefficiente de pressão em coberturas isoladas lado direito
C_t	Coefficiente de redução da área líquida
E	Módulo de elasticidade do aço
F_d	Combinação última
$F_{Gi,k}$	Ação permanente característica
$F_{Q,exc}$	Ação transitória excepcional
$F_{Q1,k}$	Ação variável principal característica
$F_{Qj,k}$	Ações variáveis secundárias características
F_{ser}	Combinação de serviço
f_u	Resistência à ruptura do aço na tração
f_y	Resistência ao escoamento do aço
H	Altura do pilar considerado
h	Largura da alma (altura da parte plana da alma)
h_f	Altura final da treliça
h_i	Altura inicial da treliça
H_p	Altura total do pilar
i	Inclinação do telhado
I_{ef}	Momento de inércia efetivo da seção

I_g	Momento de inércia da seção bruta
Kg	Quilogramas
kN	Kilonewton
K_v	Coeficiente de flambagem local por cisalhamento
L	Comprimento destravado da barra
L	Perfil de cantoneira de abas iguais “L”
L_v	Largura do vão transversal
m	Metro
m^2	Metro quadrado
M_{dist}	Momento fletor de flambagem distorcional elástica
M_e	Momento fletor de flambagem lateral com torção, em regime elástico
M_l	Momento fletor de flambagem local elástica
mm	Milímetros
M_n	Momento fletor solicitante calculado considerando as combinações de ações para os estados limites de serviço
M_{Rd}	Momento fletor resistente de cálculo
M_{Sd}	Momento fletor solicitante de cálculo
$N_{c,Rd}$	Força axial de compressão resistente de cálculo,
$N_{c,Sd}$	Força axial de compressão solicitante de cálculo
N_{dist}	Força axial de flambagem distorcional elástica
N_e	Força axial de flambagem global elástica
$N_{t,Rd}$	Força axial de tração resistente de cálculo
$N_{t,Sd}$	Força axial de tração solicitante de cálculo
q	Pressão dinâmica do vento
R	Perfil de barras redondas “R”

r	Raio de giração da seção bruta
s	Segundo
$S1$	Fator topográfico
$S2$	Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno
$S3$	Fator baseado em conceitos probabilísticos
t	Espessura da alma
Tg	Tangente
Ue	Perfil “U” enrijecido
$USimples$	Perfil “U” simples
V_0	Velocidade básica do vento
$V0^\circ$	Vento 0°
$V1$	Vento 1
$V2$	Vento 2
$V90^\circ$	Vento 90°
V_k	Velocidade característica do vento
V_{Rd}	Força cortante resistente de cálculo
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo
W	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento
W_c	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema comprimida
$W_{c, ef}$	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida

W_{ef}	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema que atinge o escoamento
γ	Coeficiente de ponderação de cargas permanentes e variáveis
γ_{f2}^a	Coeficiente de ponderação das ações ou das resistências, em geral
γ_g	Coeficiente de majoração de ações permanentes
γ_q	Coeficiente de majoração de ações variáveis
δ	Deslocamento, flecha
Θ	Ângulo da cobertura
λ_0	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global
λ_{of}	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global por flexão
λ_{dist}	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional
λ_p	Índice de esbeltez reduzido do elemento ou da seção completa
λ_{pd}	Índice de esbeltez reduzido do elemento
χ	Fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global
χ^{dist}	Fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional
χ_{FLT}	Fator de redução do momento fletor resistente, associado à flambagem lateral com torção
ψ	Fator de combinação e redução para ações variáveis
ψ_0	Fator de redução das ações, fator de combinação de ações
ψ_{0j}	Fator de combinação
$\psi_{0j,ef}$	Fator de combinação efetivo
ψ_1	Fator de redução 1
ψ_2^d	Fator de redução das ações, fator de combinação de ações
ψ_{2j}	Fator de redução

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Propriedades do aço	19
2.2 Vantagens e desvantagens do aço	21
2.3 Principais aspectos dos projetos em aço	22
2.4 Peças componentes dos galpões	23
2.4.2 Terças	24
2.4.3 Mão francesa.....	25
2.4.4 Linhas de corrente ou correntes rígidas e tirantes	26
2.4.5 Contraventamentos e vigas de travamento	28
2.4.6 Treliças.....	29
2.4.6.1 Treliças trapezoidais.....	31
2.4.6.2 Treliças triangulares	31
2.4.6.3 Treliças especiais de banzos paralelos	32
2.4.7 Colunas	32
2.5 Tipologias de galpões.....	33
2.6 Perfis formados a frio	38
2.7 Métodos de dimensionamento ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14672:2010	39
2.7.1 Ações	39
2.7.1.1 Cálculo de ações de vento	40
2.7.2 Combinações	42
2.8 Dimensionamento da estrutura de cobertura	47
2.8.2 Barras comprimidas.....	48
2.8.2.1 Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção	48
2.8.2.2 Flambagem distorcional	49
2.8.3 Barras submetidas à flexão	50
2.8.3.1 Início de escoamento da seção efetiva	51
2.8.3.2 Flambagem lateral com torção	51
2.8.3.3 Flambagem distorcional	52
2.8.4 Esforço cortante	53
2.8.5 Deslocamentos.....	54
2.9 Orçamento	56
3 METODOLOGIA	57

3.1 Escolha dos parâmetros dos objetos de estudo	58
3.2 Justificativas aos parâmetros dos objetos de estudo	64
3.3 Tipologias analisadas	65
3.4 Ações e cargas consideradas	67
3.4.1 Cálculo de ventos - Dados de entrada no programa	68
3.5 Programa utilizado para cálculo das estruturas analisadas	74
3.6 Fluxograma e roteiro de etapa final do trabalho	76
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	77
4.1 Cargas de vento.....	78
4.2 Pesos totais dos elementos e peso global	79
4.3 Principais descobertas	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6 REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

Ao se analisar e discutir sobre estruturas metálicas, percebe-se que muitos empreendimentos são criados no formato de galpões metálicos nos dias hodiernos (depósitos, fábricas, supermercados, etc.). São constituídos, geralmente, de um pavimento, e prezam por economia e versatilidade. Possibilitam uma obra mais rápida, com canteiro reduzido e limpo, com capacidade de possuir grandes vãos e que podem ser facilmente reforçadas ou desmontadas (NOGUEIRA, PAULA, PAES, 2015; FAKURY, SILVA, CALDAS, 2016).

O Instituto Aço Brasil (2021a), em sua Análise Setorial e Regional de agosto/2021, afirmou que em 2020, apesar dos efeitos da pandemia do COVID-19, o principal setor consumidor de produtos siderúrgicos, que teve aumento na participação do consumo aparente, foi a construção civil: com um aumento de consumo aparente de 12%. O consumo aparente deste setor no total, em relação aos outros setores, aumentou de 37,6% (2019), para 41,2% (2020).

Inserindo a análise para os dias hodiernos, o Instituto Aço Brasil (2021b), em sua estatística mensal de julho/2021, que analisou o período de janeiro a junho de 2021 em comparação com o mesmo período do ano em 2020, notou-se novamente uma alta do consumo aparente de produtos siderúrgicos no país, com uma taxa de aumento total de produtos de aço planos e longos de 48,9%.

Nesse contexto de crescimento no uso do aço na construção civil, as demandas por projetos de estruturas metálicas, como o de galpões metálicos, tendem a crescer. Dessa maneira, uma análise comparativa de diferentes concepções estruturais, relativas às coberturas de galpões metálicos, torna-se um estudo de grande valia para agregar com a comunidade acadêmica e profissional acerca desse assunto.

Em relação aos galpões metálicos, tem-se o seguinte questionamento: os estudantes e os profissionais técnicos de engenharia, ao projetarem estruturas metálicas, considerando aspectos de segurança, economia e durabilidade, possuem acesso a algum tipo estudo que demonstre comparativamente soluções que possam ser mais leves e econômicas de coberturas de galpões metálicos para suprir as demandas de seus avaliadores ou clientes?

Em virtude disso, o objetivo geral da pesquisa foi o de comparar algumas concepções estruturais pré-definidas, relativas à cobertura de galpões metálicos, com o dimensionamento em ferramentas computacionais seguindo as diretrizes das Normas: NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008), e posteriormente analisar brevemente a viabilidade econômica entre os modelos calculados.

Para tanto, foram determinados os seguintes objetivos específicos: descrever as particularidades e o dimensionamento de estruturas metálicas de galpões; pré-determinar e dimensionar diferentes concepções estruturais de coberturas de galpões e avaliar os resultados obtidos nos dimensionamentos para determinar as que tem o melhor aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural.

A hipótese de que os modelos com treliça engastada no pilar, contraventamentos, mãos francesas nas terças, uso de linhas de corrente e tirantes, banzo inferior da treliça paralelo ao solo e o superior inclinado (treliça trapezoidal), serão as que possuirão maior aproveitamento dos perfis utilizados e menor peso estrutural total.

O presente trabalho fez um apanhado sobre diferentes modelos de coberturas de galpões metálicos, não descreveu especificamente as ligações entre as peças, visto que o objetivo foi de abordar um estudo de concepção estrutural, em que a comparação entre os modelos calculados fosse o ponto principal.

Assim, para viabilizar o teste da hipótese, no trabalho foi feita uma pesquisa de finalidade aplicada, com objetivo descritivo e exploratório, realizada pelo método hipotético-dedutivo, com abordagem quantitativa-qualitativa executada por meio de levantamento bibliográfico, documental e estudo de caso experimental.

No segundo capítulo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca das estruturas de aço, em que foram coletadas informações sobre os conceitos do aço como material, projetos de estruturas de galpões em aço e dimensionamento de galpões metálicos para uso geral.

No terceiro capítulo, realizou-se uma descrição da metodologia e do fluxo de trabalho, os modelos de galpões de aço serão calculados conforme as normas técnicas e com auxílio dos softwares *Ciclone* (USP, 2014) e *Cype 3D* (CYPE Ingenieros, 2017), programas que foram escolhidos visando agilidade no cálculo, dimensionamento e levantamento de materiais.

No quarto e quinto capítulo, foram apresentados, respectivamente, os resultados e conclusões finais acerca do estudo feito, com intuito de expor o que foi avaliado no trabalho e concluir sobre todo o estudo com base no problema de pesquisa, na hipótese e nos objetivos pretendidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

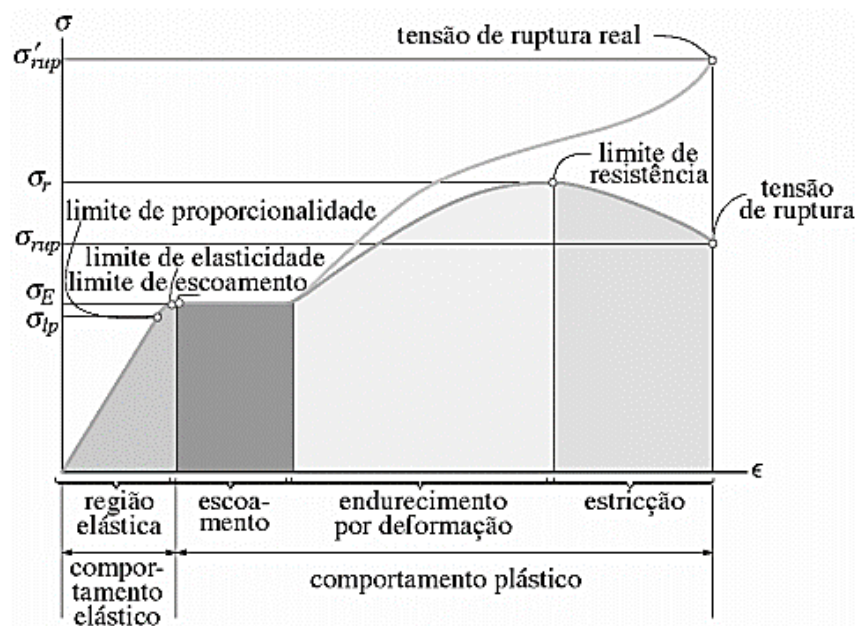
Com intuito de melhorar o entendimento acerca das estruturas de coberturas metálicas relativa à galpões, foi realizado um estudo bibliográfico para elucidar as nuances relativas à modelagem e ao dimensionamento dos galpões metálicos.

Dessa forma, os próximos tópicos dispõem das particularidades das estruturas metálicas de galpões, demonstrando os componentes usuais, os prós e contras do uso destas estruturas, o material utilizado (aço), e as especificidades de concepção estrutural e dimensionamento, tudo de acordo com as normas regulamentadoras vigentes.

2.1 Propriedades do aço

Segundo Pfeil e Pfeil (2009) os aços possuem as seguintes propriedades como relevantes para uso como material estrutural: escoamento, ductilidade, fragilidade, resiliência, tenacidade, dureza, fadiga e corrosão, que foram descritas nos tópicos subsequentes com base na visão do autor.

Em geral, o escoamento no aço pode ser visto a olho nu, pois gera deformação na peça. É obtida pelos valores do ensaio de tração simples e tem como característica o aumento da deformação com uma tensão constante, limitada pela tensão limite de escoamento, que pode ser vista na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Diagrama Tensão X Deformação do aço

Fonte: Buffoni, (2015).

A ductilidade está relacionada com a aptidão que o material tem em se deformar quando sofre ações de cargas já em regime plástico. Os aços com boa ductilidade têm grande importância estrutural, uma vez que se deformam mais, dando indícios de que a estrutura está sobrecarregada ou que corre risco de ruína, servindo de “aviso prévio” antes de ocorrer algum tipo de colapso estrutural.

A fragilidade tem o sentido contrário ao da ductilidade, também se relaciona com a aptidão que o material tem em se deformar no regime plástico, porém, os aços com grande fragilidade têm uma ruptura frágil, sem avisos prévios, incorrendo em sérios riscos no caso de carregamentos muito elevados em estruturas.

A resiliência já se relaciona com a capacidade de reter e redistribuir os carregamentos no regime elástico (que é o regime em que a peça ainda consegue retornar ao seu estado normal após descarregada), sendo determinada pela quantidade de energia elástica que pode ser retida por unidade de volume de um aço.

Tenacidade se correlaciona com toda a energia, em regime elástico e plástico que pode ser retida, por unidade de volume, de um aço até romper-se. Ou seja, no ensaio de tração simples é toda a área do gráfico obtida no diagrama de

tensão-deformação.

Dureza é basicamente a resistência do material à abrasão ou ao risco por outros tipos de materiais, é medida pela escala de dureza dos materiais onde utiliza-se um material de maior dureza para “riscar” o material estudado e medir a resistência superficial à penetração.

Fadiga liga-se com a resistência à ruptura dos materiais, a ruptura do material ocorre devido aos efeitos relacionados aos repetitivos esforços que uma peça sofre durante sua vida útil devido a ação de, por exemplo, pontes rolantes e maquinários no geral que promovem carregamento e descarregamento em pontos específicos das peças metálicas.

Corrosão é o resultado de reações químicas que ocorrem no aço devido aos elementos presentes no ambiente que fora instalado, sendo a umidade e a retenção de água a principal causa. Está atrelada com a perda de seção útil dos perfis metálicos devido a perda de íons de ferro para o ambiente. A proteção contra corrosão é feita com as pinturas ou a galvanização (adição de Zinco às superfícies do aço).

2.2 Vantagens e desvantagens do aço

Os aços como material estrutural possuem prós e contras, Bellei (1998) afirma que possui as seguintes vantagens: material homogêneo, com parâmetros bem definidos de ruptura e escoamento e com alta resistência para os variados estados de tensão, permitindo estruturas mais esbeltas. Cita, também, que a montagem dos elementos é mecanizada diminuindo o tempo de construção, tendo como única desvantagem a corrosão.

Já segundo Chamberlain, Ficanha e Fabeane (2013), as vantagens do aço encontram-se na agilidade de produção e montagem, aproveitamento maior de perfis e redução das solicitações nas fundações. Já como desvantagens cita que as obras em aço são limitadas pelos insumos presentes na região que se encontra, por razões econômicas e culturais; exigem uma mão de obra especializada; os projetos devem ser bem planejados e os elementos lineares são os únicos viabilizados.

Percebe-se nas colocações do primeiro e segundo parágrafo a

convergência nas vantagens e a suplementação nas desvantagens. O primeiro limita-se aos padrões intrínsecos do aço, relativos a suas propriedades, já o segundo expõe uma visão crítica de como o aço está relacionado com outras áreas além da construção, que é a da cadeia produtiva no geral, demonstrando situações que limitam o uso do aço apesar de suas vantagens intrínsecas.

Para integralizar, Fakury, Silva e Caldas (2016), complementam que em uma construção em aço é dispensado o uso de fôrmas e escoras, fazendo com que o canteiro de obras ocupe menor área, se organize melhor, e evite problemas com limpeza e entulhos. Também expõe que o aço é um dos materiais mais recicláveis do mundo pois pode ser reaproveitado, desmontando e montado noutro local.

Dessa forma, percebe-se que a intenção dos citados por último é a de expor um ponto de vista que afirma que o aço possui um viés sustentável, uma vez que é um material reciclável e reutilizável, além de indiretamente colaborar com a limpeza, economia de tempo e organização de uma obra no contexto geral, tornando a obra mais limpa e sustentável.

Então o aço, se utilizado da maneira correta, dentro de um projeto elaborado por um profissional habilitado, possui grandes vantagens de utilização, no qual o profissional deve estar ciente dos perfis comercializados na sua região e da disponibilidade de mão de obra capacitada para disponibilizar os serviços necessários para execução dessas estruturas.

2.3 Principais aspectos dos projetos em aço

Primeiramente, os projetos em estruturas metálicas possuem diretrizes fundamentais, que de acordo com Nogueira, et al. (2015), “os projetos modernos devem conjugar três aspectos fundamentais: Segurança, economia e durabilidade.”.

Também, segundo Sacchi e Souza (2017) “A vida útil de uma estrutura nasce no projeto e se consolida na execução, mas os conceitos do projeto devem chegar até a conclusão da execução”, ou seja, além dos aspectos fundamentais de projeto, a execução deve seguir todas as diretrizes do mesmo, a fim de garantir que será executado da melhor maneira e dentro dos parâmetros das normas da ABNT.

Então, tendo-se em mente o que é necessário para um projeto, parte-se para a definição de estrutura metálica, que segundo Pfeil e Pfeil (2009), são estruturas compostas a partir da associação de perfis metálicos, que podem ser ligados por conectores (parafusos e/ou rebites), ou por solda, ou seja, as estruturas são a união de perfis retilíneos metálicos associados por ligações dentro de uma concepção estrutural determinada pelo projetista.

Dessa maneira, limitando o campo de aplicação das estruturas de aço, Bellei (1998) afirma que as obras industriais em aço são compostas geralmente por um único pavimento térreo, que cobre grandes áreas e pode servir para variadas utilizações, sendo uma estrutura homogênea, como os galpões metálicos que foram o objeto de estudo deste trabalho.

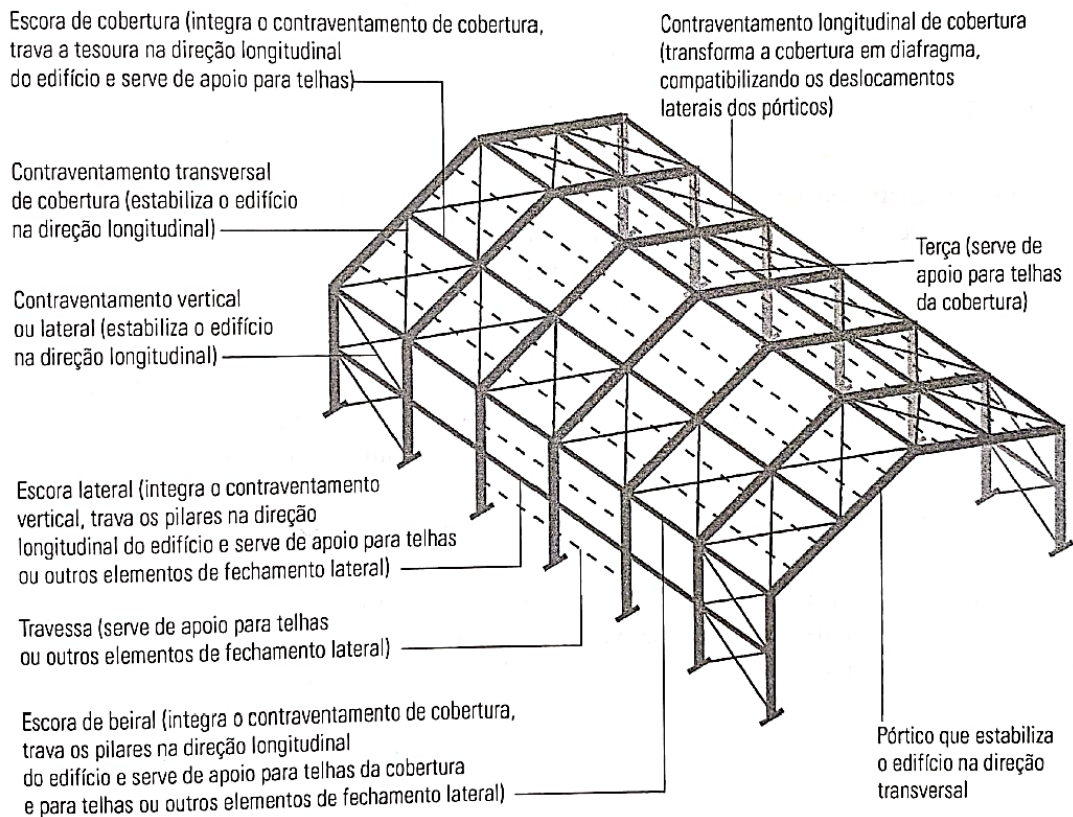
Além disso, nos projetos dos galpões metálicos leva-se em conta alguns fatores que são determinantes para a concepção estrutural, que segundo Bellei (1998) são: "...locação e dimensões dos equipamentos que serão abrigados; circulação; movimentação de cargas; iluminação e aeração; condições e tipo de terreno.", tendo esses elementos determinados e pré-locados, pode-se compor o layout do galpão e o projeto estrutural.

Conclui-se que para projetar uma estrutura em aço, deve-se ter em mente a premissa de seguir as especificidades e limitações deste sistema construtivo. O planejamento é muito importante, porque faz com que uma sequência lógica de projeto seja determinada e seguida até a execução, tornando a estrutura segura, com bom desempenho ao que é solicitado e que seja economicamente viável, sendo programada desde as etapas de projeto e planejamento.

2.4 Peças componentes dos galpões

Dando continuidade, limitando as estruturas metálicas aos galpões metálicos, percebe-se que ele possui diversos componentes com variadas utilidades. Os mesmos terão distintas funções de acordo com seu formato, tamanho e posição. São utilizados de acordo com a concepção estrutural adotada no projeto e estão descritos nos tópicos subsequentes. A Figura 2 a seguir demonstra algumas das principais peças componentes de um galpão.

Figura 2 - Demonstrativo de peças componentes de galpões com descrição

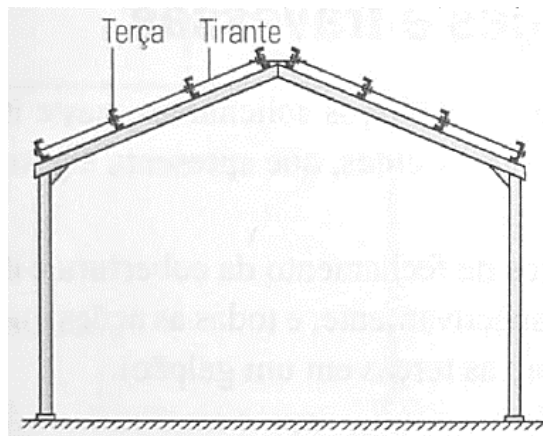


Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.4.2 Terças

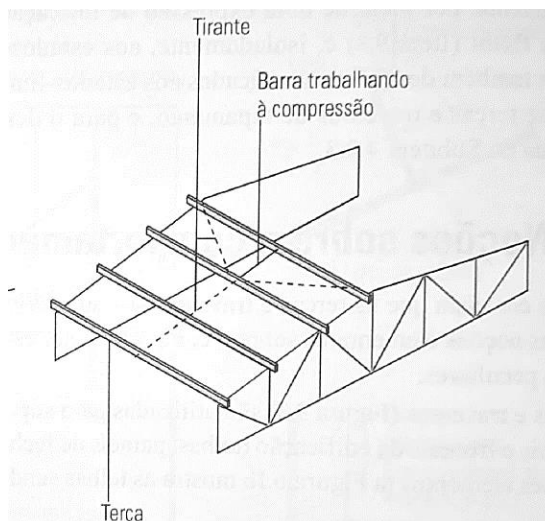
Segundo Pfeil e Pfeil (2009) as terças são vigas presentes nos planos de cobertura que transferem as cargas atuantes nas telhas à estrutura principal, o espaçamento entre elas será definido pelo vão das chapas que compõem o telhado (1,5 m a 4 m). Geralmente, as cargas atuantes são do peso próprio das telhas, peso de painéis solares e as sobrepressões e sucções causadas pelo vento. As cargas de vento geram a flexão reta em torno do eixo de maior inércia, enquanto as cargas gravitacionais, produzem a flexão oblíqua na terça. As Figuras 3 e 4 demonstram como são feitas as aplicações das terças no plano da cobertura.

Figura 3 - Visão das terças e tirantes em corte transversal



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Figura 4 - Terças com linhas de corrente e tirantes

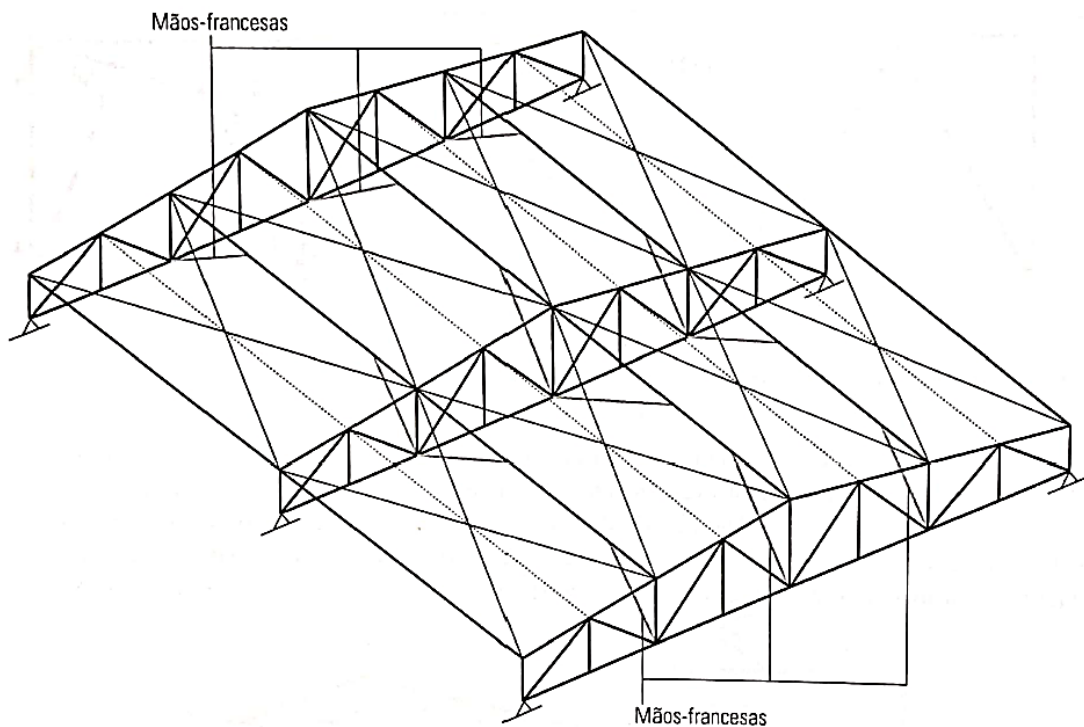


Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.4.3 Mão francesa

As mãos francesas, segundo Bellei (1998) são os elementos responsáveis por auxiliar na redução dos tamanhos dos vãos em vigas e terças e também auxiliam com o travamento extra que promovem na parte inferior de vigas ou de banzos inferiores de treliças, que pode ser visto na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Aplicação de Mãos-francesas nas terças

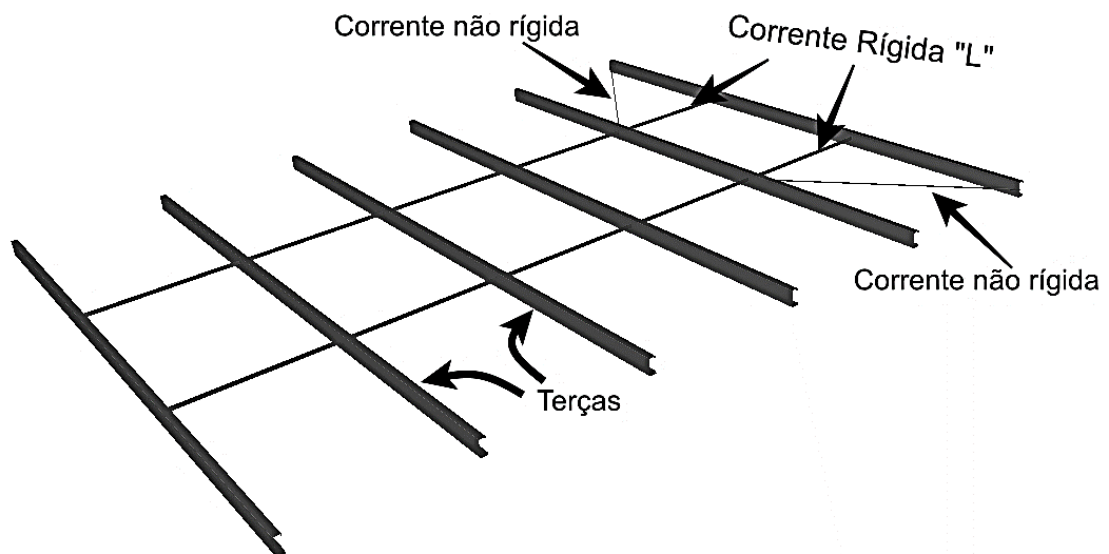


Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.4.4 Linhas de corrente ou correntes rígidas e tirantes

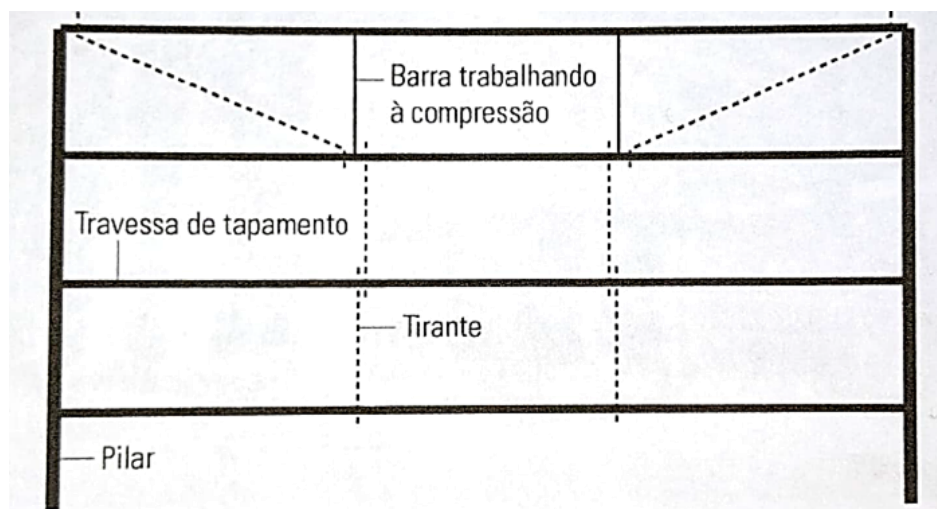
As linhas de corrente e os tirantes serão os elementos que atuarão em conjunto. Segundo Bellei (1998), essas barras devem ser colocadas entre os apoios das vigas (terças) com intuito de redução dos vãos e comprimentos de flambagem, recomendando a aplicação de uma linha de corrente até 6m de vão e duas ou mais para vãos a partir dos 6m. As Figuras 6 e 7 a seguir, demonstram as linhas de corrente e os tirantes em duas situações: na cobertura e no tapamento lateral.

Figura 6 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em coberturas



Fonte: Autoria Própria.

Figura 7 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em tapamento lateral



Fonte: Fakury, et al. (2016).

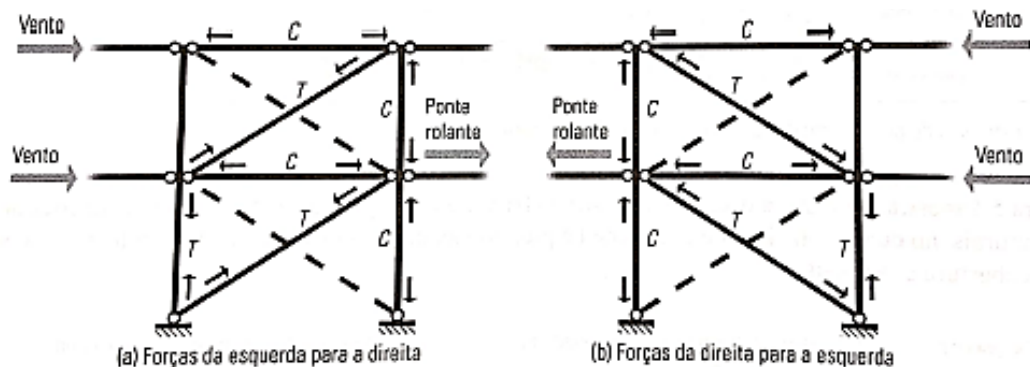
As correntes rígidas são formadas por cantoneiras ou barras redondas, enquanto os tirantes, são geralmente formados por barras redondas e/ou cabos de aço. O conjunto das correntes rígidas com os tirantes também compõem um sistema de distribuição das cargas atuantes nas terças para os pórticos do galpão.

2.4.5 Contraventamentos e vigas de travamento

Os contraventamentos são formados por barras associadas, geralmente em formato de “X” que compõem um sistema treliçado. Podem ser horizontais (nas coberturas) e verticais (nos pilares e vigas). São utilizados com intuito de fornecer estabilidade espacial a toda a estrutura, principalmente na fase de montagem, aumentando a rigidez do edifício, e contribuindo para a distribuição das cargas de vento (BELLEI, 1998).

Já as vigas servirão, juntamente com os contraventamentos, para fornecer um travamento extra para a estrutura e melhorar ainda mais a estabilidade espacial, reduzindo os comprimentos desmontados da estrutura e melhorando a resistência de elementos como os pilares à flambagem, por exemplo. A Figura 8 demonstra a distribuição das cargas de vento e de pontes rolantes pelos contraventamentos verticais e vigas de travamento até a fundação.

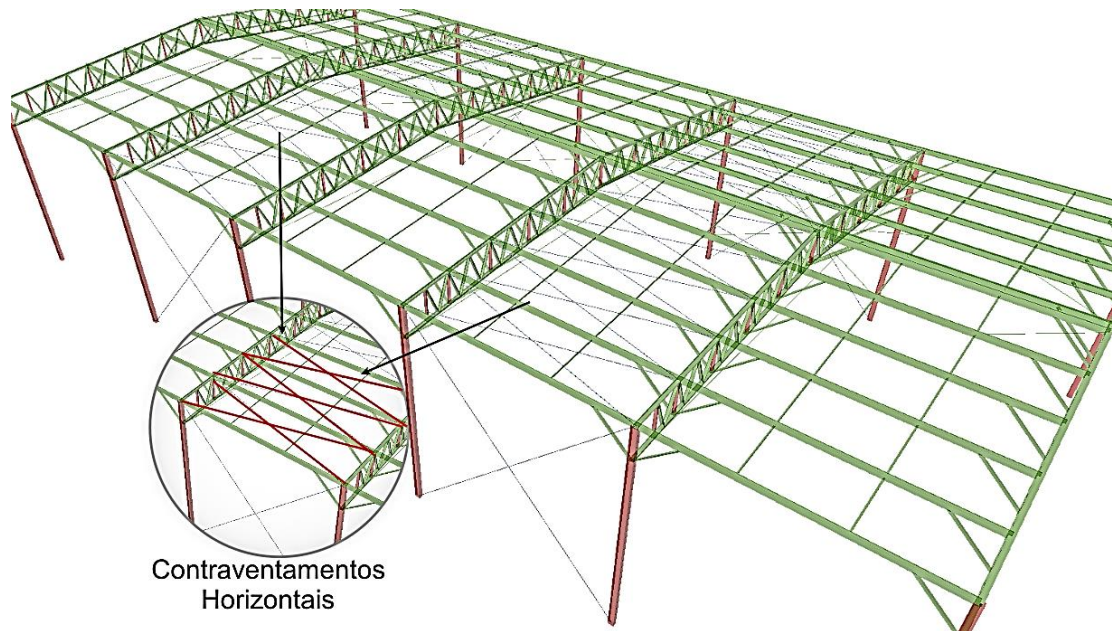
Figura 8 - Distribuição das cargas de vento pelos contraventamentos e vigas



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os contraventamentos promovem também melhorias na estabilidade lateral dos banzos superior e inferior da treliça a depender da concepção estrutural e o tipo de vento agindo na estrutura (sucção ou pressão). Comprimidos pela ação das cargas gravitacionais, os contraventamentos no plano horizontal servirão para redução dos comprimentos de flambagem aumentando a resistência à compressão dos banzos da treliça. A figura 9 demonstra um exemplo de contraventamento horizontal presente na cobertura de um galpão metálico.

Figura 9 - Contraventamentos horizontais em cobertura de galpão



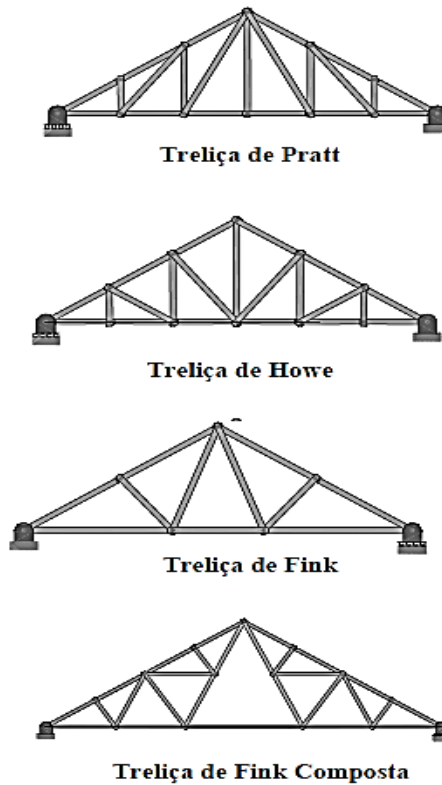
Fonte: Autoria Própria.

2.4.6 Trelças

As trelças são elementos compostos formados pelos banzos (superior e inferior), diagonais e montantes (verticais), Amorim (2018) recomenda que as estruturas sejam projetadas com diagonais em ângulos de 45° a 55° , o autor também complementa que trelças com alturas maiores consomem menos aço e tem flechas menores. O autor classifica os vãos até 30 metros como pequenos, vãos de 30 a 60 metros, médios, e maiores que 60 m são considerados grandes.

Analogamente, segundo Gomes (2016) as trelças são sistemas articulados planos compostos por conjunto de barras rígidas e esbeltas ligadas entre si por rótulas, que formam uma estrutura isostática. Os carregamentos se dão nos nós, e são redistribuídos para o sistema trelçado, fazendo com que esses suportem cargas mais elevadas que o peso próprio da trelça e vencendo, também, grandes vãos. A Figura 10 a seguir demonstra tipologias de trelça que são usuais na construção civil.

Figura 10 - Formatos de desenhos de treliça com nome de seu criador



Fonte: Gomes (2016).

Segundo a mesma autora, em situação ideal as barras de uma treliça estarão solicitadas apenas aos esforços normais de tração e compressão e por possuir elementos esbeltos acabam tendo pouca resistência às cargas laterais, fazendo com que o projetista tenha que adotar um sistema em que as cargas, sejam transmitidas aos nós por meio de aplicação direta neles ou de um sistema treliçado eficiente que redistribua as cargas distribuídas.

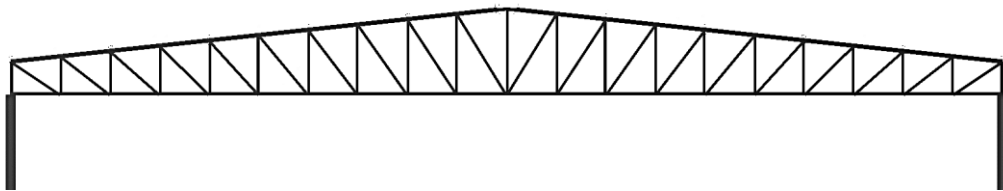
Os modelos de treliças mais usuais nas estruturas de galpão são as de duas águas, que segundo Silva (2010), suportam dois planos de telhado, com declividade igual ou de valores distintos, a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda que tenham inclinação mínima de 3% a fim de evitar empoçamentos.

Ainda no raciocínio do mesmo autor, a distância entre treliças será em torno de 4 a 8 metros a depender do espaçamento entre pilares que formam o galpão. As estruturas treliçadas possuem formatos diferentes e cada uma terá um comportamento diferente, o mesmo cita que as mais usuais em galpões são do tipo trapezoidal, triangular e especial e serão descritas nos tópicos subsequentes.

2.4.6.1 Trelças trapezoidais

Inicialmente, segundo Silva (2010), as trelças do tipo trapezoidal possuem uma conformação de tesoura mais alta se comparadas com as triangulares, resultando em esforços axiais menos elevados nos banzos. A ligação estrutural trelça-pilar pode ser articulada ou engastada, a depender do critério do projetista. A Figura 11 demonstra um exemplo de trelça trapezoidal.

Figura 11 - Trelça trapezoidal

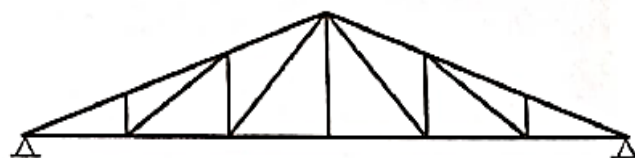


Fonte: Autoria Própria.

2.4.6.2 Trelças triangulares

Novamente, segundo de Silva (2010) as trelças do tipo triangular possuem conformação menor devido ao seu formato triangular, resultando em esforços mais elevados nos banzos próximos aos apoios e também em uma ligação apenas articulada entre trelça-pilar, na qual a trelça apoia-se nos pilares. A Figura 12 demonstra um exemplo de trelça triangular.

Figura 12 - Trelça Triangular



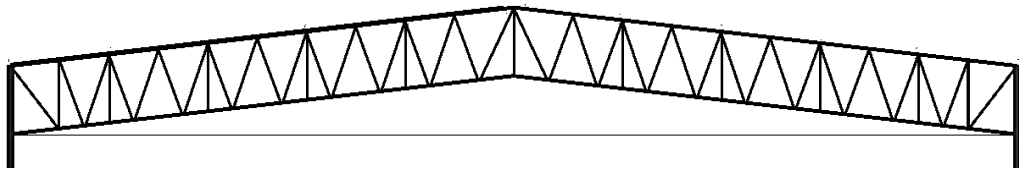
(a) Banzo inferior horizontal e superior inclinado

Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.4.6.3 Trelças especiais de banzos paralelos

Por fim, segundo Silva (2010) as treliças do tipo especial possuem conformação que atendem as necessidades de inclinações de coberturas mais íngremes, possuem a ligação treliça-pilar rígida, na qual a treliça é engastada no pilar, podendo ser implementada com uso de tirantes que trabalharão somente a tração. A Figura 13 demonstra um exemplo de treliça especial de banzos paralelos.

Figura 13 - Treliça especial de banzos paralelos com tirante

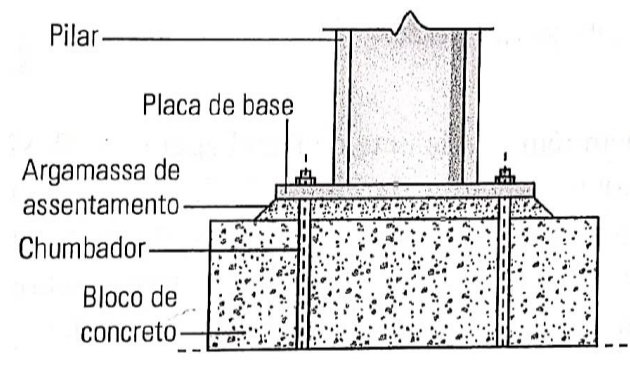


Fonte: Autoria Própria.

2.4.7 Colunas

As colunas ou pilares são os elementos da estrutura que tem como finalidade a transferência de cargas (verticais e horizontais) advindas de outras partes da estrutura para os elementos de fundação por meio dos chumbadores em placas de base. Podem estar sujeitas aos seguintes estados de tensão: compressão, compressão com flexão e tração com flexão, e contribuem para a estabilidade global da estrutura (BELLEI, 1998). A Figura 14 a seguir demonstra um pilar fixado pelos chumbadores com o uso de placa de base.

Figura 14 - Detalhe de pilar com ligação ao bloco de concreto por chumbadores



Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.5 Tipologias de galpões

Logo após determinar os componentes de um galpão industrial, faz-se necessário discorrer sobre como eles se unem para formar uma concepção estrutural, sendo adotadas as ligações soldadas ou parafusadas. Preza-se na análise dessas estruturas o maior aproveitamento dos perfis e o grau de complexidade dessas estruturas de acordo com o desenho estrutural e ligações adotadas.

Assim sendo, os vãos são importantes na hora de modelar o galpão, um maior espaçamento dos pórticos transversais contribuirá para um menor gasto com a estrutura, pois além de diminuir a taxa de aço, também corrobora para um número menor de fundações a serem executadas (ANUNCIAÇÃO *et al.*, 2020).

Levando em conta os quantitativos e o número de fundações, a determinação do modelo mais adequado a ser utilizado e executado, fica mais fácil de ser determinado quando se tem resultados de diferentes concepções estruturais.

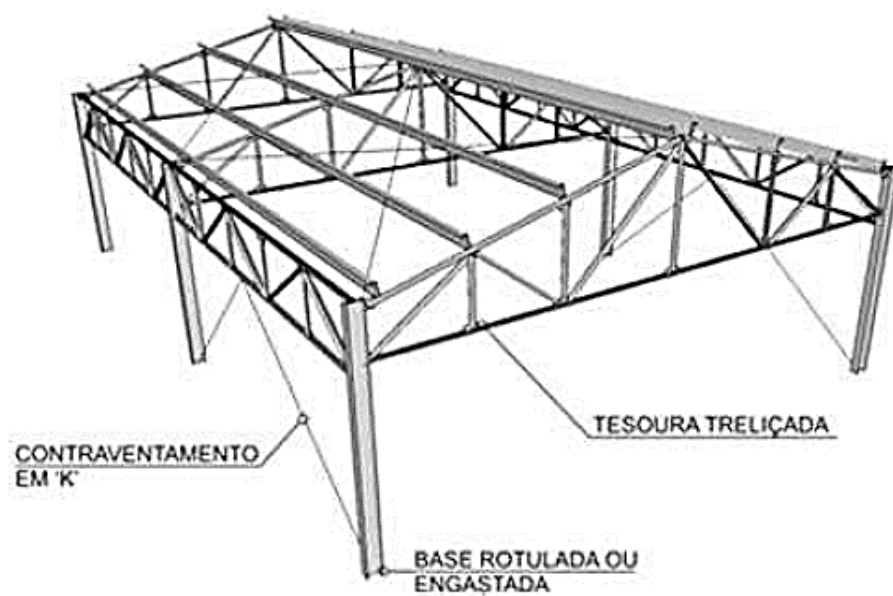
De acordo com Chamberlain, et al. (2013), os galpões industriais de uso geral são construções que tem como objetivo principal abrigar trabalhadores e maquinários e determinam algumas das concepções mais usuais que serão apresentadas a seguir nas Figuras 15 a 21.

Figura 15 - Edifício industrial com colunas e vigas em alma cheia



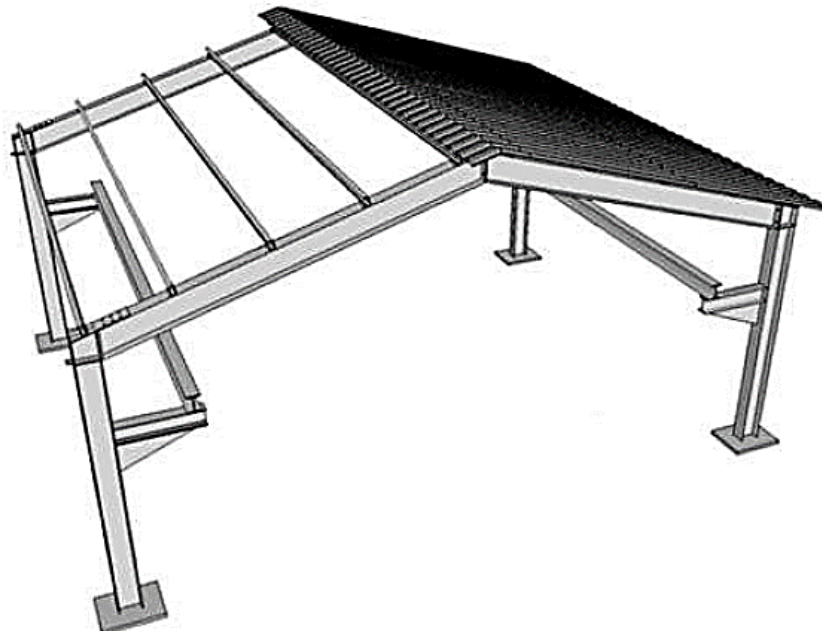
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 16 - Edifício com sistemas de cobertura treliçados



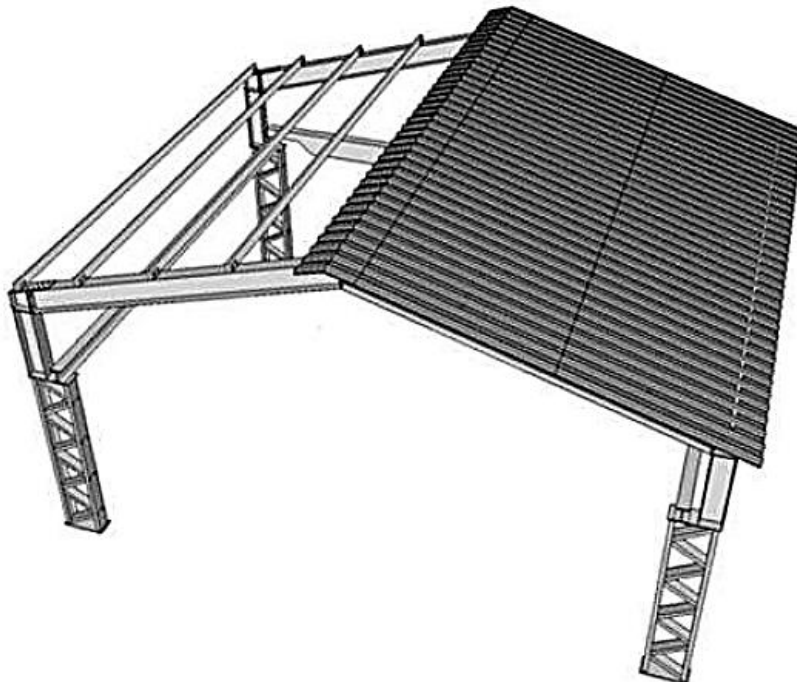
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 17 - Edifício industrial com coluna de alma cheia e viga de rolamento



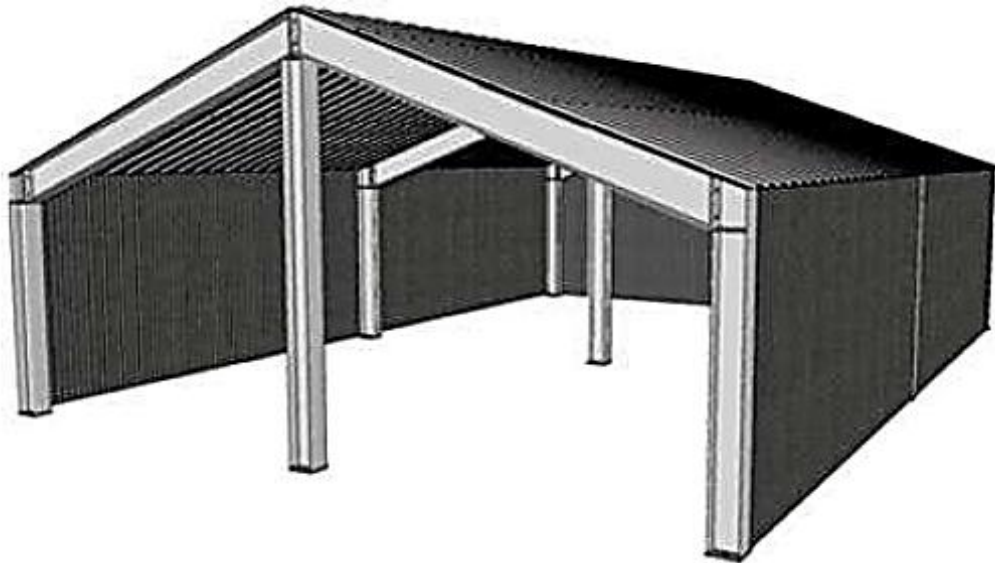
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 18 - Edifício com colunas treliçadas e vigas de rolamento



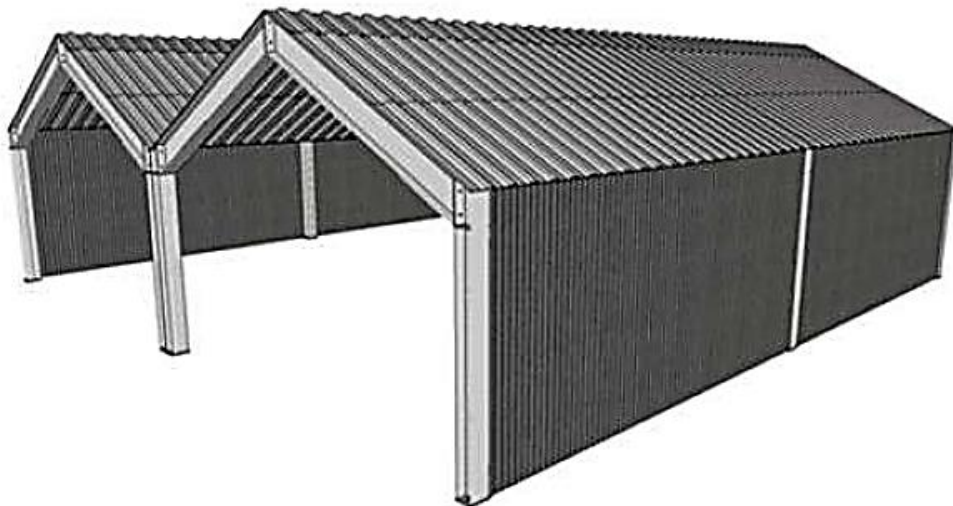
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 19 - Edifício industrial com duas águas, geminado



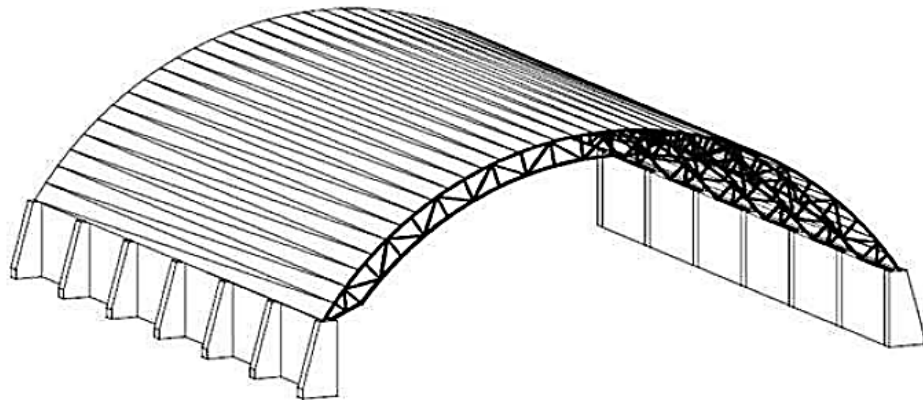
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 20 - Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado



Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

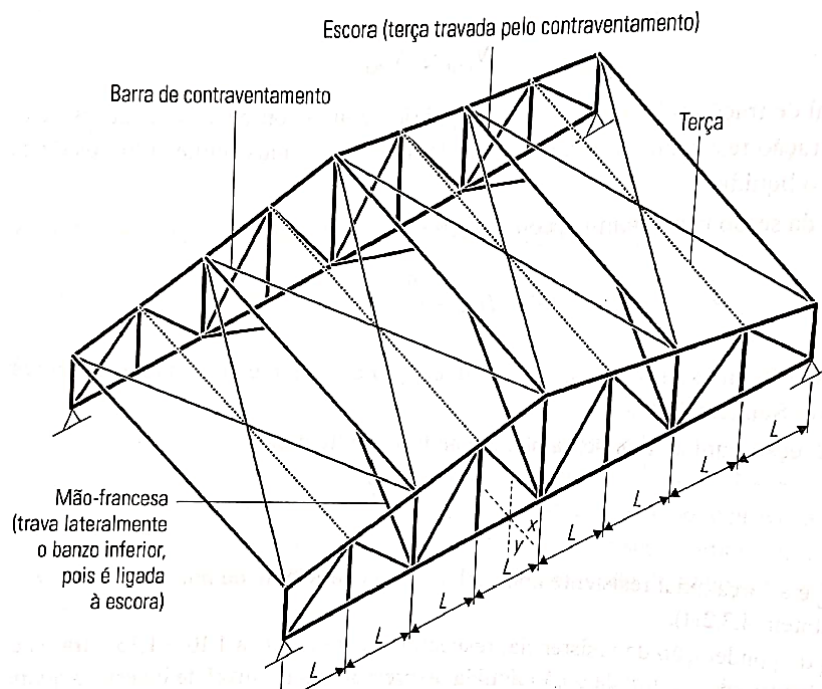
Figura 21 - Cobertura em arco treliçado



Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

A tipologia que foi analisada neste trabalho foi a de sistemas de coberturas treliçadas com perfis dobrados e formados a frio. Foram adotados vãos que prezaram pelo aproveitamento dos perfis e reduziram o número de fundações necessárias. A Figura 22 a seguir demonstra um exemplo de composição de concepção estrutural, adotada para as coberturas analisadas.

Figura 22 - Cobertura treliçada com elementos de travamento



Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.6 Perfis formados a frio

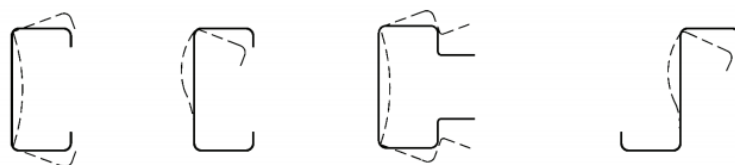
Os perfis formados a frio, que compuseram as coberturas dos galpões analisados, segundo a NBR 14762 (ABNT, 2010) são fabricados pelo dobramento, em prensas ou por matrizes rotativas, a partir de chapas ou bobinas laminadas a frio ou a quente, podendo ser revestidas ou não, onde o aço do perfil encontra-se em temperatura ambiente no momento da dobra.

No presente trabalho a chapa estrutural dos perfis utilizados foi a CF-30 (chapa fina laminada a quente) que está descrita na Tabela 01 da NBR 14762 (ABNT, 2010) que demonstra as chapas de aço para uso estrutural. A parte da padronização dos perfis utilizados foi feita partir da NBR 6355 (ABNT, 2012), que dispõe dos perfis formados a frio padronizados em medidas e espessura.

Com a finalidade de reduzir os custos sem perder qualidade e segurança, o uso de perfis formados a frio (PFF) torna-se notável em galpões, pois segundo Nogueira, et al. (2015) o uso dos PFF tem uma boa aceitação no mercado e nos últimos anos teve um grande crescimento em seu uso devido ao menor peso dos perfis, que torna a taxa de consumo de aço menos elevada.

Então, justificados pela maior disponibilidade e menor peso, o uso desses perfis é vantajoso, principalmente para elementos compostos, como as treliças. Porém, segundo Garcia, Batista e Franco (2017) esses perfis são esbeltos e possuem alguns comportamentos específicos que devem ser levados em conta. São eles: a flambagem das paredes esbeltas das seções transversais que acarretam em flambagens locais e distorcionais, além da flambagem global (por flexão, torção ou flexo torção) da barra. A Figura 23 demonstra exemplos de flambagem distorcional dos perfis dobrados formados a frio.

Figura 23 - Flambagem distorcional em perfis dobrados formados a frio



Fonte: NBR 14762 (ABNT, 2010).

2.7 Métodos de dimensionamento ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14762:2010

De acordo com as normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14762 (ABNT, 2010), o método de dimensionamento utilizado deve ser o método dos estados-limites, pois segundo Fakury, et al. (2016) este verifica a estrutura em várias situações, colocando proposições extremas que são determinadas pelos estados limite últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS), justificando o objetivo do projeto estrutural.

Segundo o mesmo autor, os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação das ações são dispostos de uma maneira em que são bem reduzidas as chances de ruína da estrutura, através de um tratamento probabilístico feito com base nos limites adotados nas normas técnicas.

Dessa forma, de acordo com as normas citadas, definem-se estados limites últimos como aqueles relacionados a ruína completa ou parcial da estrutura, relativos à falha dos materiais, grandes instabilidades de elementos ou conjunto de elementos, ou ainda movimentação excessiva de estruturas rígidas.

Já o estado limite de serviço relaciona-se com desempenho estrutural, sua ocorrência relaciona-se com a funcionalidade, conforto, aparência e funcionamento dos equipamentos, geralmente é determinado pela ocorrência de rachaduras e trincas em alvenarias, danos a esquadrias e acabamentos.

2.7.1 Ações

Ao se definir as ações, pode-se inferir que são todas as influências externas que uma edificação sofre e que gera, de maneira direta ou indireta, deformações, tensões dos mais variados tipos e promove também o deslocamento da estrutura, sendo de grande importância no dimensionamento (FAKURY, et al. 2016). As ações situam-se em 3 grupos de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004), sendo elas: ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

Ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante a vida útil da construção, sendo diretas e indiretas. As diretas

são relativas aos pesos próprios e empuxos de terra, ambos permanentes e as indiretas aos deslocamentos de apoios e imperfeições geométricas. Os valores característicos de peso próprio devem estar de acordo com a norma NBR 6120 (ABNT, 2019).

Ações variáveis são as que ocorrem com valores não constantes durante a vida útil da construção, causadas pelo uso e ocupação da edificação, que podem ser ações de sobrecarga em pisos e coberturas, pesos de equipamentos, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, por ação de vento e variação de temperatura.

Ações variáveis de uso e ocupação estão presentes na NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 8800 (ABNT, 2008), já os esforços causados pela ação de vento nas estruturas são determinados pelos procedimentos de cálculo da NBR 6123 (ABNT, 1988).

Por último, as ações excepcionais são as que ocorrem com duração extremamente curta e que tem pequena probabilidade de ocorrer durante a vida útil da construção, são aquelas causadas por explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos. Podem ou não ser calculadas de acordo com as normas a depender da efetividade dos mecanismos de controle da própria estrutura.

2.7.1.1 Cálculo de ações de vento

A ação do vento na estrutura pode causar efeitos de pressão externa de sobrepressão e sucção. Na primeira as cargas de vento são somadas as cargas gravitacionais, pois possuem o mesmo sentido, já na sucção, segundo Fakury, et al. (2016), o vento supera as cargas do peso próprio (gravitacionais), tem sentido contrário e pode causar arrancamento das telhas e até colapso da estrutura.

Acresce que, além de pressão externa, o vento pode causar também pressão interna, que irá depender das dimensões das aberturas na construção. É considerada na sua maioria como uniforme em toda a superfície de dentro do galpão e pode também ser de sobrepressão ou sucção (FAKURY, et al., 2016).

Portanto, a ação do vento é caracterizada como uma ação variável que é calculada pela NBR 6123 (ABNT, 1988). Para a definição desta ação deve-se determinar a velocidade característica do vento para conseguir determinar a pressão

dinâmica através das fórmulas presentes nas Equações 1 e 2.

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

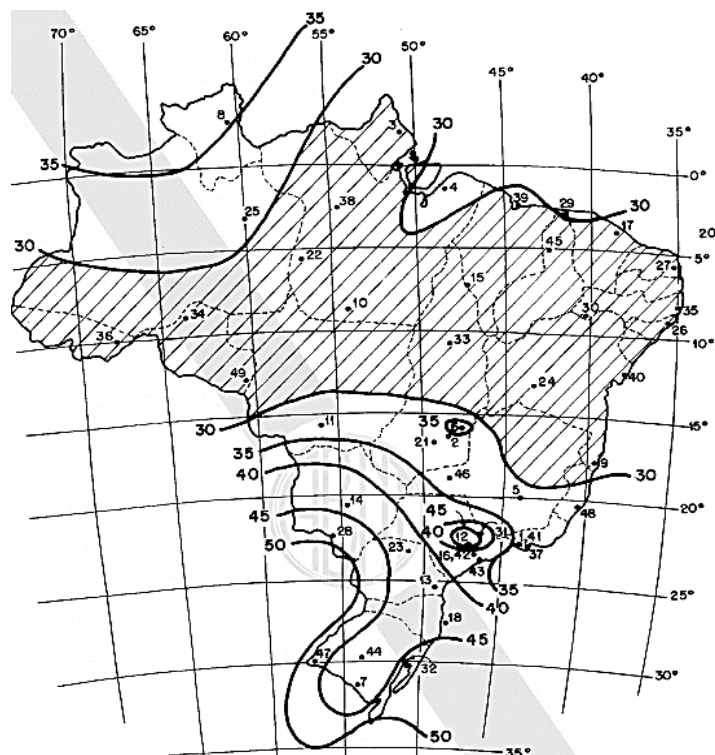
$$q = 0,613 v_k^2 \quad (2)$$

Na equação 1 a velocidade característica do vento é dada por V_k , a velocidade básica do vento é dada por V_0 , e os fatores S_1 , S_2 e S_3 são os fatores que correspondem respectivamente a: topografia do terreno; rugosidade do terreno com as dimensões da edificação e o último um fator estatístico.

A equação 2 terá como resultado a pressão dinâmica do vento (q), que é obtida pelo quadrado da velocidade característica (V_k).

Inicialmente, deve-se determinar a velocidade básica do vento (V_0), que é a velocidade de uma rajada de 3 segundos de duração, a 10 metros de altura, em campo aberto e plano, sendo excedida em média uma vez dentro de um intervalo de 50 anos. Dessa forma, a velocidade básica dependerá da localidade no país, sendo determinado pelas isopletas que serão apresentadas na Figura 24 a seguir.

Figura 24 - Mapa das velocidades básicas de vento limitados por isopletas

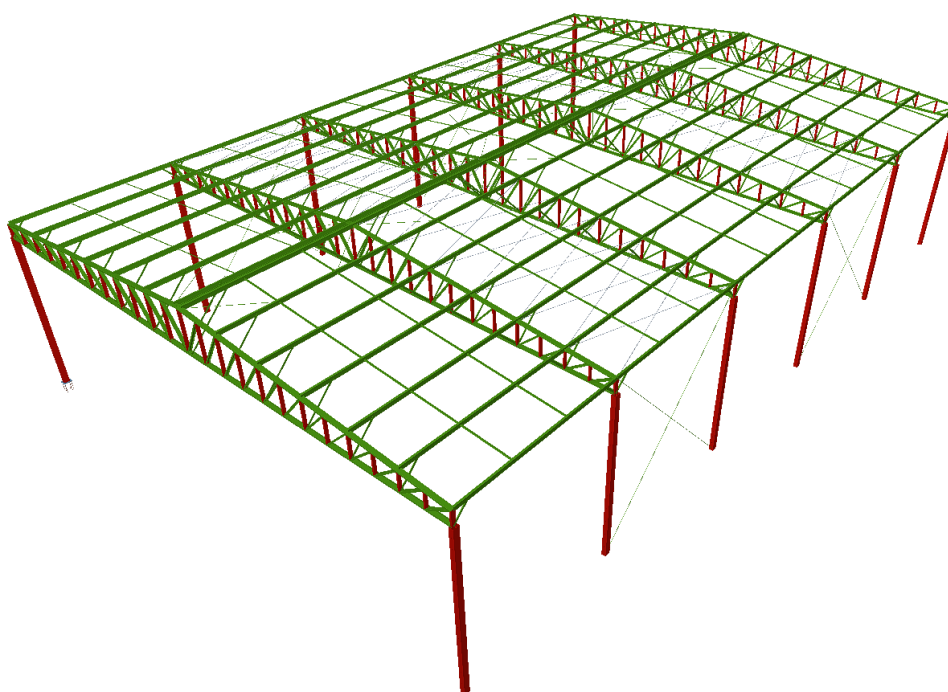


Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988).

Então, no trabalho foi adotado a velocidade básica de 30m/s, pois remete-se a região na qual o trabalho foi produzido (Tocantins). O fator S1 (topografia), S2 (rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno) e S3 (estatístico) devem ser determinados a depender das características do local do terreno, da edificação e dos riscos probabilísticos, fatores que serão determinados e calculados com o uso do programa computacional *Ciclone* do departamento de Engenharia de Estruturas de São Carlos – USP, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988).

Para as coberturas de galpões dimensionadas, não foi adotado o uso de fechamentos laterais, ou seja, foram modeladas apenas com os elementos de coberturas e os pilares, demonstrados na Figura 25 a seguir.

Figura 25 – Galpão sem elementos de fechamento lateral



Fonte: Autoria Própria.

2.7.2 Combinações

As combinações das ações definem os carregamentos a serem utilizados no dimensionamento, levando em conta ações que têm maior probabilidade de agir

simultaneamente sobre a estrutura por um determinado período de tempo, segundo Bellei (1998), nos galpões, há momentos em que as cargas atuam isoladamente e momentos em que atuam combinadas.

As normas utilizadas neste trabalho definem as seguintes combinações de ações para verificação de estados limites últimos: combinação normal, combinação de construção, combinação especial e excepcional. Já para os estados limites de serviço: quase permanentes, frequentes e raras, relacionadas ao tempo de permanência na estrutura.

Inicialmente, combinações últimas normais decorrem dos carregamentos de uso previsto para a edificação, já as combinações últimas construtivas decorrem dos possíveis carregamentos durante a construção ou montagem de uma estrutura, nas quais ambas têm como combinação a Equação 3.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (3)$$

Onde:

F_d é a combinação última;

$F_{Gi,k}$ é a ação permanente característica;

$F_{Q1,k}$ é a ação variável principal característica;

$F_{Qj,k}$ são as ações variáveis secundárias características;

γ_g é o coeficiente de majoração de ações permanentes;

γ_q são os coeficientes de majoração de ações variáveis.

ψ_{0j} é o fator de combinação.

Além disso, combinações últimas especiais decorrem da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especial que tem pequena duração e são transitórios, cujos efeitos superam os efeitos produzidos pelas ações consideradas nas combinações normais descritos pelas Equação 3. O $\psi_{0j,ef}$ será o elemento alterado da equação 3 para compor a Equação 4 e representa os fatores de combinação efetivos.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (4)$$

Acresce-se que, combinações últimas excepcionais decorrem da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. O carregamento excepcional é transitório e descrito por $F_{Q,exc}$, considerado de duração extremamente curta e é descrito na Equação 5.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (5)$$

Por outro lado, adentrando as combinações de serviço (F_{ser}), as quase permanentes são aquelas que podem atuar durante grande parte da vida útil da estrutura, da ordem de metade (50%) desse período. Essas combinações são utilizadas para os efeitos de longa duração para a aparência da construção onde as ações variáveis são consideradas quase permanentes em $\psi_{2j} F_{Qj,k}$, no qual ψ_{2j} é o fator de redução contido na Equação 6.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (6)$$

Ademais, combinações frequentes de serviço são aquelas que se repetem muitas vezes durante a vida útil da estrutura, da ordem de 105 vezes em 50 anos, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezável desse período, da ordem de 5%. São utilizadas para os estados limites que são reversíveis. Também se relacionam com vibrações excessivas, movimentos laterais excessivos que comprometam a vedação, empoçamentos em coberturas e aberturas de fissuras. É descrita pela Equação 7 onde a primeira ação variável é tomada como frequente descrita por: $\psi_1 F_{Q1,k}$, sendo ψ_1 um fator de redução.

$$F_{\text{ser}} = \sum_{i=1}^m F_{G_{i,k}} + \psi_1 F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Q_{j,k}}) \quad (7)$$

Por último, combinações raras são aquelas que podem atuar algumas horas durante a vida útil da estrutura. Essas combinações são utilizadas para os estados limites irreversíveis, que causam danos permanentes a construção como um todo, tais como formação de fissuras e danos aos fechamentos. A ação variável principal possui valor característico $F_{Q_{1,k}}$ e as demais são frequentes $\psi_{1j} F_{Q_{j,k}}$ e estão contidas na Equação 8.

$$F_{\text{ser}} = \sum_{i=1}^m F_{G_{i,k}} + F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} F_{Q_{j,k}}) \quad (8)$$

Os fatores de combinação e redução para ações variáveis (ψ) juntamente com os coeficientes de majoração de cargas permanentes e variáveis (γ) estão contidos nas normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14672 (ABNT, 2010) e serão descritos nas Figuras 26, 27 e 28 a seguir.

Figura 26 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações permanentes

Combinações	Ações permanentes (γ) ^{a c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

Figura 27 -Valores dos coeficientes de ponderação para ações variáveis

	Ações variáveis (%) ^{a d}			
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50

	Ações variáveis (%) ^{a d}			
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

^b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

^c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

^d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

^e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a esse valor-limite.

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

Figura 28 – Valores dos fatores de combinação e redução

Ações		γ_2^a		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2^d
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	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 ^b	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 ^c	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
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

^a Ver alínea c) de 6.5.3.

^b Edificações residenciais de acesso restrito.

^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.

^d Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

2.8 Dimensionamento da estrutura de cobertura

Com o propósito de dimensionar estruturas de cobertura de galpões metálicos com a utilização de perfis formados a frio, a norma que estabeleceu os requisitos básicos foi a norma: NBR 14672 (ABNT, 2010), que foi elaborada com concordância à norma NBR 8800 (ABNT, 2008). Portanto a utilização das duas normas se faz necessária no dimensionamento desse tipo de estrutura metálica. A seguir está descrita a parte do dimensionamento de estruturas metálicas segundo a NBR 14672 (ABNT, 2010) para perfis formados a frio.

2.8.1 Barras tracionadas

Segundo as diretrizes da norma NBR 14672 (ABNT, 2010), o dimensionamento de barras sujeitas à tração deve atender a condição dada pela Equação 9 a seguir:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (9)$$

Na qual $N_{t,Sd}$ representa a força axial de tração solicitante de cálculo e $N_{t,Rd}$ a força axial de tração resistente de cálculo.

O valor resistente de cálculo será obtido pelo menor valor dado pelas Equações 10, 11 e 12, que se remetem, respectivamente, ao escoamento de seção bruta, ruptura de seção líquida fora da região de ligação e ruptura da seção líquida na região de ligação, todas remetentes ao estado limite último.

$$N_{t,Rd} = Af_y/\gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (10)$$

$$N_{t,Rd} = A_{n0}f_u/\gamma \quad (\gamma = 1,35) \quad (11)$$

$$N_{t,Rd} = C_t A_n f_u / \gamma \quad (\gamma = 1,65) \quad (12)$$

Nas quais o “A” é a área bruta de seção transversal da barra; A_{n0} é a área

líquida da seção transversal da barra fora da região de ligação; A_n é a área líquida da seção transversal da barra na região de ligação; f_y é a resistência ao escoamento do aço; f_u é a resistência a ruptura do aço e o C_t remete-se ao coeficiente de redução da área líquida. Já o coeficiente γ é determinado como coeficiente de ponderação das resistências, seu valor é dado de acordo com o tipo de resistência analisado.

Em relação ao índice de esbeltez na tração (L/r), a norma recomenda que não ultrapasse o valor de 300, onde “L” é o comprimento destravado e “r” é o raio de giração da peça.

2.8.2 Barras comprimidas

Prosseguindo com o dimensionamento, a norma NBR 14672 (ABNT, 2010) define que as barras submetidas a compressão devem atender a condição dada pela Equação 13 a seguir:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (13)$$

Sendo $N_{c,Sd}$ a força axial de compressão solicitante de cálculo e $N_{c,Rd}$ a força axial de compressão resistente de cálculo resultante do menor valor entre a força obtida pela análise de Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção e também pela análise de flambagem distorcional.

2.8.2.1 Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção

Nesta situação, a força axial de compressão resistente de cálculo ($N_{c,Rd}$) deve ser calculada conforme está descrito na Equação 14 determinada na norma NBR 14672 (ABNT, 2010).

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20) \quad (14)$$

O termo A_{ef} refere-se a área efetiva da seção transversal da barra, já o χ se refere ao fator de redução da força axial de compressão resistente, o qual tem sua magnitude dependente ao índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global (λ_0) da barra escolhida, que está presente nas Equações 15 e 16 a seguir.

$$\text{Para: } \lambda_0 \leq 1,5 \quad , \text{adota-se: } 0,658^{\lambda_0^2} \quad (15)$$

, ou

$$\lambda_0 > 1,5 \quad , \text{adota-se: } \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{Af_y}{Ne} \right)^{0,5} \quad (16)$$

O valor de Ne corresponde à força axial de flambagem global elástica que depende do tipo de perfil adotado, relativos à simetria do perfil, podendo ser: perfis com dupla simetria ou simétricos em relação a um ponto, perfis monossimétricos e perfis assimétricos.

2.8.2.2 Flambagem distorcional

Como foi citado anteriormente, os perfis formados a frio que possuem sua seção aberta estão suscetíveis a flambagem distorcional, que também é disposto na norma NBR 14672 (ABNT, 2010) e se apresenta na Equação 17 a seguir.

$$N_{c,Rd} = \chi_{dist} Af_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20) \quad (17)$$

O χ_{dist} é o fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional, que é calculado de acordo com a Equação 18, onde temos também um λ_{dist} que se remete ao índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional que é calculado pela Equação 19.

$$\text{Para: } \lambda_{dist} \leq 0,561, \text{ adota-se: } 1 \quad (18)$$

, ou

$$\lambda_{dist} > 0,561, \text{ adota-se: } \left(1 - \left(\frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right)\right) \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{Afy}{N_{dist}}\right)^{0,5} \quad (19)$$

O termo N_{dist} é a força axial de flambagem distorcional elástica, a qual deve ser calculada com base na análise de estabilidade elástica.

Por fim, o índice de esbeltez L/r das barras comprimidas não deve exceder o valor de 200.

2.8.3 Barras submetidas à flexão

Ainda no dimensionamento, a norma NBR 14672 (ABNT, 2010) define que as barras submetidas aos esforços de flexão devem atender as condições dadas pelas Equações 20 e 21 a seguir, as quais remetem-se, respectivamente, ao momento fletor solicitante de cálculo (MSd) e ao esforço cortante solicitante de cálculo (VSd), que são esforços que causam a flexão, mas tem diferentes formas de agir na estrutura e proporcionam diferentes tipos de falhas na estrutura.

$$MSd \leq MRd \quad (20)$$

$$VSd \leq VRd \quad (21)$$

Ao analisar a Equação 20 o MRd (momento fletor resistente de cálculo), deve ser adotado o menor valor entre os obtidos pelas análises situadas na norma de: início do escoamento da seção efetiva, flambagem lateral com torção e flambagem distorcional. Já na Equação 21 o VRd (esforço cortante resistente de cálculo) foi obtido conforme geometria e propriedades do material adotado.

2.8.3.1 Início de escoamento da seção efetiva

O " MRd " que descreve o início do escoamento da seção efetiva é obtido a partir da Equação 22.

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (22)$$

O W_{ef} (módulo de resistência elástico da seção efetiva relativo à fibra extrema que escoar) é obtido pelas Equações 23 e 24 a seguir, onde opta-se pelo método da seção efetiva (MSE).

$$\text{Se: } \lambda_p \leq 0,673 \text{ , adota-se: } W_{ef} = W \quad (23)$$

$$\text{, ou}$$

$$\lambda_p > 0,673 \text{ , adota-se: } W_{ef} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{W f_y}{M_l} \right)^{0,5} \quad (24)$$

O " W " é o módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento e pode ser obtido pelos manuais dos fabricantes de perfis. O " M_l " é o momento fletor de flambagem local elástica e é obtido através de análise da estabilidade elástica.

2.8.3.2 Flambagem lateral com torção

O " MRd " que descreve a flambagem lateral com torção é obtido a partir da Equação (25).

$$M_{Rd} = \chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (25)$$

O " $W_{c,ef}$ " (módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra

extrema comprimida), também pode ser obtido a partir do método da seção efetiva (MSE) da Equação 26 que depende do índice de esbeltez reduzido (Equação 27). O “ χ_{FLT} ” será um fator de redução do momento fletor resistente de cálculo que depende do índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global por flexão (λ_{0f}) do perfil, estes podem ser obtidos pelas Equações 28 e 29.

$$\text{Se: } \lambda_p \leq 0,673 \text{ , adota-se: } W_{c,ef} = W_c \quad (26)$$

, ou

$$\lambda_p > 0,673 \text{ , adota-se: } W_{c,ef} = W_c \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{\chi_{FLT} W_c \cdot f_y}{M_l} \right)^{0,5} \quad (27)$$

$$\text{Para o } \chi_{FLT} : \lambda_0 \leq 0,6 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = 1,0 \quad (28)$$

, ou

$$0,6 < \lambda_0 < 1,336 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = 1,11 (1 - 0,278 \lambda_0^2)$$

, ou

$$\lambda_0 \geq 1,336 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c f_y}{M_e} \right)^{0,5} \quad (29)$$

O “ W_c ” é o módulo de resistência elástico da seção bruta em relação a fibra da extremidade comprimida e “ M_e ” é o momento fletor de flambagem lateral com torção no regime elástico.

2.8.3.3 Flambagem distorcional

As barras com seção transversal abertas sujeitas à flambagem distorcional, o “ MR_d ” que descreve a flambagem distorcional é obtido a partir da Equação 30.

$$M_{Rd} = \chi_{dist} \cdot w f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (30)$$

O “ χ_{dist} ” na Equação 30 é o fator de redução do momento fletor resistente associado à flambagem distorcional e este é obtido pela Equação 31 que tem o índice de esbeltez reduzido referente a flambagem distorcional (λ_{dist}) obtido pela Equação 32.

$$\text{Se: } \lambda_{dist} \leq 0,673, \text{ adota-se: } \chi_{dist} = 1 \quad (31)$$

, ou

$$\lambda_{dist} > 0,673, \text{ adota-se: } \chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}},$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{w f_y}{M_{dist}}\right)^{0,5} \quad (32)$$

O “ M_{dist} ” na Equação 32 é o momento fletor de flambagem distorcional elástica, que deve ser calculado com base na análise de estabilidade elástica.

2.8.4 Esforço cortante

Depois de analisar o momento fletor sob à flexão deve-se verificar também os esforços de cisalhamento presentes no perfil. O esforço cortante resistente de cálculo (V_{Rd}) é demonstrado na Equação 33, deve-se comparar com o esforço solicitante de cálculo (V_{Sd}) em combinação com os momentos fletores resistentes e solicitantes (M_{Rd} e M_{Sd}) conforme a Equação 34 (para perfis sem enrijecedores de borda) ou a Equação 35 (para perfis enrijecidos) é de grande importância para que se tenha a segurança garantida.

$$\text{para: } h/t \leq 1,08(Ek_v/f_y)^{0,5}, \text{ adota-se:} \quad (33)$$

$$V_{Rd} = 0,6f_y h t / \gamma \quad (\gamma = 1,10), \text{ ou}$$

$$\text{para: } 1,08(Ek_v/f_y)^{0,5} < h/t \leq 1,4(Ek_v/f_y)^{0,5}, \text{ adota-se:}$$

$$V_{Rd} = 0,65t^2(k_v f_y E)^{0,5} / \gamma \quad (\gamma = 1,10), \text{ ou}$$

para: $h/t > 1,4(Ek_v / f_y)^{0,5}$, **adota-se**:

$$V_{Rd} = [0,905Ek_v t^3 / h] / \gamma \quad (\gamma = 1,10)$$

Os termos t , h , E e k_v são respectivamente: a espessura da alma, a altura da alma, o módulo de elasticidade (Young) e o coeficiente de flambagem local, todos estes referentes ao perfil escolhido e o material do mesmo.

$$\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (34)$$

$$0,6 \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^1 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^1 \leq 1,3 \quad (35)$$

Relembrando que a Equação 34 servirá para perfis sem enrijecedores, já a equação 35 deve ser utilizada apenas quando houverem enrijecedores e atender a proporção de: $\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} > 0,5$ e $\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} > 0,7$.

2.8.5 Deslocamentos

Segundo a NBR 14672 (ABNT, 2010), o cálculo de deslocamentos deve considerar a redução da rigidez associada à flambagem local através do momento de inércia efetivo da seção (I_{ef}). Optando-se pelo método da seção efetiva (MSE), a Equação 36 descreve-o, na qual a mesma depende do momento de inércia da seção bruta (I_g) e do índice de esbeltez reduzido do elemento (λ_{pd}) obtido na Equação 37, sendo M_n o momento fletor solicitante de cálculo considerando as combinações de ações para os estados limites de serviço.

$$\text{Se: } \lambda_{pd} \leq 0,673 \quad , \text{ adota-se: } I_{ef} = I_g \quad (36)$$

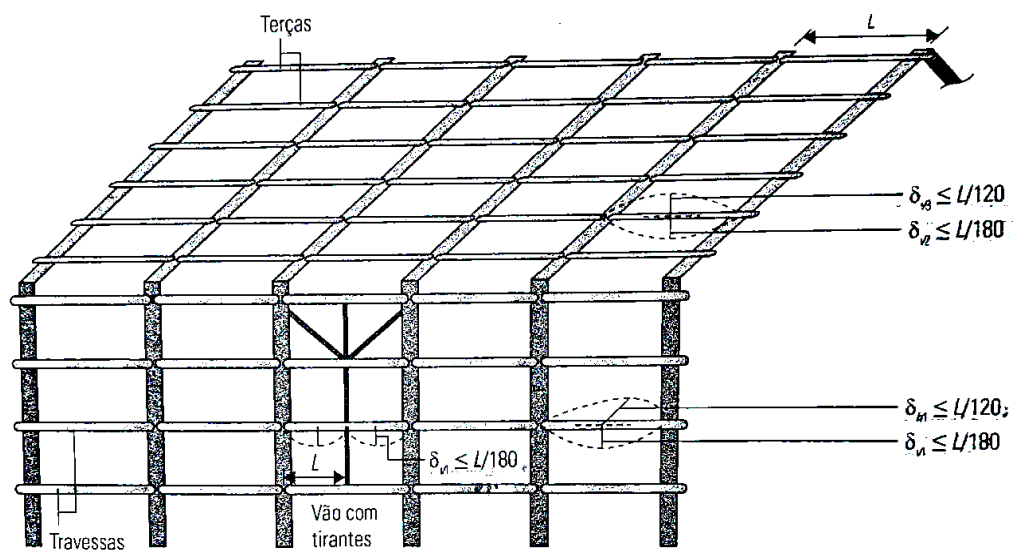
, ou

$$\lambda_{pd} > 0,673 \quad , \text{ adota-se: } I_{ef} = I_g \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{pd}}\right) \frac{1}{\lambda_{pd}}$$

$$\lambda_{pd} = \left(\frac{M_n}{M_l} \right)^{0,5} \quad (37)$$

Então, deve-se verificar se as barras utilizadas não ultrapassam os deslocamentos máximos permitidos demonstradas na Figura 29 como exemplo.

Figura 29 - Deslocamentos máximos em terças e travessas de fechamento



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Por fim, para complementar, o anexo A da norma NBR 14762 (ABNT, 2010), demonstra os máximos deslocamentos permitidos para cada componente da estrutura, estes valores são demonstrados na Figura 30.

Figura 30 - Anexo A da NBR 14672– Tabela A.1–Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L / 180^b$
	$L / 120^{c,d}$
Terças de cobertura ^g	$L / 180^e$
	$L / 120^f$
Vigas de cobertura ^g	$L / 250^h$
Vigas de piso	$L / 350^h$
Vigas que suportam pilares	$L / 500^{h)}$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	$H / 300$
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H / 400^i$
— Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H / 400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H / 500^j$
^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar). ^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam). ^c Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento. ^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico. ^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente. ^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico. ^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade. ^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm. ⁱ O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm. ^j Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

2.9 Orçamento

Após o dimensionamento, para gerar a comparação entre os modelos, se fez necessária a avaliação da viabilidade econômica das concepções estruturais estudadas, segundo Paludo, Brum e Ramires (2021), nos orçamentos de estruturas de aço a variável peso acompanha todas as composições de custo, ou seja, está relacionada com todas as etapas do processo construtivo de estruturas metálicas, ligam-se ao peso da estrutura: custos de insumos, custos de projeto, custos de

produção e de serviços de fabricação e montagem.

Segundo os mesmos autores, modificando variáveis como o vão livre, tem-se mais modelos de concepções a serem analisadas, auxiliando economicamente nas tomadas de decisão, uma vez que se tem parâmetros dos consumos de aço por produto. Com isso identifica-se com qual dos produtos deve se ter um olhar mais crítico acerca do consumo de aço para aprimorar o orçamento.

Dessa maneira, o orçamento engloba diretamente as modificações feitas no projeto e na concepção estrutural adotada, tendo o peso como a variável de comparação predominante.

Ratificando o raciocínio Nogueira, et al. (2015) afirmam que a variável mais utilizada para tomada de decisão inicial na comparação entre as tipologias de galpões de uso geral é a taxa de consumo de aço.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se no cumprimento do segundo objetivo específico que foi o de pré-determinar e dimensionar diferentes concepções estruturais de coberturas de galpões, então, foi feita uma pesquisa de finalidade aplicada, pois contou com a prática do dimensionamento de estruturas metálicas. Segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010) as pesquisas aplicadas servem para produção de teses a partir das análises e direcionamento para possíveis soluções ao problema estudado.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório pois, segundo Rodrigues et. al, (2011) nas pesquisas desse tipo busca-se agregar mais conhecimento sobre determinada temática. Além disso, teve-se como objetivo descrever os resultados do dimensionamento das concepções estruturais, com relações entre os elementos analisados, caracterizando a pesquisa, segundo o mesmo autor, também como de caráter descritivo.

Dessa maneira, elaboradas as diretrizes bibliográficas, tornou-se possível a confecção do estudo de caso, que segundo Pereira et. al, (2018), trata-se de uma metodologia de análise de casos individualizados ou um conjunto deles, que servirão para compor estudos exploratórios, analíticos ou descritivos, para a investigação.

Logo, no contexto do trabalho, o método hipotético-dedutivo esteve presente para compor as respostas da hipótese levantada, ligando-se diretamente com o teste da hipótese. A abordagem foi feita por meio da análise quantitativa-qualitativa, pois além da análise dos dados (quantitativa) para o aço, foi feita uma análise crítica acerca da comparação dos elementos que compõem a estrutura e os componentes que ela necessitou para manter-se estável. (RODRIGUES et. al, 2011).

O programa computacional escolhido para realizar o cálculo e o dimensionamento dos galpões foi o Cype 3D (CYPE Ingenieros, 2017). O programa calculou a estrutura para as combinações últimas e de serviço e, então, verificou as peças tanto para o Estado Limite Último quanto para o Estado Limite de Serviço, sendo preenchido com os respectivos dados de entrada conforme as diretrizes das normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008).

Em relação ao cálculo das cargas de vento, estas foram calculadas com o programa computacional Ciclone (USP, 2014), trata-se de um programa gratuito de cálculo da ação de ventos em edificações disponibilizado pelo Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos.

3.1 Escolha dos parâmetros dos objetos de estudo

Segundo Nogueira (2015), a escolha dos parâmetros para desenvolver estudos acerca de estruturas de galpões metálicos pode ser determinada por meio de alterações em diversas particularidades que estão atreladas com a forma como a estrutura irá se comportar, citando como destaque os seguintes pontos:

- Formato do pórtico (treliça) transversal;
- Tamanho do vão livre transversal;
- Inclinação da cobertura analisada;
- Altura dos pilares;
- Tipo de vinculação do pilar com a treliça;
- Distâncias entre os pórticos transversais;
- Flecha relativa aos estados limites de serviço;
- Variações relativas aos esforços de vento.

Esses parâmetros, são os que mais geram mudanças no peso total da estrutura e em como ela se comportará frente aos esforços solicitantes, sendo relacionados como elementos de destaque devido à essa correlação direta com o peso estrutural.

Seguindo a premissa de avaliar o desempenho de variadas estruturas de coberturas relativas a galpões metálicos pequenos e médios, se diversos parâmetros fossem adotados como variáveis, o número de amostras seria muito vasto e demandaria grande tempo para análise da influência de cada parâmetro na estrutura final.

Dessa forma, foram adotadas como variáveis as características que são mais usualmente modificadas nesse tipo de edificação, gerando como consequência um número menor de amostras que posteriormente permitiu uma comparação. Apresenta-se a seguir, os parâmetros que foram considerados variáveis para a composição deste estudo:

- Tipologia de treliça e sua interação com a estrutura;
- Variação no comprimento longitudinal do galpão;
- Variação no vão livre transversal;
- Variação na altura dos pilares para um mesmo vão livre transversal;
- Variações na quantidade e distâncias dos banzos, montantes e diagonais das treliças para adequação ao vão pretendido;
- Variações nos perfis da estrutura de forma geral, conforme o formato da estrutura foi sendo modificado;
- Alterações nas cargas de vento conforme feitas as alterações de dimensão da estrutura (largura, comprimento e altura).

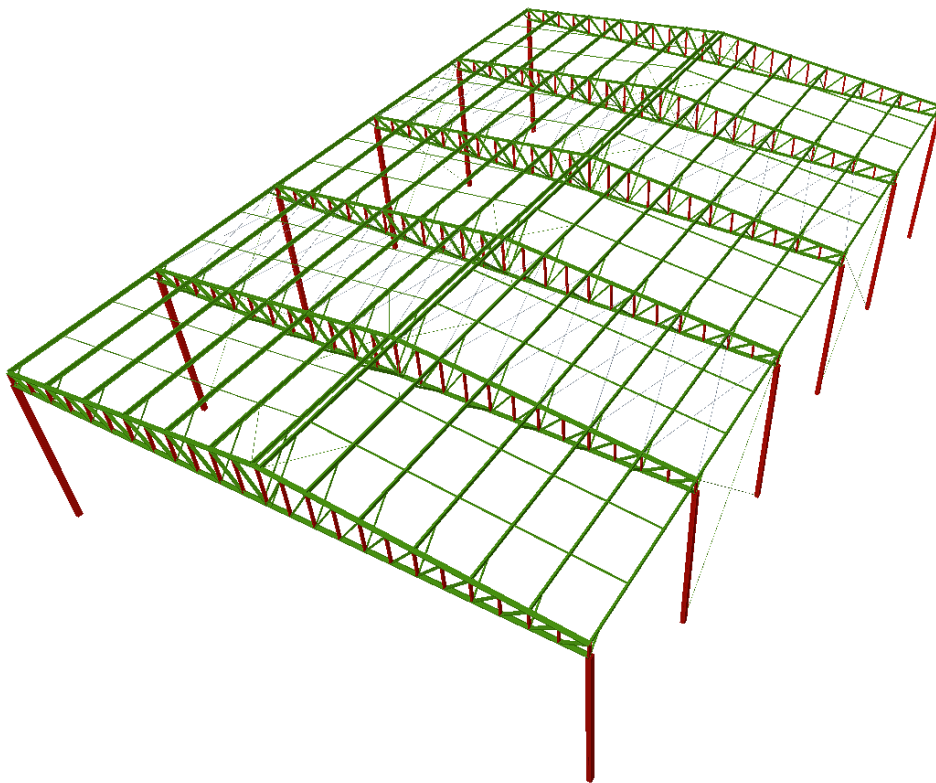
Juntamente com parâmetros alteráveis, os seguintes parâmetros foram comuns a todas as tipologias analisadas, baseados em parâmetros usuais de projetos de galpões de uso geral:

- 1- Utilizou-se perfis formados a frio em todas as peças, menos nos

contraventamentos e tirantes;

- 2- Galpões sem tapamentos laterais, compostos por pilares e elementos de cobertura e contraventamentos, dispostos de acordo com a Figura 31 a seguir:

Figura 31 – Galpão sem tapamentos laterais



Fonte: Autoria Própria.

- 3- Cálculo de cargas de vento efetuado para coberturas isoladas;
- 4- Cargas de vento consideradas com os coeficientes de pressão de coberturas isoladas, presentes na Tabela 18 da NBR 6123 (ABNT, 1988), que estão demonstrados na Figura 32 a seguir.

Figura 32 – Coeficiente de pressão para coberturas isoladas

Tabela 18 - Coeficiente de pressão em coberturas isoladas a duas águas planas simétricas

Coeficientes	Primeiro carregamento		Segundo carregamento	
	$0,07 \leq \operatorname{tg} \theta \leq 0,4$	$0,4 \leq \operatorname{tg} \theta \leq 0,6$	$0,07 \leq \operatorname{tg} \theta \leq 0,4$	$0,4 \leq \operatorname{tg} \theta \leq 0,6$
c_{pb}	$2,4 \operatorname{tg} \theta + 0,6$	$2,4 \operatorname{tg} \theta + 0,6 \leq 2,0$	$0,6 \operatorname{tg} \theta - 0,74$	$6,5 \operatorname{tg} \theta - 3,1$
c_{ps}	$3,0 \operatorname{tg} \theta - 0,5$	$+ 0,7$	$- 1,0$	$5,0 \operatorname{tg} \theta - 3,0$

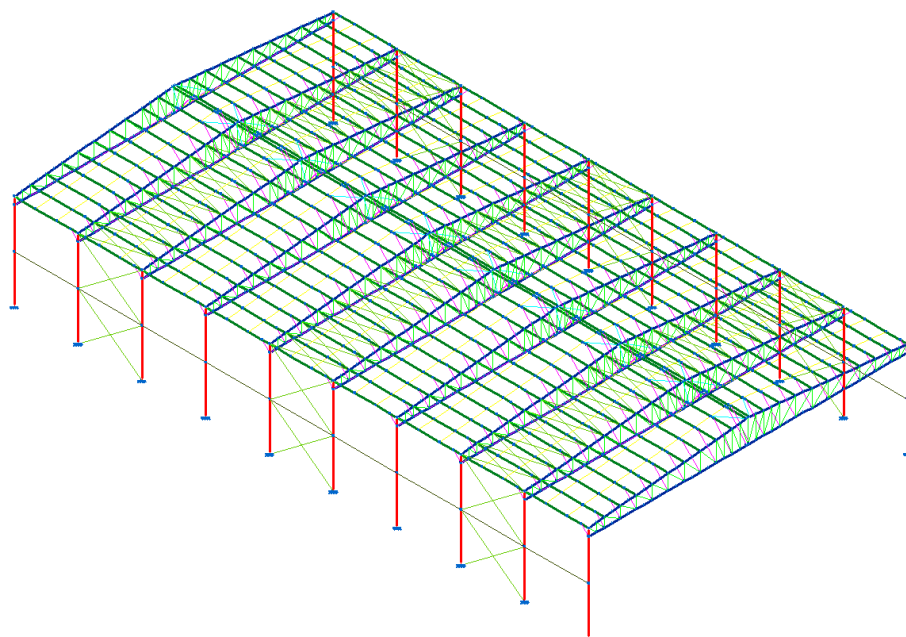
Sentidos positivos dos coeficientes de pressão

Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988).

- 5- Espaçamento entre pórticos de 6m para aproveitamento total das terças (perfis comercialmente vendidos de 6m);
- 6- Terças consideradas peças não contínuas apoiadas nos banzos superiores e nos montantes das treliças, com comprimentos de flambagem em Y considerados a distância entre banzos e mãos francesas e entre mãos francesas e a flambagem em X e FLT considerada a distância entre as linhas de corrente;
- 7- Linhas de corrente e tirantes: presentes em todos os planos de terças (2 linhas de corrente utilizadas entre terças) colaborando para o travamento das terças, reduzindo os comprimentos de flambagem e de flambagem lateral por torção das terças, podem ser notados na Figura 31 demonstrada anteriormente;
- 8- Mãos francesas em todas as terças, fixadas ao banzo inferior da treliça para travamento do banzo inferior e diminuição dos comprimentos de flambagem da terça, podem ser notados na Figura 31 demonstrada anteriormente;
- 9- No modelo 1, montantes foram utilizados nos locais que possuem mãos francesas para a composição de nós de distribuição de carga no sistema treliçado;

- 10-No modelo 1, tirantes foram utilizados entre pilares, abaixo da treliça para possibilitar um travamento extra e redução dos deslocamentos;
- 11- Contraventamentos Horizontais: em formato de “X”, dispostos entre as terças, não deixando mais que 2 pórticos sem contraventamentos, este contraventamento pode ser visto na Figura 31 demonstrada anteriormente;
- 12- Contraventamentos Verticais: também em formato de “X”, dispostos nos pilares, tendo ou não vigas de travamento auxiliares, e não deixando mais que 2 pórticos sem contraventamentos, podem ser notados na Figura 31 demonstrada anteriormente;
- 13- Vigas de travamento lateral dispensadas nos pilares de 6 metros, para redução do peso estrutural e maior aproveitamento de perfis utilizados;
- 14- Vigas de travamento lateral nos pilares de 9 metros no seu ponto médio (4,5m de altura) para colaborar com a diminuição de comprimentos destravados e diminuir a demanda por perfis mais robustos dispostos na Figura 33 a seguir;

Figura 33 – Galpão com vigas de travamento nos pilares



Fonte: Autoria Própria.

- 15- Vigas de travamento em perfis do tipo “U” enrijecido duplo soldado variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada;
- 16- Pilares em perfis do tipo “U” enrijecido duplo soldado, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada;
- 17- Terças em perfis do tipo “U” enrijecido, dispostos com inclinação igual ao do banzo superior da treliça, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada;
- 18- Mãos Francesas em perfis de Cantoneiras de abas iguais “L”, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada;
- 19- Linhas de corrente em perfis de Cantoneiras de abas iguais “L”, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada;
- 20- Tirantes e contraventamentos em perfis de barras de aço redondas trefiladas de diâmetro mínimo de 12,5mm, com diâmetro variando conforme as solicitações da concepção analisada;
- 21- Banzos em perfis do tipo “U” simples, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada, sendo obrigatoriamente maior que o perfil das diagonais e montantes, permitindo o encaixe;
- 22- Diagonais e montantes em perfis do tipo “U” simples, variando dimensões e espessura conforme as solicitações da concepção analisada, obrigatoriamente sendo um perfil de menor tamanho do que o dos banzos para permitir o encaixe entre as peças;
- 23- Todos os perfis foram padronizados de acordo com o pior caso de solicitação em alguma parte da estrutura. Evitando grande variabilidade de perfis nas peças da mesma e facilitando a geração de uma variável de comparação mais simples entre os galpões analisados;
- 24- Os perfis estruturais foram adotados com dimensões e espessuras

conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012);

- 25- Comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção do banzo superior foi, em Y, a distância entre os montantes, já para X foi a distância entre os contraventamentos;
- 26- Comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção do banzo inferior foi, em Y, a distância entre mãos francesas, já para X foi a distância entre os montantes;
- 27- Comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção dos pilares foram dimensionados conforme o Anexo “E” da norma NBR 8800 (ABNT, 2008), que trata dos coeficientes de flambagem.

3.2 Justificativas aos parâmetros dos objetos de estudo

Inicialmente, para composição de um estudo comparativo entre coberturas metálicas de galpões, os tapamentos laterais foram dispensados para que as coberturas fossem calculadas e comparadas entre si como elementos isolados, gerando modelos que tiveram ações de vento dispostas como de coberturas isoladas.

Para compor os perfis utilizados, o uso dos PFF's foi determinado pela sua maior disponibilidade de mercado e menor peso estrutural devido a esbeltez. A escolha do tipo de perfil para cada elemento da concepção estrutural baseou-se na demanda de ações e na demanda geométrica de cada elemento, seguindo a padronização da NBR 6355 (ABNT, 2012).

Em relação ao vão transversal dos modelos analisados, foram limitados em valores usuais hipotéticos variando de 5 em 5 metros, passando pelas distâncias de 15, 20, 25, 30 e 35 metros. Juntamente com os vãos determinados, o comprimento longitudinal foi limitado para galpões de pequeno e médio porte, nos quais os vãos de 15, 20 e 25 m contaram com 30 m de comprimento longitudinal (6 pórticos) e os de vãos de 30 e 35 metros contaram com 54m de comprimento longitudinal (10 pórticos).

Tendo os valores predeterminados dos comprimentos e vãos, foi feita também uma variação nas alturas dos pilares, na qual cada vão possuiu um galpão

com pilares de 6m e outro semelhante com pilares de 9m de altura. Essa variação serviu para demonstrar o que a altura do pilar pode gerar na estrutura.

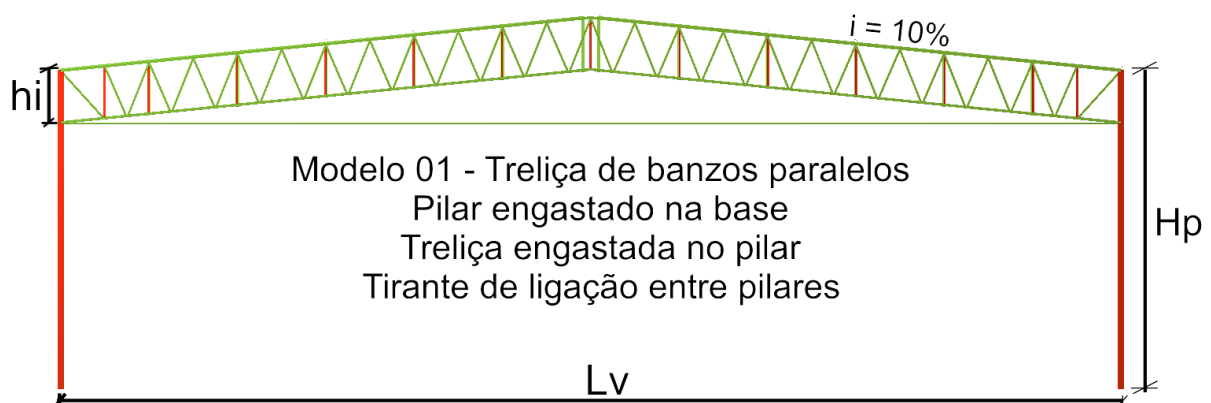
De forma a compor um estudo de comparação, tendo que limitar o número de estruturas de galpão para análise e procurando encontrar uma solução mais econômica entre as variáveis estudadas, foram determinados 3 modelos de treliças mais usuais conforme os estudos bibliográficos feitos, presentes na parte de revisão bibliográfica do trabalho e que compuseram os galpões analisados.

As treliças foram dispostas de maneira em que a inclinação ficou em 10%, com alturas de treliça predeterminadas em valores usuais. O número de montantes e diagonais variaram de acordo com o modelo analisado, os modelos analisados encontram-se no tópico a seguir.

3.3 Tipologias analisadas

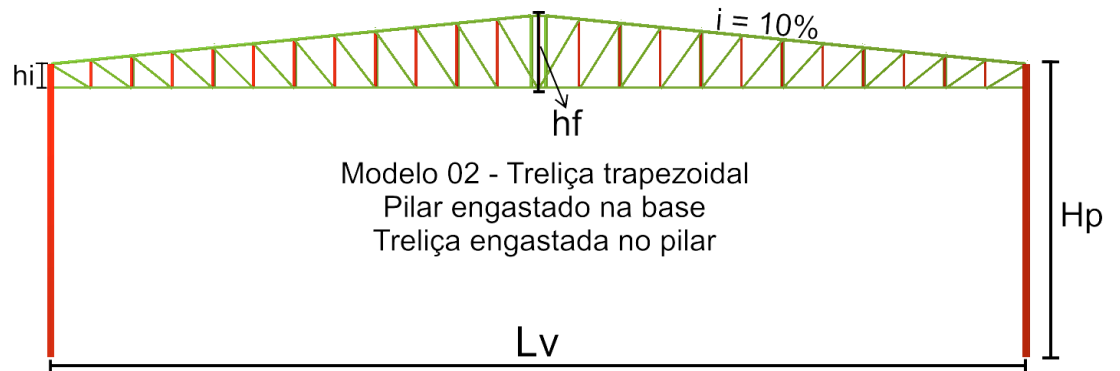
As treliças foram determinadas em 3 modelos de pórtico, expressos nas Figuras 34, 35 e 36, as especificações estão determinadas na Tabela 01. Cada modelo contou com 10 variações, enumerados pelo número “Nº” de 0 a 10 em cada um dos respectivos modelos, que se diferiram nos seguintes pontos: o vão livre transversal, o comprimento longitudinal do galpão, a altura dos pilares e a altura das treliças, resultando no total de 30 tipologias que foram dimensionadas e comparadas entre si.

Figura 34 - Modelo 01 – Treliça especial de banzos paralelos engastada no pilar



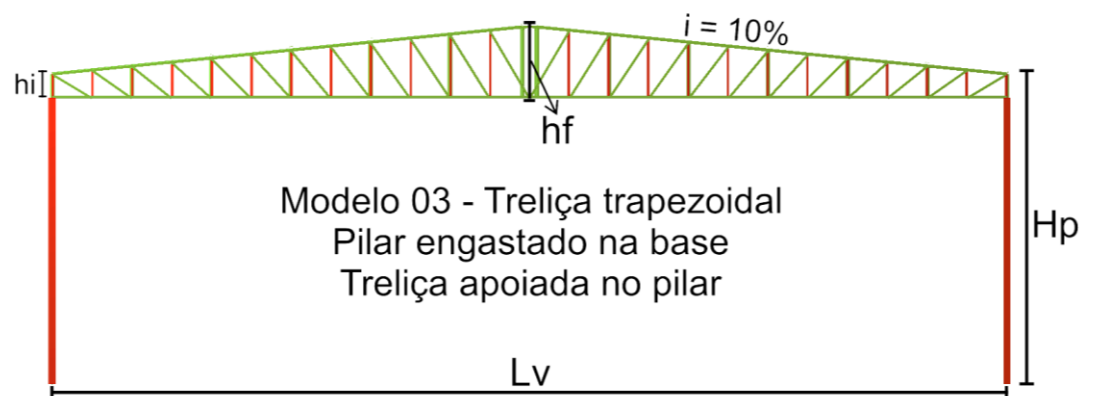
Fonte: Autoria Própria.

Figura 35 - Modelo 02 – Treliza trapezoidal engastada no pilar



Fonte: Autoria Própria.

Figura 36 – Modelo 03 - Treliza trapezoidal apoiada no pilar



Fonte: Autoria Própria.

Tabela 1 – Dados das diferentes tipologias de galpões analisadas

Nº	MODELO	Dados do Galpão			Dados da Trelça	
		Largura Lv (m)	Comprimento (m)	Altura Hp (m)	hi (m)	hf
1	1	15	30	6	0,9	-
2	1	20	30	6	1,0	-
3	1	25	30	6	1,4	-
4	1	30	54	6	1,5	-
5	1	35	54	6	1,9	-
6	1	15	30	9	0,9	-
7	1	20	30	9	1,0	-
8	1	25	30	9	1,4	-
9	1	30	54	9	1,5	-
10	1	35	54	9	1,9	-
1	2	15	30	6	0.5	1.3
2	2	20	30	6	0.5	1.5
3	2	25	30	6	0.7	2.0
4	2	30	54	6	0.7	2.2
5	2	35	54	6	1.0	2.8
6	2	15	30	9	0.5	1.3
7	2	20	30	9	0.5	1.5
8	2	25	30	9	0.7	2.0
9	2	30	54	9	0.7	2.2
10	2	35	54	9	1.0	2.8
1	3	15	30	6	0.5	1.3
2	3	20	30	6	0.5	1.5
3	3	25	30	6	0.7	2.0
4	3	30	54	6	0.7	2.2
5	3	35	54	6	1.0	2.8
6	3	15	30	9	0.5	1.3
7	3	20	30	9	0.5	1.5
8	3	25	30	9	0.7	2.0
9	3	30	54	9	0.7	2.2
10	3	35	54	9	1.0	2.8

Fonte: Autoria Própria.

3.4 Ações e cargas consideradas

Para compor os modelos de estudos pretendidos, as ações consideradas nas estruturas foram dispostas com os seguintes valores de entrada no programa para as ações permanentes:

- Cargas de peso próprio da própria estrutura, geradas pelo programa;
- Estruturas de forro, consideradas $0,10 \text{ kN/m}^2$ segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019);
- Painéis solares, considerados $0,15 \text{ kN/m}^2$;
- Telha termo acústica tipo sanduíche, considerada $0,12 \text{ kN/m}^2$.

Todas as cargas de peso próprio foram adquiridas na NBR 6120 (ABNT, 2019) ou nos catálogos comerciais de fabricantes variados.

Já as ações variáveis foram consideradas as seguintes ações:

- Sobrecarga de cobertura de $0,25 \text{ kN/m}^2$, conforme na NBR 6120 (ABNT, 2019).
- Cargas de vento, conforme na NBR 6123 (ABNT, 1988) e calculadas pelo software *Ciclone* (USP, 2014);

Cargas de vento baseadas em velocidade básica de vento de 30 m/s (Estado do Tocantins), fator S1: terreno plano, fator S2: zona industrial; fator S3: instalação industrial de baixa taxa de ocupação, os dados de entrada no programa estão dispostos no tópico subsequente.

3.4.1 Cálculo de ventos - Dados de entrada no programa

A interface inicial do programa *Ciclone* (USP) está demonstrada na Figura 37 a seguir, demonstra as informações mais relevantes do cálculo de vento, como os fatores geométricos, de vento e os fatores S1, S2 e S3.

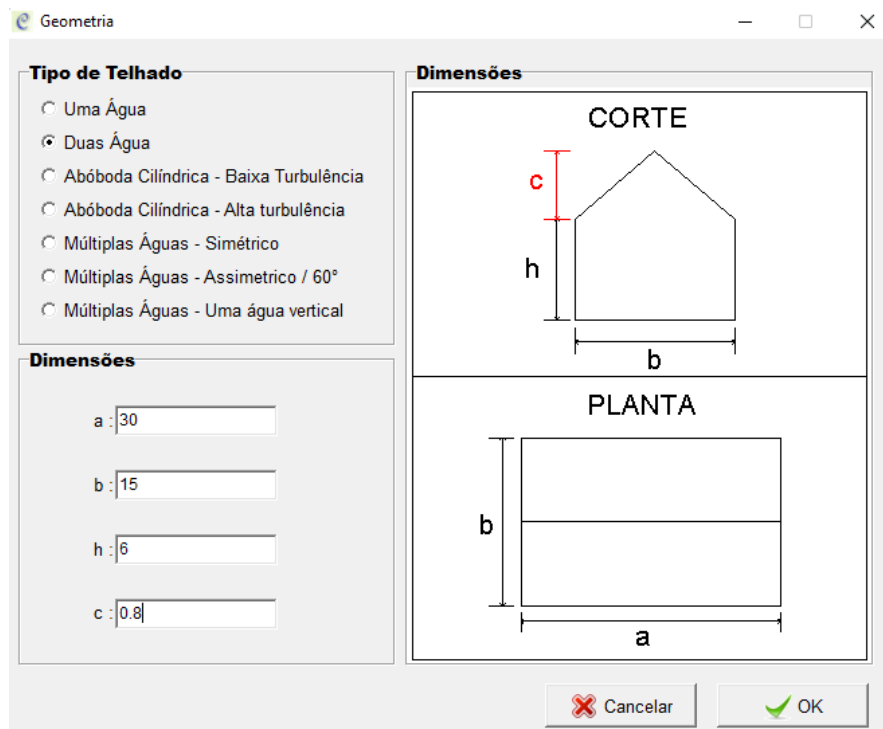
Figura 37 – Interface inicial do programa



Fonte: Autoria Própria.

O primeiro passo foi inserir as dimensões do galpão na aba “Geometria”, demonstrada na Figura 38 a seguir:

Figura 38 – Aba de dados “Geometria”



Fonte: Autoria Própria.

O segundo passo foi inserir os dados da “Velocidade Básica” do vento, demonstrada na Figura 39 a seguir:

Figura 39 – Aba de dados “Velocidade Básica”

Fonte: Autoria Própria.

O terceiro passo foi inserir os dados do “Fator S1”, que foi considerado para todos como terreno plano e é demonstrado na Figura 40 a seguir:

Figura 40 – Aba de dados “Fator S1”

Fonte: Autoria Própria.

O quarto passo foi gerar os dados na aba “Fator S2” presentes na Figura 41, que foi calculado a partir dos parâmetros “Categoria do terreno” e a “Classe da edificação” presentes respectivamente nas Figuras 42 e 43.

Figura 41 – Aba de dados “Fator S2”

Para se obter o Fator S2, tem que definir a Categoria do Terreno e a Classe da Edificação.

Fator de Rugosidade do Terreno e Dimensões da Edificação

CATEGORIA DO TERRENO CLASSE DA EDIFICAÇÃO

Categoria do terreno:

Vento 0° **Vento 90°**

Classe da Edificação: Classe da Edificação:

s₂ **s₂**

Fonte: Autoria Própria.

Figura 42 – Aba de dados “Categoria do terreno”

Categoria do terreno

☐ I Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.

☐ II Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.

☐ III Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

☒ IV Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

☐ V Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais bem desenvolvidos.

Fonte: Autoria Própria.

Figura 43 – Aba de dados “Classe das Edificações”

Classe das Edificações

A (3 segundos)	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20 metros.
B (5 segundos)	Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 25 e 50 metros.
C (10 segundos)	Toda a edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Direção do Vento

☒ Direção do Vento 0° ☐ Direção do Vento 90°

Direção do Vento 0°

Dimensão Vertical: 6.800 m
Dimensão Horizontal: 15.000 m
Maior dimensão: 15.000 m

Direção do Vento 90°

Dimensão Vertical: 6.800 m
Dimensão Horizontal: 30.000 m
Maior Dimensão: 30.000 m

Classe: ☒ A (3 segundos) ☐ B (5 segundos) ☐ C (10 segundos)

☐ A (3 segundos) ☒ B (5 segundos) ☐ C (10 segundos)

Fonte: Autoria Própria.

O quinto passo foi escolher o fator estatístico da edificação o “Fator S3”, presentes na Figura 44.

Figura 44 – Aba de dados “Fator S3”

Fator S3

Fator Estatístico

Grupo	Descrição
☐ 1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc)
☐ 2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
☒ 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
☐ 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
☐ 5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a fase de construção

S₃ 0.95

Fonte: Autoria Própria.

O sexto passo foi utilizar o programa para calcular a Velocidade Característica do vento e a pressão que os ventos 0° e 90° exercem na edificação, presentes na Figura 45.

Figura 45 – Aba de dados “Velocidade Característica e Pressão de Obstrução”

Velocidade Característica

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

V_0 m/s **Vento 0°** S_2
 S_1
 S_3
Vento 0° V_k m/s **Vento 90°** V_k m/s

Pressão de Obstrução

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

Vento 0° q N/m² --> q kN/m²
Vento 90° q N/m² --> q kN/m²

Fonte: Autoria Própria.

Após conseguir as pressões de obstrução, estas foram dispostas e multiplicadas pelos coeficientes de pressão de coberturas isoladas, obtidos na Tabela 18 da NBR 6123 (ABNT, 1988) e compuseram as cargas de vento que foram utilizadas para o cálculo das estruturas.

3.5 Programa utilizado para cálculo das estruturas analisadas

Por possuir muitas etapas, o passo a passo seguido no programa Cype 3D (CYPE Ingenieros, 2017) não se torna um ponto relevante, uma vez que o intuito do presente trabalho não é o de demonstrar como utilizar o programa, mas sim fazer a comparação dos resultados gerados pelo programa.

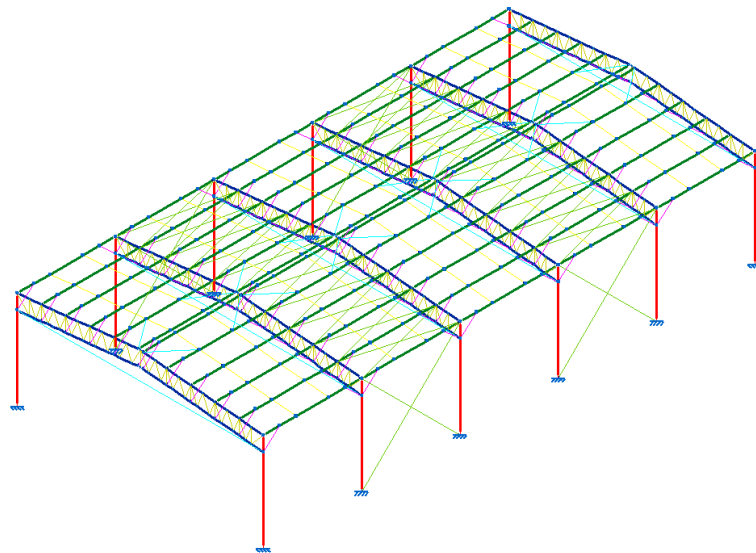
Dessa forma, para sintetizar as etapas seguidas no programa, a listagem a seguir demonstra o que foi feito para atingir os objetivos de modelagem e dimensionamento das estruturas. As Figuras 46, 47 e 48 demonstram um exemplo de estrutura modelada, já a Figura 49 demonstra as verificações feitas pelo programa.

As etapas foram:

- Selecionar as normas que o programa deve utilizar no dimensionamento das estruturas desejadas;
- Definição do tipo de aço dobrado utilizado (CF-30);
- Inserção das ações que a estrutura estará submetida;
- Criação de cores para as diferentes peças componentes do galpão;
- Modelagem da estrutura conforme a Tabela 01 e as treliças pré determinadas nas Figuras 34, 35 e 36;
- Definição dos nós (articulado ou engastado);
- Descrição dos perfis das barras;
- Descrição dos sentidos de disposição dos perfis das barras;
- Inserção dos comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção para todos os elementos que sofrerão flambagem;
- Inserção dos elementos de contraventamento;
- Inserção das flechas limites, conforme Anexo A da NBR 14672 (ABNT, 2010);
- Inserção dos planos de carga distribuída com as cargas definidas no tópico anterior, cargas que atuaram inicialmente nas terças;

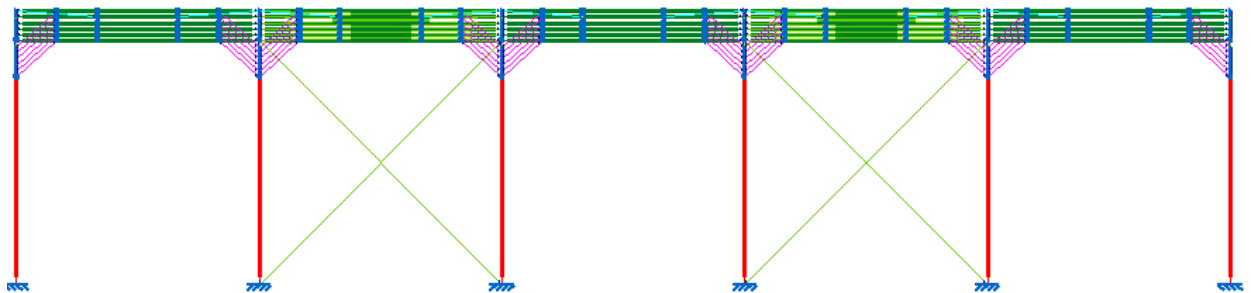
- Cálculo da estrutura feito pelo programa;
- Geração de relatórios de aprovação ou reprovação da estrutura, conforme ELU e ELS;
- Por fim, no caso de não aprovação dos perfis inseridos, troca dos perfis com cálculo da estrutura novamente, até adequação dos perfis à estrutura.

Figura 46 – Vista 3D de estrutura modelada no programa



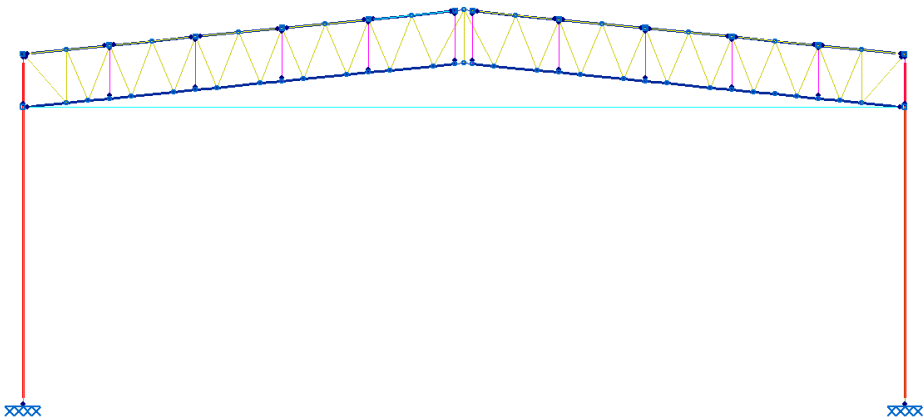
Fonte: Autoria Própria.

Figura 47 – Vista lateral de estrutura modelada no programa



Fonte: Autoria Própria.

Figura 48 – Vista frontal de estrutura modelada no programa



Fonte: Autoria Própria.

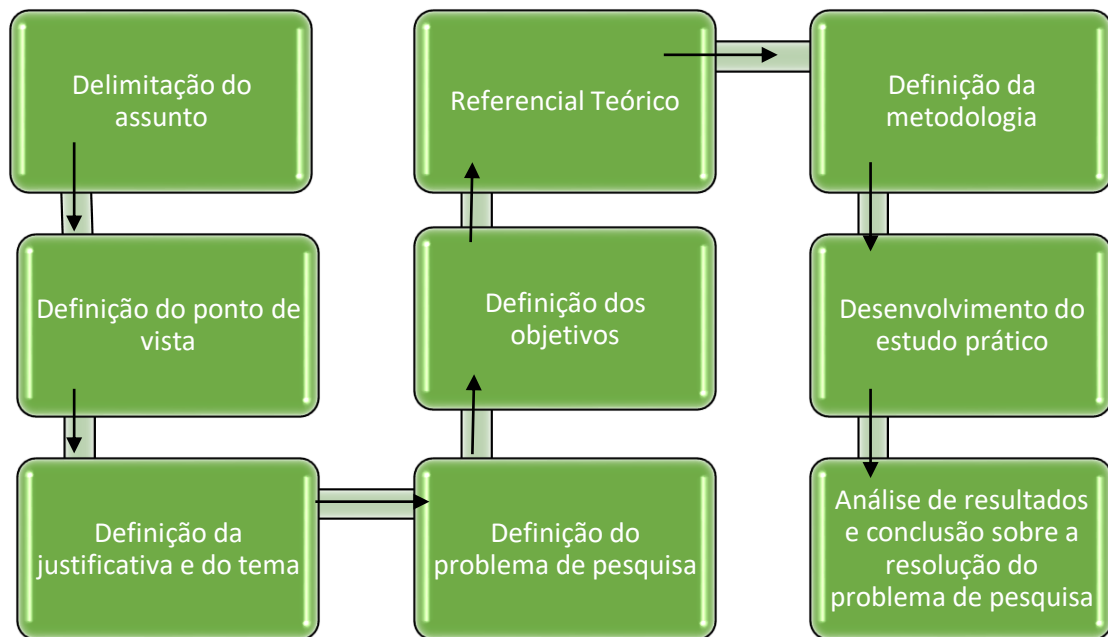
Figura 49 – Verificações feitas pelo programa

Estado	Verificação
✓ Passa	Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)
✓ Passa	Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)
✓ Passa	Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)
✓ Passa	Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)
✓ Passa	Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)
✓ Passa	Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)
✓ Passa	Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)
✓ Passa	Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)
✓ Passa	Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)
✓ Passa	Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)
✓ Passa	Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)
✓ Passa	Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)
✓ Passa	Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Fonte: Autoria Própria.

3.6 Fluxograma e roteiro de etapa final do trabalho

O fluxograma da Figura 50 demonstra o caminho que foi seguido para compor o presente estudo desde a limitação do assunto até a análise de resultados e conclusão.

Figura 50 - Fluxograma do trabalho

Fonte: Autoria Própria.

Após a conclusão do estudo prático das estruturas que foram analisadas, atendendo ao ELU e ELS, os seguintes pontos foram analisados para gerar as comparações:

1. Cargas de vento;
2. Peso dos componentes do galpão isoladamente;
3. Peso da estrutura global por metro quadrado (m²);
4. As particularidades percebidas nas diferentes concepções analisadas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este tópico demonstrará os resultados obtidos e as análises feitas sobre esses resultados, analisando de forma crítica e comparativa as estruturas que foram modeladas e calculadas.

4.1 Cargas de vento

Inicialmente, determinou-se a carga de vento que estaria agindo nas estruturas analisadas conforme as dimensões do galpão pretendido, os valores obtidos ficaram de acordo com a norma NBR 6123 (ABNT, 1988). Os 3 modelos contaram com as mesmas dimensões de comprimento largura e altura, portanto, as cargas de vento foram calculadas apenas uma vez para cada geometria e replicadas conforme foram variando os modelos analisados, sendo enumeradas de acordo com o número “Nº” disposto na Tabela 1, 2 e 3.

A Tabela 2 possui os dados do galpão e as cargas de pressão de vento $V0^\circ$ e $V90^\circ$ em kN/m^2 , que foram obtidas no programa Ciclone (USP, 2014). Já a Tabela 3, demonstra a memória de cálculo da carga de vento em coberturas isoladas, que foi disposta pela multiplicação dos coeficientes de pressão obtidos conforme a norma NBR 6123 (ABNT, 1988) com os valores de $Q V0^\circ$ e $Q V90^\circ$ da Tabela 2; para, assim, compor o Vento 1 (V1) e Vento 2 (V2).

A Figura 51 é um demonstrativo dos sentidos positivos das cargas consideradas, e os coeficientes que foram multiplicados para compor o V1 no primeiro carregamento e o V2 segundo carregamento.

Tabela 2 – Coeficientes de pressão dos ventos $V0^\circ$ e $V90^\circ$ em kN/m^2

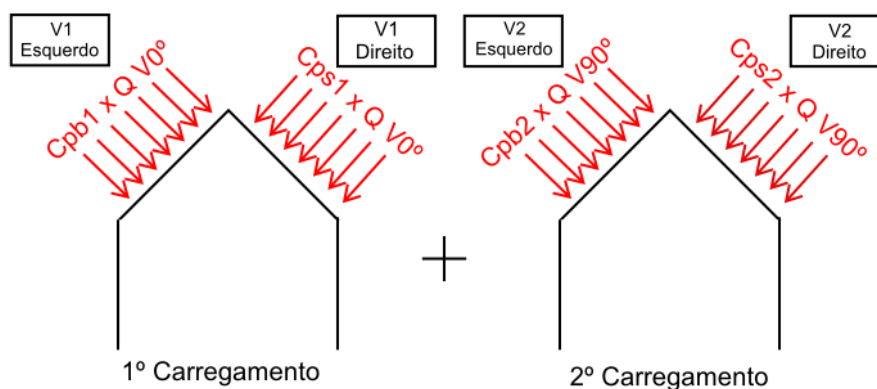
Nº	Dados do Galpão			VENTO						
	Lv (m)	Comp. (m)	Hp (m)	FATOR S2-V0°	FATOR S2-V90°	FATOR S3	VK 0°	VK 90°	Q V0°	Q V90°
1	15	30	6	0.82	0.79	0.95	23.40	22.62	0.34	0.31
2	20	30	6	0.82	0.80	0.95	23.48	22.71	0.34	0.32
3	25	30	6	0.80	0.80	0.95	22.83	22.83	0.32	0.32
4	30	54	6	0.80	0.77	0.95	22.90	21.88	0.32	0.29
5	35	54	6	0.81	0.77	0.95	23.02	21.99	0.33	0.30
6	15	30	9	0.86	0.83	0.95	24.45	23.68	0.37	0.34
7	20	30	9	0.86	0.83	0.95	24.51	23.74	0.37	0.35
8	25	30	9	0.84	0.84	0.95	23.83	23.83	0.35	0.35
9	30	54	9	0.84	0.80	0.95	23.89	22.89	0.35	0.32
10	35	54	9	0.84	0.81	0.95	23.97	22.98	0.35	0.32

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3 – Memória de cálculo das cargas de vento para coberturas isoladas

Nº	Θ (°)	Tg Θ	1º Carreg.		2º Carreg.		V1 - Esq.	V1 - Dir.	V2 - Esq.	V2 - Dir.
			Cpb1	Cps1	Cpb2	Cps2	(Q V0° x Cpb)	(Q V0° x Cps)	(Q V90° x Cpb)	(Q V90° x Cps)
1	6.1	0.107	0.86	-0.18	-0.68	-1.00	0.29	-0.06	-0.21	-0.31
2	5.7	0.100	0.84	-0.20	-0.68	-1.00	0.28	-0.07	-0.21	-0.32
3	5.9	0.103	0.85	-0.19	-0.68	-1.00	0.27	-0.06	-0.22	-0.32
4	5.7	0.100	0.84	-0.20	-0.68	-1.00	0.27	-0.06	-0.20	-0.29
5	5.9	0.103	0.85	-0.19	-0.68	-1.00	0.28	-0.06	-0.20	-0.30
6	6.1	0.107	0.86	-0.18	-0.68	-1.00	0.31	-0.07	-0.23	-0.34
7	5.7	0.100	0.84	-0.20	-0.68	-1.00	0.31	-0.07	-0.23	-0.35
8	5.9	0.103	0.85	-0.19	-0.68	-1.00	0.30	-0.07	-0.24	-0.35
9	5.7	0.100	0.84	-0.20	-0.68	-1.00	0.29	-0.07	-0.22	-0.32
10	5.9	0.103	0.85	-0.19	-0.68	-1.00	0.30	-0.07	-0.22	-0.32

Fonte: Autoria Própria.

Figura 51 – Demonstrativo das cargas e seus respectivos sentidos positivos

Fonte: Autoria Própria.

4.2 Pesos totais dos elementos e peso global

A seguir estão apresentados os resultados dos pesos totais por elemento dos modelos de galpões calculados e por fim o peso global da estrutura sendo demonstrado por peso total (em kg) e peso por área (kg/m²), estão dispostos nas

Tabelas 4 a 13 a seguir, que se dividem conforme o vão transversal, demonstrando o peso por modelo conforme o vão transversal definido.

Tabela 4 – Galpões com dimensões 15x30m e altura 6m

Galpões com vão transversal de 15 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	6 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue - Soldado 150x60x20#2.65mm	2 Ue - Soldado 150x60x20#2.65mm	2 Ue - Soldado 200x75x20#2mm
	887.26 kg	887.26 kg	786.12 kg
Banzos	Usimples- 150 x 50 # 3,75mm	Usimples- 100 x 50 # 4,75mm	Usimples- 100 x 50 # 4,75mm
	1280.24 kg	1265.21 kg	1307.27 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 75 x 40 # 2.25mm	Usimples- 75 x 40 # 2mm	Usimples- 75 x 40 # 2mm
	746.76 kg	571.45 kg	571.45 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	1692.01 kg	1692.01 kg	1692.01 kg
Linhas de corrente	L - 40#2mm	L - 40#2mm	L - 40#2mm
	179.4 kg	178 kg	178 kg
Tirantes entre pilares	R17.46mm	-	-
	169.16 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	362.74 kg	361.4 kg	361.4 kg
Mão francesa	L - 50#2mm	L - 50#2mm	L - 50#2mm
	246.73 kg	231.16 kg	231.16 kg
Chapas de base	Chapa 250x250 # 9.5 mm	Chapa 250x250 # 9.5 mm	Chapa 250x250 # 12.7 mm
	55.92 kg	55.92 kg	73.56 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=479)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=479)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=479)
	22.8 kg	22.8 kg	22.8 kg
Peso global (kg)	5643.02 kg	5265.21 kg	5223.77 kg
Peso global (kg/m²)	12.54 kg/m²	11.70 kg/m²	11.61 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5 - Galpões com dimensões 15x30m e altura 9m

Galpões com vão transversal de 15 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	9 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue - Soldado 200x75x20#2.25mm	2 Ue - Soldado 200x75x25#2.65mm	2 Ue - Soldado 200x75x25#2.65mm
	1442.66 kg	1735.3 kg	1638.89 kg
Banzos	Usimples- 150 x 50 # 3,75mm	Usimples- 100 x 50 # 4,75mm	Usimples- 100 x 50 # 4,75mm
	1280.24 kg	1265.21 kg	1307.27 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 75 x 40 # 2.25mm	Usimples- 75 x 40 # 2mm	Usimples- 75 x 40 # 2mm
	746.76 kg	571.45 kg	571.45 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	1692.01 kg	1692.01 kg	1692.01 kg
Linhas de corrente	L – 40#2mm	L – 40#2mm	L – 40#2mm
	179.4 kg	178 kg	178 kg
Tirantes entre pilares	R17.46mm	-	-
	169.16 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	414.57 kg	413.22 kg	413.22 kg
Mão francesa	L - 50#2mm	L - 50#2mm	L - 50#2mm
	246.73 kg	231.16 kg	231.16 kg
Vigas de travamento	2 Ue. Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue. Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm
	234.29 kg	234.29 kg	234.29 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 250x300 # 12.5mm
	89.76 kg	89.76 kg	89.76 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=532)
	22.92 kg	22.92 kg	25.32 kg
Peso global (kg)	6518.5 kg	6433.32 kg	6381.37 kg
Peso global (kg/m²)	14.49 kg/m²	14.30 kg/m²	14.18 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 - Galpões com dimensões 20x30m e altura 6m

Galpões com vão transversal de 20 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	6 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 150x60x20#3mm	2 Ue. Soldado - 200x75x25#3mm	2 Ue Soldado - 200x75x20#2.25mm
	998.66 kg	1303.87 kg	961.77 kg
Banzos	Usimples- 150 x 50 # 6.3mm	Usimples- 150 x 50 # 6.3mm	Usimples- 150 x 50 # 6.3mm
	2793.55 kg	2786.62 kg	2856.11 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 40 # 2.65mm	Usimples- 100 x 50 # 2.25mm	Usimples- 100 x 50 # 2.25mm
	1364.35 kg	1117.4 kg	1117.4 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	1974.01 kg	1974.01 kg	1974.01 kg
Linhas de corrente	L - 40#2mm	L - 40#2mm	L - 40#2mm
	240.42 kg	238.37 kg	238.37 kg
Tirantes entre pilares	R25.4mm	-	-
	477.32 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	414.56 kg	414.56 kg	417.43 kg
Mão francesa	L - 60#2mm	L - 60#2mm	L - 60#2mm
	729.5 kg	361.92 kg	361.92 kg
Chapas de base	Chapa 250x250 # 9.5 mm	Chapa 250x300 # 9.5 mm	Chapa 250x300 # 9.5 mm
	55.92 kg	88.32 kg	88.32 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=479)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)
	22.8 kg	22.92 kg	22.92 kg
Peso global (kg)	9071.09 kg	8307.99 kg	8038.25 kg
Peso global (kg/m²)	20.16 kg/m²	18.46 kg/m²	17.86 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 7 - Galpões com dimensões 20x30m e altura 9m

Galpões com vão transversal de 20 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	9 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#3mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#3.35mm	2 Ue Soldado - 200x100x25#2.65mm
	1955.8 kg	2295.07 kg	1851.08 kg
Banzos	Usimples- 150 x 50 # 6,3mm	Usimples- 150 x 50 # 6,3mm	Usimples- 150 x 50 # 6,3mm
	2793.55 kg	2786.62 kg	2856.11 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 40 # 2.65mm	Usimples- 100 x 50 # 2.25mm	Usimples- 100 x 50 # 2.25mm
	1364.35 kg	1117.4 kg	1117.4 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2.25mm	Ue - 150x60x20#2.25mm	Ue - 150x60x20#2.25mm
	2211.71 kg	2211.71 kg	2211.71 kg
Linhas de corrente	L – 40#2mm	L – 40#2mm	L – 40#2mm
	240.42 kg	238.37 kg	238.37 kg
Tirantes entre pilares	R25.4mm	-	-
	477.32 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	466.38 kg	468.85 kg	466.38 kg
Mão francesa	L - 60#2mm	L - 60#2mm	L - 60#2mm
	729.5 kg	361.92 kg	361.92 kg
Vigas de travamento	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado- 100x40x17#1.2mm	2 Ue. Soldado- 100x40x17#1.2mm
	234.29 kg	234.29 kg	234.29 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 350x350 # 12.5mm
	88.32 kg	88.32 kg	144.24 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 15.8mm (C=532)
	22.92 kg	22.92 kg	39.6 kg
Peso global (kg)	10584.56 kg	9825.47 kg	9521.1 kg
Peso global (kg/m²)	23.52 kg/m²	21.83 kg/m²	21.16 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 8 - Galpões com dimensões 25x30m e altura 6m

Galpões com vão transversal de 25 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	6 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#3mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#3.35mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#2.65mm
	1303.87 kg	1449.52 kg	1021.9 kg
Banzos	Usimples - 200 x 50 # 6.3mm	Usimples - 200 x 50 # 6.3mm	Usimples - 150 x 75 # 6.3mm
	4237.46 kg	4227.8 kg	4345.86 kg
Diagonais e montantes	Usimples - 100 x 50 # 3mm	Usimples - 100 x 50 # 2.65mm	Usimples - 100 x 50 # 2.65mm
	2809.15 kg	2210.27 kg	2210.27 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	2538.01 kg	2538.01 kg	2538.01 kg
Linhas de corrente	L - 40#2mm	L - 40#2mm	L - 40#2mm
	301.44 kg	321.68 kg	321.68 kg
Tirantes entre pilares	R28.58mm	-	-
	755.4 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	510.72 kg	510.73 kg	510.73 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 80#3mm	L - 80#3mm
	1216.7 kg	1232.99 kg	1232.99 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5 mm	Chapa 250x300 # 12.5 mm	Chapa 250x300 # 12.5 mm
	88.32 kg	88.32 kg	88.32 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)
	22.92 kg	22.92 kg	22.92 kg
Peso global (kg)	13783.99 kg	12602.24 kg	12292.68 kg
Peso global (kg/m²)	30.63 kg/m²	28.00 kg/m²	27.32 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 9 - Galpões com dimensões 25x30m e altura 9m

Galpões com vão transversal de 25 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	
	Hp	9 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#3.35mm	2 Ue Soldado - 200x100x25#3.75mm	2 Ue Soldado- 250x100x25#2.65mm
	2174.28 kg	2421.49 kg	2014.72 kg
Banzos	Usimples - 200 x 50 # 6,3mm	Usimples - 200 x 50 # 6,3mm	Usimples - 150 x 75 # 6,3mm
	4237.46 kg	4227.8 kg	4345.86 kg
Diagonais e montantes	Usimples - 100 x 50 # 3mm	Usimples - 100 x 50 # 2.65mm	Usimples - 100 x 50 # 2.65mm
	2809.15 kg	2210.27 kg	2210.27 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2.25mm	Ue - 150x60x20#2mm
	2538.01 kg	2538.01 kg	2538.01 kg
Linhas de corrente	L - 40x2mm	L - 40x2mm	L - 40x2mm
	301.44 kg	321.68 kg	321.68 kg
Tirantes entre pilares	R28.58mm	-	-
	755.4 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	562.54 kg	562.56 kg	562.56 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 80#3mm	L - 80#3mm
	1216.7 kg	1232.99 kg	1232.99 kg
Vigas de travamento	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm
	234.29 kg	234.29 kg	234.29 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 250x300 # 12.5mm	Chapa 350x400 # 16mm
	88.32 kg	88.32 kg	210.96 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=535)
	22.92 kg	22.92 kg	39.6 kg
Peso global (kg)	14940.51 kg	13749.09 kg	13710.94 kg
Peso global (kg/m²)	33.20 kg/m²	30.55 kg/m²	30.47 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 10 - Galpões com dimensões 30x54m e altura 6m

Galpões com vão transversal de 30 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	
	Hp	6 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#3mm
	3029.75 kg	3029.75 kg	1919.58 kg
Banzos	Usimples- 200 x 75 # 8mm	Usimples- 200 x 100 # 6.3mm	Usimples- 200 x 100 # 6.3mm
	12498.18 kg	11428.6 kg	11694.6 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 50 # 4.25mm	Usimples- 100 x 50 # 3.75mm	Usimples- 100 x 50 # 3.75mm
	9251.28 kg	4483.98 kg	4483.98 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	5583.62 kg	5583.62 kg	5583.62 kg
Linhas de corrente	L - 40#2mm	L - 40#2mm	L - 40#2mm
	652.41 kg	652.04 kg	652.04 kg
Tirantes entre pilares	R28.58mm	-	-
	1510.79 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	925.6 kg	925.6 kg	952.6 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 80#3mm	L - 80#3mm
	3088.55 kg	2902.79 kg	2902.79 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5 mm	Chapa 250x300 # 12.5 mm	Chapa 250x300 # 12.5 mm
	147.2 kg	147.2 kg	147.2 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=482)
	38.2 kg	38.2 kg	38.2 kg
Peso global (kg)	36725.58 kg	29191.78 kg	28374.61 kg
Peso global (kg/m²)	45.34 kg/m²	36.04 kg/m²	35.03 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 11 - Galpões com dimensões 30x54m e altura 9m

Galpões com vão transversal de 30 metros			
Perfil/Peso	Comprimento galpão	54 m	
	Hp	9 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 200x100x25#3.35mm
	4544.62 kg	4544.62 kg	3778.49 kg
Banzos	Usimples- 200 x 75 # 8 mm	Usimples- 200 x 100 # 6,3mm	Usimples- 200 x 100 # 6,3mm
	12498.18 kg	11428.6 kg	11694.6 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 50 # 4.25mm	Usimples- 100 x 50 # 3.75mm	Usimples- 100 x 50 # 3.75mm
	9251.28 kg	4899.84 kg	4899.84 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	5583.62 kg	5583.62 kg	5583.62 kg
Linhas de corrente	L – 40#2mm	L – 40#2mm	L – 40#2mm
	652.41 kg	652.04 kg	652.04 kg
Tirantes entre pilares	R28.58mm	-	-
	1510.79 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	1003.34 kg	1003.34 kg	1003.34 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 80#3mm	L - 80#3mm
	3088.55 kg	2902.79 kg	2902.79 kg
Vigas de travamento	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado - 100x40x17#1.2mm
	421.73 kg	421.73 kg	421.73 kg
Chapas de base	Chapa 300x350 # 16mm	Chapa 300x350 # 16mm	Chapa 350x350 # 16mm
	230.8 kg	230.8 kg	307.8 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=533)	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=533)	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=585)
	66 kg	66 kg	72.6 kg
Peso global (kg)	38851.32 kg	31733.38 kg	31316.85 kg
Peso global (kg/m²)	47.96 kg/m²	39.18 kg/m²	38.66 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 12 - Galpões com dimensões 35x54m e altura 6m

Galpões com vão transversal de 35 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	
	Hp	6 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#4.75mm	2 Ue Soldado - 200x75x25#3.35mm
	3029.75 kg	3364.36 kg	2013.22 kg
Banzos	Usimples- 250 x 100 # 6.35mm	Usimples- 200 x 75 # 8mm	Usimples- 200 x 75 # 8mm
	15221.70 kg	14547.12 kg	14961.66 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 50 # 4.25mm	Usimples- 150 x 75 # 3mm	Usimples- 150 x 75 # 3mm
	12618.44 kg	10809.29 kg	10809.29 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	6091.23 kg	6091.23 kg	6091.23 kg
Linhas de corrente	L - 40#2mm	L - 40#2mm	L - 40#2mm
	762.24 kg	762.24 kg	762.03 kg
Tirantes entre pilares	R31.75mm	-	-
	2175.28 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	1004.28 kg	1004.28 kg	1004.28 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 100#3.75mm	L - 100#3.75mm
	4267.82 kg	6452.3 kg	6452.3 kg
Chapas de base	Chapa 250x300 # 12.5 mm	Chapa 250x300 # 16 mm	Chapa 300x350 # 16 mm
	147.2 kg	188.4 kg	230.8 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=532)	4 x Chumb. - Diâm. 12.7mm (C=635)	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=533)
	42.2 kg	50.29 kg	66 kg
Peso global (kg)	45360.14 kg	43269.51 kg	42390.81 kg
Peso global (kg/m²)	56.00 kg/m²	53.42 kg/m²	52.33 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 13 - Galpões com dimensões 35x54m e altura 9m

Galpões com vão transversal de 35 metros			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	
	Hp	9 m	
	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Pilar	2 Ue Soldado- 200x75x25#4.75mm	2 Ue Soldado- 300x85x25#4.25mm	2 Ue Soldado - 250x85x25#3.75mm
	5046.54 kg	5985.88 kg	4246.79 kg
Banzos	Usimples- 250 x 100 # 6.35mm	Usimples- 200 x 75 # 8mm	Usimples- 200 x 75 # 8mm
	15221.70 kg	14547.12 kg	14961.66 kg
Diagonais e montantes	Usimples- 100 x 50 # 4.25mm	Usimples- 150 x 75 # 3mm	Usimples- 150 x 75 # 3mm
	12618.44 kg	10809.29 kg	10809.29 kg
Terças	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm	Ue - 150x60x20#2mm
	6091.23 kg	6091.23 kg	6091.23 kg
Linhas de corrente	L - 40x2mm	L - 40x2mm	L - 40x2mm
	762.24 kg	762.03 kg	762.03 kg
Tirantes entre pilares	R31.75mm	-	-
	2175.28 kg	-	-
Contraventamentos e tirantes	R12.7mm	R12.7mm	R12.7mm
	1082.02 kg	1082.02 kg	1082.02 kg
Mão francesa	L - 80#3mm	L - 100#3.75mm	L - 100#3.75mm
	4267.82 kg	6452.3 kg	6452.3 kg
Vigas de travamento	2 Ue Soldado- 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado- 100x40x17#1.2mm	2 Ue Soldado- 100x40x17#1.2mm
	421.73 kg	421.73 kg	421.73 kg
Chapas de base	Chapa 300x350 # 16mm	Chapa 300x450 # 19mm	Chapa 300x450 # 19mm
	230.8 kg	402.8 kg	402.8 kg
Chumbadores	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=533)	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=588)	4 x Chumb. - Diâm. 15.88mm (C=588)
	66 kg	72.91 kg	72.91 kg
Peso global (kg)	47983.80 kg	46627.31 kg	45302.76 kg
Peso global (kg/m²)	59.24 kg/m²	57.56 kg/m²	55.93 kg/m²

Fonte: Autoria Própria.

4.3 Principais descobertas

No início da pesquisa realizou-se um levantamento bibliográfico, sendo constatado que as estruturas metálicas proporcionam boas soluções para espaços com grandes vãos. Os elementos componentes dos galpões foram expostos e serviram de base para compor os elementos adotados nos modelos analisados.

Em relação aos elementos componentes dos galpões, descreve-se a seguir as particularidades de cada um desses elementos, que foram aumentando seus perfis conforme o vão transversal crescia e por fim uma análise acerca do peso global da estrutura.

O primeiro elemento analisado foi o pilar, que aumentou seu peso gradualmente conforme o vão transversal aumentava e foi mais leve em praticamente todos os vãos no Modelo 3. Neste modelo, as treliças apenas se apoiavam sobre os pilares, gerando cargas normais de compressão ou tração, já os demais Modelos, por estarem engastados nos pilares, geraram, além dos esforços normais, o momento devido ao engastamento.

Os perfis dos banzos foram aumentando seu peso à medida que o vão transversal aumentava e foram mais pesados no Modelo 03 nos vãos entre 15 a 25 metros devido ao fato de se utilizar montantes laterais nas extremidades da treliça para promover o fechamento do treliçado, diferente dos Modelos 1 e 2 que o pilar foi utilizado como fechamento. A partir dos vãos de 30m os banzos do Modelo 1 se tornaram os mais pesados devido a maior solicitação a flexo compressão dos banzos inferiores devido ao aumento do vão.

Os perfis das diagonais e montantes também aumentaram seu peso conforme o vão aumentava. Foram mais pesados no Modelo 1, devido a necessidade de aumentar o tamanho ou espessura dos perfis por conta da limitação de sua concepção estrutural que possui predominantemente elementos diagonais, os Modelos 2 e 3 possuíram valores de diagonais e montantes iguais, uma vez que o formato da treliça dos dois é igual.

Em relação ao número de montantes, percebeu-se a necessidade de aumentar o número de montantes para aliviar as cargas dos banzos nas regiões próximas aos pilares e no centro das treliças, diminuindo, assim, o espaçamento

entre montantes e reduzindo os comprimentos de flambagem dos banzos colaborando com o travamento da estrutura para os esforços de compressão.

Os perfis das terças ficaram inalteradas em todos os modelos, contando com pesos por vão iguais em todos por conta do uso das mãos francesas, e linhas de corrente que reduziram os comprimentos de flambagem e ajudaram no travamento das terças, dessa forma, as diferenças de peso nas terças foram notadas apenas devido ao aumento do vão livre transversal da mesma que solicitaram peças maiores ou um maior número de peças.

As linhas de corrente e tirantes possuíam variação muito pequena entre os modelos analisados por vão, variações que podem ser explicadas devido aos diferentes formatos de treliça e seus respectivos distanciamentos de diagonais, montantes e terças.

Os contraventamentos também possuíam variações muito pequenas quando ocorreram. Entre os modelos analisados por vão, seu peso foi se alterando conforme a altura do galpão variava e conforme, em alguns casos, a forma geométrica da treliça adotada.

Os tirantes entre pilares, que foram adotados apenas no Modelo 1, foram aumentando o peso conforme o vão transversal ia aumentando. O mesmo foi adotado para gerar uma maior estabilidade e redução de deslocamentos provocados pelas cargas analisadas na treliça do Modelo 1, devido a esse fator, este modelo contou com um peso adicional devido ao uso desses tirantes que foram necessários na composição desta concepção estrutural.

As mãos francesas foram mais pesadas no Modelo 1 nos vãos de 15, 20 e 30m, devido à altura fixa das treliças deste modelo, que solicitavam mãos francesas de tamanhos iguais à altura da treliça para manter ângulos de 45°. Nos vãos de 25m, os pesos foram bem próximos entre os modelos, sendo um pouco maiores nos Modelos 2 e 3 devido a variação de altura nas treliças desses modelos que solicitaram o uso de mãos francesas com metragem total um pouco maior que do Modelo 1, para acompanhar o aumento de altura total da treliça e compor um ângulo próximo a 45°. No vão de 35m, devido ao aumento das alturas das treliças nos Modelos 02 e 03, e o consequente aumento do comprimento das mãos francesas, foi necessário adotar um perfil de maiores dimensões e espessura para adequar-se à esbeltez mínima, por conta disso as cantoneiras adotadas tornaram-se

mais pesadas que as utilizadas no Modelo 1 por serem maiores e de maior espessura.

As diferenças notadas nos modelos de 6m e 9m de altura para os mesmos vãos transversais foram: carga de vento que foi modificada devido a mudança de geometria do galpão, incremento de peso por conta da necessidade do uso de vigas de travamento para redução dos coeficientes de flambagem dos pilares, aumento dos comprimentos de contraventamentos e dos pilares e aumento nas medidas e espessuras dos perfis dos pilares, uma vez que foram mais solicitados devido à fatores como a esbeltez e acréscimo de cargas de vento.

Em relação a hipótese, adotada inicialmente no trabalho, de que as treliças trapezoidais engastadas nos pilares seriam as de menor peso e maior aproveitamento dos perfis, percebe-se que esta foi refutada. Mesmo que os pilares sejam elementos mais robustos que colaborem com a resistência em relação aos momentos gerados pelo engastamento, para as cargas consideradas no dimensionamento os esforços e momentos fizeram com que os perfis dos pilares do Modelo 1 e 2 fossem mais solicitados que os pilares do Modelo 3 (treliça apoiada no pilar), portanto, devido a esse fator, os perfis dos pilares do Modelo 3 foram mais leves que os dos Modelos 1 e 2, fazendo com que a hipótese inicialmente adotada fosse refutada.

Novamente em relação ao engastamento da treliça no pilar, conclui-se que o engastamento aumentou o peso estrutural devido a maior solicitação nos pilares, fazendo com que os pilares obtidos no Modelo 3 fossem mais esbeltos e de menores dimensões que os dos Modelos 1 e 2, reduzindo o peso estrutural total de forma significativa por não ter a ação do momento agindo sobre esses pilares.

Diante do problema de pesquisa de disponibilizar concepções estruturais de coberturas de galpões metálicos mais econômicas e ideais para cada tipo de solicitação, constata-se que as principais dificuldades enfrentadas para a determinação das concepções estruturais ficaram na escassez de bibliografias específicas acerca de tamanhos ideais ou usuais de treliças, posicionamento de diagonais e montantes e os melhores formatos a serem utilizados.

Atrelado também a isso, mesmo que os programas computacionais sejam uma ferramenta que agiliza e possibilita o teste de várias hipóteses de concepção estrutural, os grandes tempos de processamento da estrutura por conta dos testes

de perfis acabaram sendo um fator que consumiu muito tempo, uma vez que uma mesma estrutura necessitou, várias vezes, ser calculada a fim de identificar os perfis adequados mais leves e construtivamente melhores.

Outro desafio enfrentado foi o de conseguir adequar os PFFs o máximo possível às cargas propostas, uma vez que por serem perfis mais esbeltos, demandam soluções estruturais, relativa ao posicionamento dos perfis e distâncias entre elementos mais minuciosa, para assim gerar modelos estruturais mais seguros com menor peso possível.

Mas em contrapartida, com os resultados obtidos nos dimensionamentos, foi possível gerar uma base de dados de perfis, composto pelo tipo de perfil e o peso do mesmo, com a possibilidade de se fazer a comparação entre as coberturas metálicas de galpões dimensionadas, podendo servir como um estudo de caso que pode ser utilizado para dimensionamento de coberturas metálicas.

Por fim, os resultados de pesos globais das estruturas dimensionadas, apontam que para as cargas consideradas de: peso próprio dos elementos, vento em coberturas isoladas, telha termo acústica tipo sanduíche, forro, painéis solares e sobrecargas de cobertura, sendo elas devidamente combinadas para ELU e ELS e posteriormente sendo dispostas nos perfis e calculadas para o dimensionamento, conforme as Normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008), percebe-se que as coberturas de galpões analisadas que melhor performaram, em todos os vãos, foram a do Modelo 03, uma vez que apresentaram os menores valores em peso estrutural total e em peso estrutural por metro quadrado, sendo notado que a principal variável responsável pela redução dos pesos foram os pilares que em praticamente todos os casos tiveram peso estrutural menor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho partiu-se da ideia de que realizar a pesquisa que foi feita no presente trabalho era relevante para auxiliar a comunidade acadêmica e profissional acerca do dimensionamento de coberturas metálicas de galpões.

Desse modo, constatou-se, após a realização da pesquisa, que a relevância foi de fato notada, tendo em vista que a análise feita no trabalho sobre o

tema de dimensionamento de coberturas de galpões metálicos demonstrou que os resultados obtidos e analisados podem servir de base para que o público alvo do estudo possa adotar soluções estruturais que prezam por um menor peso estrutural com segurança e durabilidade, conforme os resultados expostos.

No projeto estabeleceu-se como objetivo geral a comparação entre concepções estruturais pré definidas, relativas à cobertura de galpões metálicos, através do dimensionamento em ferramentas computacionais, de acordo com as normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008) com uma análise breve de viabilidade econômica com a comparação de peso entre as estruturas, percebe-se nesse momento que esta meta foi atingida, pois, as diferentes concepções estruturais propostas na metodologia foram analisadas e comparadas entre si.

O objetivo específico 1 foi atingido pois as particularidades e o dimensionamento das estruturas metálicas de galpões foram descritos, adotando o uso de perfis formados a frio. Este objetivo foi concluído e disposto na parte do referencial teórico presente no trabalho.

O objetivo específico 2 foi atingido pois os modelos analisados foram determinados e confeccionados de acordo com a metodologia e após a conclusão dos modelos, os resultados foram dispostos na parte de análise de resultados.

O objetivo específico 3 foi atingido pois após a obtenção dos resultados, tornou-se possível a composição da avaliação e das conclusões acerca dos objetos de estudo em relação ao aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural

Diante desses objetivos, estabeleceu-se como hipótese que o Modelo 2, que conta com treliça trapezoidal engastada no pilar seria a que teria o maior aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural. Percebeu-se que a hipótese foi refutada, pois os resultados do Modelo 3, relativos a treliças trapezoidais apoiadas ao pilar, para as cargas consideradas no estudo, foram os mais favoráveis em relação ao maior aproveitamento dos perfis com menor peso estrutural.

A pesquisa partiu da seguinte pergunta de pesquisa: se os estudantes e os profissionais técnicos de engenharia, ao projetarem estruturas metálicas, considerando aspectos de segurança, economia e durabilidade, possuem acesso a algum tipo de estudo que demonstre algumas soluções estruturais usuais mais leves e econômicas de coberturas de galpões metálicos para suprir as demandas de seus

avaliadores ou clientes, então, após a coleta e análise dos dados, concluiu-se que com os modelos analisados, foi possível gerar uma base de consulta com um banco de dados comparativo que demonstra estruturas variadas com os perfis e pesos utilizados, demonstrando as que melhor performaram.

Diante da metodologia que foi adotada no estudo, foram definidas as seguintes dificuldades:

Escassez de literaturas relacionadas a modelos de concepção estrutural mais usuais na construção civil com definições sobre, por exemplo, alturas de treliça, distâncias entre montantes, ângulos e posicionamento de diagonais, etc.

Grande número de galpões a serem modelados e calculados pelo programa, demandando grande tempo de modelagem e adequação às cargas propostas.

Devido ao grande número de galpões analisados, muitos fatores de modelagem e distâncias, como a distâncias entre montantes da treliça, foram individuais, tornando a modelagem extensa e cansativa devido a individualidade de característica que cada modelo possuiu.

Tempos de cálculo do programa utilizados elevados para as estruturas de vãos e comprimentos maiores, demandando grande tempo de cálculo para adequação dos perfis e solicitando muito do computador utilizado para geração dos cálculos.

5.1- Recomendações para trabalhos futuros

Fazer a mesma análise dos galpões do estudo, considerando um galpão com fechamentos laterais;

Buscar variar os softwares de dimensionamento a fim de comparar as memórias de cálculo geradas por esses programas e fazer um paralelo com as normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008).

Fazer uma análise dos galpões do estudo, variando os perfis dos pilares, podendo adotar o uso de perfis laminados, pilares treliçados e até mesmo pilares em concreto armado.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Bruno Rodrigues. **Estudo de treliças espaciais de aço ou mistas para vigamentos principais de galpões de grandes dimensões**. Orientador: Prof. Sebastião Arthur Lopes de Andrade. 2018. 133 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/36901/36901.PDF>. Acesso em: 15 set. 2021.

ANUNCIAÇÃO, N. da C.; ABRANTES PEREIRA, A.; BARBOSA RIBEIRO, C. .; DOMINGUEZ SILVA BARBOZA, M. **Análise comparativa de sistemas de contraventamentos em galpão metálico através do SAP2000**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 1–17, 2020. DOI: 10.26512/ripe.v5i2.28617. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28617>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização**. Rio de Janeiro. 2012.

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

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

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

BUFFONI, SALETE SOUZA DE OLIVEIRA. Propriedades Mecânicas dos Materiais. **UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**, 2015. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Propriedades-Mecanicas-dos-Materiais.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.

CHAMBERLAIN, Zacarias; FICANHA, Ricardo; FABEANE, Ricardo. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CICLONE: Ação do vento nas edificações. BETA. Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas de São Carlos - USP, 2014?. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br>. Acesso em: 16 ago. 2021.

CYPE 3D. 2017. [S. l.]: CYPE Ingenieros, S.A, 2017. Disponível em: <http://www.cype.com>. Acesso em: 16 ago. 2021.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia R. Castro e; CALDAS, Rodrigo B.. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.

GARCIA, João Pedro M.; BATISTA, Eduardo de M.; FRANCO, Juarez M. S.. **ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA ESTRUTURAL DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO COM SEÇÕES ENRIJECIDAS**. Florianópolis: Cilamce-2017, 2017. 21 p. Disponível em: PEREIRA, A.A. et al. Análise comparativa de sistemas de contraventamentos em galpão metálico através do SAP2000. Brasília: Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28617>. Acesso em: 16 ago. 2021. Acesso em: 10 set. 2021.

GOMES, Maria Idália da Silva (Portugal). Instituto Politécnico de Lisboa. **ESTUDO E ANÁLISE DE TRELIÇAS**. Lisboa: Instituto Superior Engenharia de Lisboa, 2016. 34 p. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt/document/instituto-politecnico-de-lisboa/estatistica-aplicada-a-engenharia/estudo-e-analise-de-trelizas/5493446>. Acesso em: 15 set. 2021.

INSTITUTO AÇO BRASIL (São Paulo). Instituto Aço Brasil (org.). **ANÁLISE SETORIAL E REGIONAL SÉRIES HISTÓRICAS ATÉ 2020**. São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2021a. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/08/MBA_Edição-2021.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

INSTITUTO AÇO BRASIL (São Paulo). Instituto Aço Brasil (org.). **Estatística mensal de julho/2021**. São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2021b. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/08/EM_Julho_2021_948351533.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: guia prático. Itabuna: Via Litteratum, 2010. 88 p. Disponível em: http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/livrode metodologia da pesquisa 2010_011120181549.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

NOGUEIRA, Gilcimar; PAULA, Geraldo; PAES, J.L.R.. **AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA GALPÕES COMPOSTOS**. 07. ed. Belo Horizonte: Fumec, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/3951>. Acesso em: 16 ago. 2021.

PALUDO, Juliano; BRUM, Eduardo Madeira; RAMIRES, Fernando Busato. Elaboração de sistema de composição orçamentária para projeto de galpões industriais de aço. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], ano 2021, v. 7, n. 1, p. 3341-3359, 10 jan. 2021. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-226>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/22911/18390>. Acesso em: 16 ago. 2021.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fabio José; SHITSUKA, Ricardo. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**. 1. ed. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA: [s. n.], 2018. 119 p. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 16 ago. 2021.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com nbr 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: Gen - Ltc, 2009. 380 p.

RODRIGUES, Auro de Jesus; GONÇALVES, Hortência de Abreu; MENEZES, Maria Balbina de Carvalho; NASCIMENTO, Maria de Fátima. **Metodologia científica**. 4. ed. rev. Aracaju: [s. n.], 2011. 212 p.

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS**. Goiânia: Revista Eletrônica de

Engenharia Civil, 2017. Disponível em:
<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41216>. Acesso em: 16 ago. 2021.

SILVA, Mauro César de Brito e. **Estruturas de cobertura**. Goiânia: Departamento de Artes e Arquitetura, Puc Goiás, 2010. 32 p. Disponível em:
<https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-universitario-de-brasilia/sistemas-estruturais-iii/estruturas-de-cobertura/11703767>. Acesso em: 15 ago. 2021.