

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CAIO VINICIUS GHIL SEGUCHI

**METODO PARA O DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TESOURAS DE
CANTONEIRAS DUPLAS PARA GALPÕES DE VÃO UNICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

CAIO VINICIUS GHIL SEGUCHI

**METODO PARA O DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TESOURAS DE
CANTONEIRAS DUPLAS PARA GALPÕES DE VÃO UNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica, do
Departamento de Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Esp. Ricardo Luhm da Silva.

PONTA GROSSA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

MÉTODO PARA O DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TESOURAS DE CANTONEIRAS DUPLAS PARA GALPÕES DE VÃO ÚNICO

por

CAIO VINICIUS GHIL SEGUCHI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Esp. Ricardo Luhm da Silva
Orientador

Prof. Dr. Davi Fusão
Membro Titular

Prof. Me. Ruimar Rubens de Gouveia
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela força, determinação e sabedoria que me proporcionou durante toda a graduação e desenvolvimento deste projeto.

Quero agradecer a minha família por todo carinho e suporte nesses anos. Quero agradecer imensamente a minha mãe Lilian Almeida Ghil, por toda força, paciência e dedicação para me ajudar a realizar meus sonhos. Quero agradecer muito ao meu Pai, Hugo Seguchi por todas as conversas que tivemos e que graças a uma dessas conversas proporcionou a oportunidade deste trabalho.

Tenho que agradecer e muito aos professores Guillermo Van Erven Cabala e Ricardo Luhm Silva, que aceitaram a trabalhar com um completo desconhecido e mesmo assim se disponibilizaram muito para este trabalho dar certo.

Também quero agradecer há outros professores e técnicos da UTFPR que me ajudaram em outros trabalhos, mesmo que não tenha prosseguido com o trabalho, me deram muito suporte e também apoio nas mudanças.

E indiscutivelmente eu quero agradecer a todos amigos que me deram muito ajuda para chegar até aqui. Amigos que sempre estavam perto e caminharam comigo nessa trajetória desde o início, amigos que estava longe mas mesmo assim desejavam muito sucesso, amigos convivi por um período mas mesmo assim contruíram muito, amigos que não são só amigos, mas família, novos amigos que nem parece que acabamos de nos conhecer. Quero agradecer a todas essas pessoas que fizeram valer a pena esta caminhada.

RESUMO

SEGUCHI, Caio Vinicius Ghil. **METODO PARA O DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TESOURAS DE CANTONEIRAS DUPLAS PARA GALPÕES DE VÃO ÚNICO**. 2017. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Visando obter uma tesoura de aço simples, segura, econômica e com a otimização desses três critérios, o trabalho em questão mostra uma tesoura de vão simples em aço, com barras de perfil de cantoneiras duplas de abas iguais, seguindo os critérios das normas NBR 6120, NBR 6123 e NBR 8800 para o dimensionamento.

Diante dos resultados através deste estudo, encontra-se um método para o dimensionamento de barras de estrutura metálica, uma relação com o primeiro montante da tesoura e a distribuição das cargas, peso e custo da estrutura para a edificação apresentada.

Palavras-chaves: Estrutura Metálica. Tesoura. Cantoneiras Duplas de abas iguais. Primeiro montante.

ABSTRACT

SEGUCHI, Caio Vinicius Ghil. **METHOD FOR THE DIMENSIONING AND OPTIMIZATION OF DOUBLE CANTONEIRES SCISSORS FOR UNIQUE VESSELS**. 2017. 88 f. TCC (Undergraduate) - Course of Mechanical Engineering, Mechanics, Federal Technological University of Paraná, Ponta Grossa, 2017.

In order to obtain simple, safe, economical steel scissors and with the optimization of these three criteria, the work in question shows a simple steel shear with double-edged profile bars of equal flanges, following the criteria of standards NBR 6120, NBR 6123 and NBR 8800 for the dimensioning.

In view of the results of this study, a method for the design of bars of metallic structure, a relation with the first amount of the scissors and the distribution of the loads, weight and cost of the structure for the presented construction are found.

Keywords: Metallic Structure, Scissors, Angles Double of equal flaps, first amount.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadastro do site CBCA.....	18
Figura 2 - Impactos ambientais	19
Figura 3 - Isopletas da velocidade básica	25
Figura 4 - Região de atuação dos coeficientes de pressão de parede.....	28
Figura 5 - Região dos coeficientes de pressão do telhado.....	29
Figura 6 - Cantoneira dupla de abas iguais com seção monossimétrica no eixo y	35
Figura 7 - Coeficientes de flambagem	36
Figura 8 - Relação de espessura e largura limite do perfil	37
Figura 9 - Dimensões básicas da tesoura e colunas.....	38
Figura 10 - Numeração das barras	39
Figura 11 - Numeração dos nós.....	39
Figura 12 - Vista superior da Edificação e Área de influência.....	40
Figura 13 - Forças devido ao V1	44
Figura 14 - Diagrama de forças devido ao próprio peso	45
Figura 15 - Diagrama de forças devido a sobrecarga de utilização	46
Figura 16 - Peso x Comprimento do primeiro vão.....	57
Gráfico 1 - Principais Produtores Mundiais de Aço	17
Gráfico 2 - Principais produtores de Aço da América do Sul.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fator S2.....	26
Tabela 2: Fator S3.....	26
Tabela 3: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta	27
Tabela 4: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular	28
Tabela 5: Valores de ponderação das ações	31
Tabela 6: Valores dos fatores de combinação e redução	32
Tabela 7:Valores dos coeficientes de ponderação das resistências	33
Tabela 8: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta	42
Tabela 9: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular	43
Tabela 10 Próprio peso dos elementos.....	44
Tabela 11: Tração máxima sofrida pelas barras da tesoura	50
Tabela 12:Compressão máxima sofrida pelas barras da tesoura	51
Tabela 13: Combinações máximas de tração sofrida pela barra 6.....	52
Tabela 14: Combinações máximas de compressão sofrida pela barra 6	52
Tabela 15 - Propriedades dos perfis utilizados.....	53
Tabela 16 - Preço dos perfis utilizados	54
Tabela 17: Forças de Resistência de tração de G0,00	54
Tabela 18: Forças de Resistência de compressão de G0,00	55
Tabela 19: Peso e custo das tesouras	56

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
NBR	<i>Norma Brasileira</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

LISTA DE SIMBOLOS

S_1	Fator topográfico
S_2	Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação a parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno
S_3	Fator estatístico
V_0	Velocidade básica
V_k	Velocidade Característica
q	Pressão Dinâmica
P_T	Próprio peso da tesoura
L	Comprimento do vão do galpão
P_{TL}	Peso das Terças e Longarinas
l	Comprimento do vão da Terça
P_{Te}	Peso da Telha
P_{Ti}	Peso do Tirante
P_{Co}	Coluna
P_{Ca}	Calha
P_{EL}	Escora
F_d	Força da combinação de ações
CP	Força devido ao próprio peso da estrutura
SC	Força devido a sobrecarga de utilização
V_1	Força devido ao vento tipo 1
V_2	Força devido ao Vento tipo 2
V_3	Força devido ao Vento tipo 3
γ_g	Coeficiente de ponderação de ações permanente
γ_q	Coeficiente de ponderação de ações variáveis
Ψ_0	Fator de combinação de redução
$N_{t,Sd}$	Força de tração solicitada
$N_{c,Sd}$	Força de compressão solicitada
λ	Índice de esbeltes
L	Comprimento da barra
r	Raio de giração

$N_{t,Rd}$	Força axial de tração resistente de cálculo
$N_{t,Sd}$	Força de tração solicitada
A_g	Área da seção bruta
A_e	Área líquida efetiva da seção da seção transversal da barra
A_n	Área da seção líquida
f_y	Resistência ao escoamento do aço
f_u	Resistência a ruptura do aço
γ_{a1}	Coefficiente de ponderação da resistência ao escoamento, flambagem e instabilidade
γ_{a2}	Coefficiente de ponderação a ruptura
C_t	Coefficiente de redução da área líquida
Q	Fator de redução total associado à flambagem
b	Largura do perfil
t	Espessura do perfil
$N_{c,Rd}$	Força axial de compressão resistente de cálculo
χ	Fator de redução associado à resistência a compressão
A_g	Área da seção transversal bruta
f_y	Resistência ao escoamento do aço
γ_{a1}	Coefficiente de ponderação da resistência ao escoamento, flambagem e instabilidade
λ_0	Índice de esbeltes reduzido
N_e	Força axial flambagem elástica
N_{ex}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo x
$K_x \cdot L_x$	Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x
I_x	Momento de inércia em relação ao eixo x
N_{ey}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo y
$K_y \cdot L_y$	Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y
I_y	Momento de inércia em relação ao eixo y
E	Módulo de elasticidade
N_{ez}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo z
C_w	Constante de empenamento da seção transversal
G	Módulo de elasticidade transversal

J	Constante de torção da seção transversal
r_0	Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento
N_{eyz}	Força axial de flambagem elástica em relação ao eixo yz

LISTA DE EQUAÇÕES

N°	Equação	Uni
(1)	$P_T(L) = 0,05 + 0,0016 \cdot (L - 15)$	kN
(2)	$P_{TL}(l) = 0,0065 \cdot l$	kN
(3)	$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$	m/s
(4)	$q = 0,613 \cdot V_k^2$	$\frac{kN}{m^2}$
(5)	$R_d \geq S_d$	kN
(6)	$S_{ser} \leq S_{lim}$	kN
(7)	$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$	
(8)	$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}$	kN
(9)	$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k}$	kN
(10)	$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$	kN
(11)	$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$	kN
(12)	$\lambda = \frac{L}{r}$	
(13)	$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$	kN
(14)	$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}}$	kN
(15)	$A_e = C_t \cdot A_n$	cm^2
(16)	$C_t = \frac{A_c}{A_g}$	
(17)	$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$	kN

$$(18) \quad N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad kN$$

$$(19) \quad \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658\lambda_0^2$$

$$(20) \quad \lambda_0 \geq 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$(21) \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$(22) \quad N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad kN$$

$$(23) \quad N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \cdot [1 - (y_0/r_0)^2]} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ey} \cdot N_{ez} [1 - (y_0/r_0)^2]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right] \quad kN$$

$$(24) \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad kN$$

$$(25) \quad N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] \quad kN$$

$$(26) \quad r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)} \quad cm$$

$$(27) \quad J = I_x + I_y \quad cm^4$$

$$(28) \quad Q = Q_s \cdot Q_a$$

$$(29) \quad Q_s = 1, \quad \text{para } \frac{b}{t} \leq 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(30) \quad Q_s = 1,340 - 0,76 \cdot \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para } 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(31) \quad Q_s = \frac{0,53 \cdot E}{f_y \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para } \frac{b}{t} > 0,91 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(32) \quad P_I = \left(\frac{P_T + P_{TL} + P_{Te} + P_{Ti}}{2} \right) + P_{Co} + \frac{P_{Ca}}{2} + P_{EL} \quad kN$$

$$(33) \quad P_{II} = P_T + P_{TL} + P_{Te} + P_{Ti} \quad kN$$

- (34) $P_{III} = P_T + P_{TL} + P_{Te} + P_{Ti}$ *kN*
- (35) $F_{d1} = 1,35.CP + 1,5SC + 1,4.V_1.0,6$ *kN*
- (36) $F_{d2} = 1,35.CP + 1,5SC + 1,4.V_2.0,6$ *kN*
- (37) $F_{d3} = 1,35.CP + 1,5SC + 1,4.V_3.0,6$ *kN*
- (38) $F_{d4} = 1,35.CP + 1,4.V_1 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (39) $F_{d5} = 1,35.CP + 1,4.V_2 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (40) $F_{d6} = 1,35.CP + 1,4.V_3 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (41) $F_{d7} = 1,00.CP + 1,4.V_1 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (42) $F_{d8} = 1,00.CP + 1,4.V_2 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (43) $F_{d9} = 1,00.CP + 1,4.V_3 + 1,4.SC.0,8$ *kN*
- (44) $F_{d10} = 1,00.CP + 1,4.V_1$ *kN*
- (45) $F_{d11} = 1,00.CP + 1,4.V_2$ *kN*
- (46) $F_{d12} = 1,00.CP + 1,4.V_3$ *kN*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
2.1 AÇO	16
2.2 PERFIS	19
2.3 GALPÕES.....	21
2.4 AÇÕES ATUANTES NO GALPÃO	22
2.5 PRÓPRIO PESO	22
2.6 SOBRECARGA DE UTILIZAÇÃO NBR 6120	23
2.7 CARGAS DEVIDO AO VENTO.....	23
2.7.1 Pressão dinâmica	23
2.7.2 Coeficientes de pressão	26
2.8 NBR 8800/2008	29
2.8.1 LIMITAÇÕES DA NORMA.....	29
2.8.2 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS E DE SERVIÇO.....	30
2.8.3 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO E COMBINAÇÃO	30
2.8.4 BARRAS TRACIONADAS	33
2.8.5 BARRAS COMPRIMIDAS.....	34
3 METODOLOGIA.....	38
3.1 ESTRUTURA DAS EDIFICAÇÕES.....	38
3.2 ÁREA DE INFLUÊNCIA	39
3.3 CARGAS DEVIDO AO VENTO.....	40
3.3.1 Velocidade básica do vento	41
3.3.2 Fator topográfico.....	41
3.3.3 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno	41
3.3.4 Fator estatístico S3.....	41

3.3.5 Velocidade Característica	42
3.3.6 Pressão Dinâmica.....	42
3.3.7 Coeficiente de pressão externo	42
3.3.8 Ações do vento	43
3.3.9 Diagrama de esforços do vento	44
3.4 PRÓPRIO PESO	44
3.4.1 PESO PROPRIO DE CADA ELEMENTO.....	44
3.5 SOBRECARGA DE UTILIZAÇÃO.....	45
3.6 FTOOL.....	46
3.7 COMBINAÇÕES	46
3.8 CALCULO DE RESITÊNCIA.....	47
3.8.1 Tração.....	47
3.8.2 Tração.....	47
3.8.3 Compressão.....	48
3.8.4 Fator de redução associado a flambagem local	48
3.8.5 Fator de redução associado	49
3.8.6 Força axial de compressão resistente de Cálculo.....	49
4 RESULTADOS	50
4.1 REAÇÕES DAS BARRAS DA TESOURA	50
4.2 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES.....	50
4.3 PERFIS	53
4.4 FORÇA DE RESITENCIA	54
4.5 PESO E CUSTO DAS TESOURAS	55
5 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	60
ANEXO	73

1 INTRODUÇÃO

Por volta de 1750 se descobriu uma forma de produzir aço industrialmente, dessa forma permitindo o início das primeiras obras em aço. As obras que se destacaram em utilizar estrutura metálica na época foram a escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal na França, uma ponte de ferro fundido feita na Inglaterra 1757. O aumento da utilização de estruturas metálicas deu-se nos Estados Unidos por volta de 1880 para a construção de edifícios, principalmente na região de Chicago. No Brasil, a primeira obra que se utilizou ferro fundido foi a Ponte de Paraíba do Sul, em Niterói, RJ, 1857. O teatro Santa Isabel no Recife em 1857, se tornou a primeira obra em edifícios que se utilizou aço importado no Brasil (BELLEI, 2010).

As estruturas metálicas em aço apresenta diversas vantagens, tais como resistência do material em diversos estados de tensão; possui propriedades bem definidas como limite de escoamento, módulo de elasticidade e ruptura, dessa forma proporcionando uma grande margem de segurança no trabalho; a fabricação é bem mecanizada permitindo um prazo final de construção menor; os elementos podem ser desmontados e substituídos com facilidade, permitindo assim reforçar ou substituir os elementos estruturais com problemas; material que não seja mais necessário à construção pode ser reaproveitado; facilidade de execução e organização em canteiros de obras (BELLEI, 2010) e (MATOS, 2014).

Uma desvantagem que as estruturas metálicas de aço possuem, é a suscetibilidade do aço à corrosão, para isso ao projetar as estruturas devemos nos preocupar com os ambientes internos e externos, observando se a região ou local de trabalho apresenta elementos agressivos como por exemplo um ambiente externo de praia, ou um ambiente interno com piscina. Nesses casos os perfis pedem uma proteção contra os elementos do ambiente isso pode ser utilizado tintas de proteção ou comprar perfis com alta resistência à corrosão, em contrapartida são mais caros.

Atualmente, as estruturas em aço são aplicáveis em casas, estabelecimentos comerciais, mezaninos, galpões industriais, estruturas de múltiplos andares, aeroportos e estádios. Para o dimensionamento dessas estruturas geralmente utilizamos perfis de aço laminados ou soldados, ou de seção tubular com ou sem

costura, com as ligações que sejam parafusadas ou soldadas, portanto utilizamos a norma Brasileira ABNT (2008) para o projeto dessas estruturas indicadas. Esta norma utiliza como base o método de estados limites, onde verificamos os Estados Limites de Serviço (ELS) e os Estados Limites Últimos (ELU).

1.1 JUSTIFICATIVA

Cada projeto tem sua singularidade, pontos específicos que podem ser alterados de região para região, como por exemplo necessidade ou não de importação de matéria prima, mão de obra qualificada tanto para projetos quanto para a execução da obras, fatores topográficos, fatores climáticos, rugosidade do terreno e etc. O Professor Guillermo Van Erven Cabala do Instituto Federal da Bahia, Eunápolis 2017, destacou entres esses ponta a falta de mão de obra especializada em execução de projetos em estrutura metálica na cidade, então propôs um estudo de dimensionamento de estruturas com uma configuração mais simples e eficiente para a produção, tornando se assim mais simples e segura a execução do projeto com os profissionais da região.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo de otimização de tesouras metálicas de forma que se projete estruturas simples, para que não haja necessidade de mão de obra altamente especializada para uma montagem segura, pois atende as normas de projeto vigentes e com o custo otimizada, respeitando as condições anteriores. Este trabalho também tem como objetivo tornar mais eficiente a escolha do perfil e fornecer uma ferramenta mais ágil para projetos.

1.2.1 Objetivos específicos

Nesse estudo temos como objetivos específicos fornecer um método de cálculo, para dimensionar de tesouras de estrutura metálicas para a cidade de Eunápolis na BA, nas condições que abrangem a maior parte da cidade, realizar uma avaliação da tesoura mais leve e da tesoura com menor custo de produção. O galpão citado apresenta 6 metros de altura, 40 metros de comprimento e 10 metros de vão.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 AÇO

Os aços são ligas de Ferro que contém entre 0,008 e 2,14% de carbono em sua composição (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2002). A quantidade de Carbono está diretamente ligada à resistência mecânica dos aços, quanto maior a quantidade de carbono no aço mais resistente ele se torna, mas também se torna mais frágil e quebradiço. Já os aços com menor quantidade de carbono apresentam menor resistência mecânica, mas eles são dúcteis, essa característica permite observar a deformação da estrutura antes da ruptura servindo assim de aviso de segurança, para retirada de pessoal ou ações corretivas (RABELLO 2010).

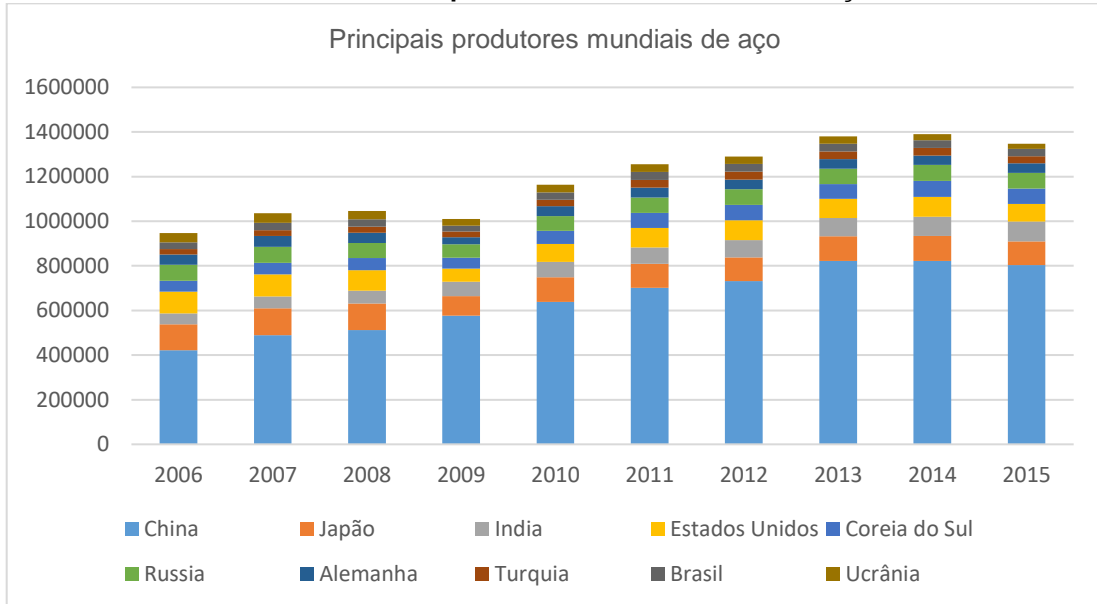
Além da quantidade de carbono, os aços podem ter suas características alteradas de acordo com o tratamento térmico que sofrem no processo de fabricação, que podem o tornar mais dúctil ou rígido dependendo da necessidade da aplicação, temos também que as adições de outros elementos de liga interferem nas propriedades do aço, por exemplo a adição de cromo aumenta a resistência a fratura, fadiga e a corrosão (CHIAVERINI, 1979e RABELLO 2010)

A Ásia domina o mercado de aço com quatro entre os cinco maiores produtores de aço mundial, lideradas pela China que em 2015 produziu mais de 7 vezes do que o segundo colocado o Japão. O mercado mundial de produção de aço cresceu de 2009 a 2014, desde então o mercado começou a diminuir, no Brasil um fator agravante foi a crise política que causou uma crise no mercado de construção civil e por consequência o mercado de estruturas metálicas, mesmo assim o Brasil é nono produtor mundial de aço e o primeiro da América do Sul, como mostrado nas Gráfico 1 e Gráfico 2.

Entre 2015 e 2016 o mercado de aço brasileiro sofreu muitas quedas redução de 9,2% na produção de aço bruto e 7,7 % para aços laminados, o consumo de produtos siderúrgicos sofreu 14,4% de redução, as vendas internas diminuíram 9,1%, as importações e exportações reduziram 45,9% e 2,1% respectivamente, sendo que as exportações sofreram uma queda menor em volume,

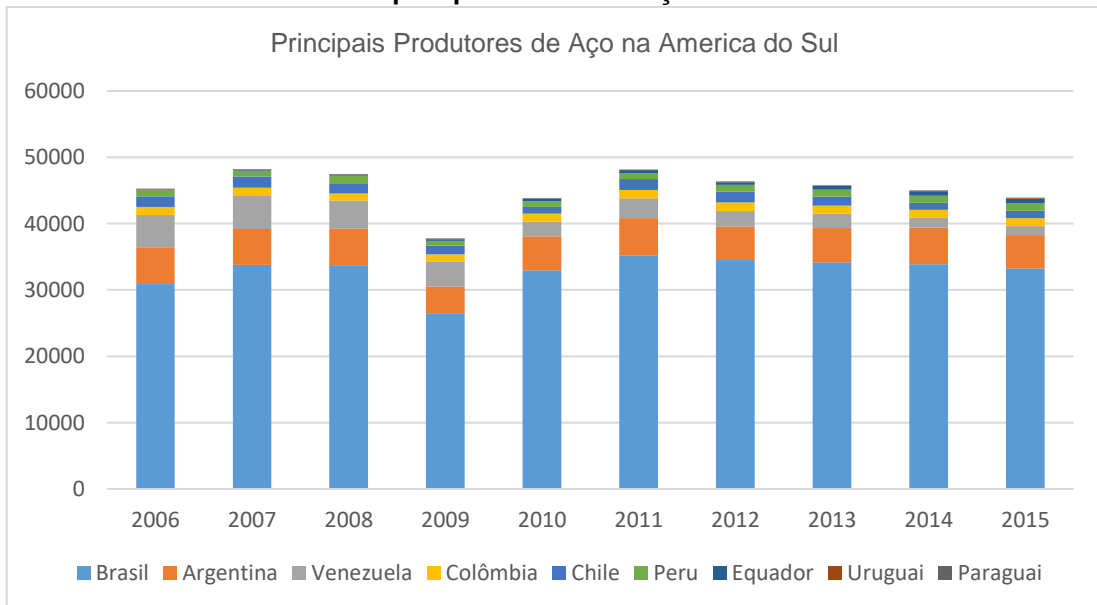
mas em valor de 15% representando 13,4 Milhões. (RIO DE JANEIRO, 2017, Relatório de atividades de 2016 e WORDSTELL ASSOCIATION, 2016)

Gráfico 1 - Principais Produtores Mundiais de Aço



Fonte: Adaptado de STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2016

Gráfico 2 - Principais produtores de Aço da América do Sul

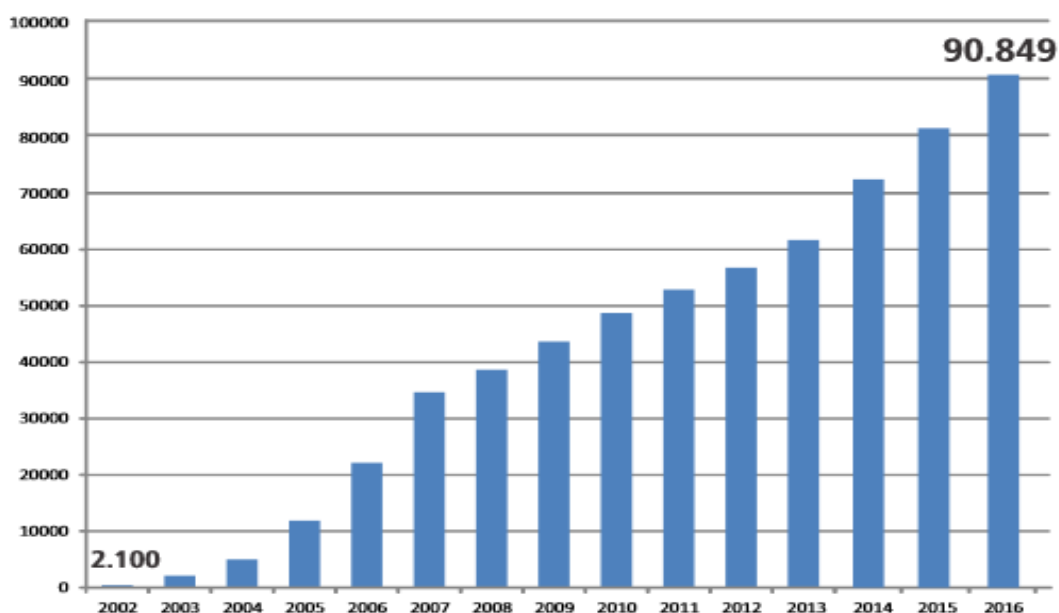


Fonte: Adaptado de STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2016

Apesar do mercado do aço ter sido afetado nos últimos anos, nota-se um crescente aumento nas pesquisas, em busca por especialização em estruturas em

aço. A 5ª Edição da Pesquisa “Perfil dos Fabricantes de Estruturas de Aço” teve um acréscimo de 27% no número de empresas pesquisadas em relação a ano de 2014, com um total de 324 empresas que empregam aproximadamente 20,9 mil trabalhadores e faturam cerca de 6,9 bilhões de reais e produzem 1,234 milhão de toneladas de estruturas em aço no ano de 2015. Além dos avanços das pesquisas também temos uma busca maior por informações sobre estrutura metálica por arquitetos, engenheiros, empresas e estudantes, a Figura 1 mostra o crescimento de cadastros no site da CBCA uma das principais instituições de treinamento e pesquisa de aço. (CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2016)

Figura 1 - Cadastro do site CBCA

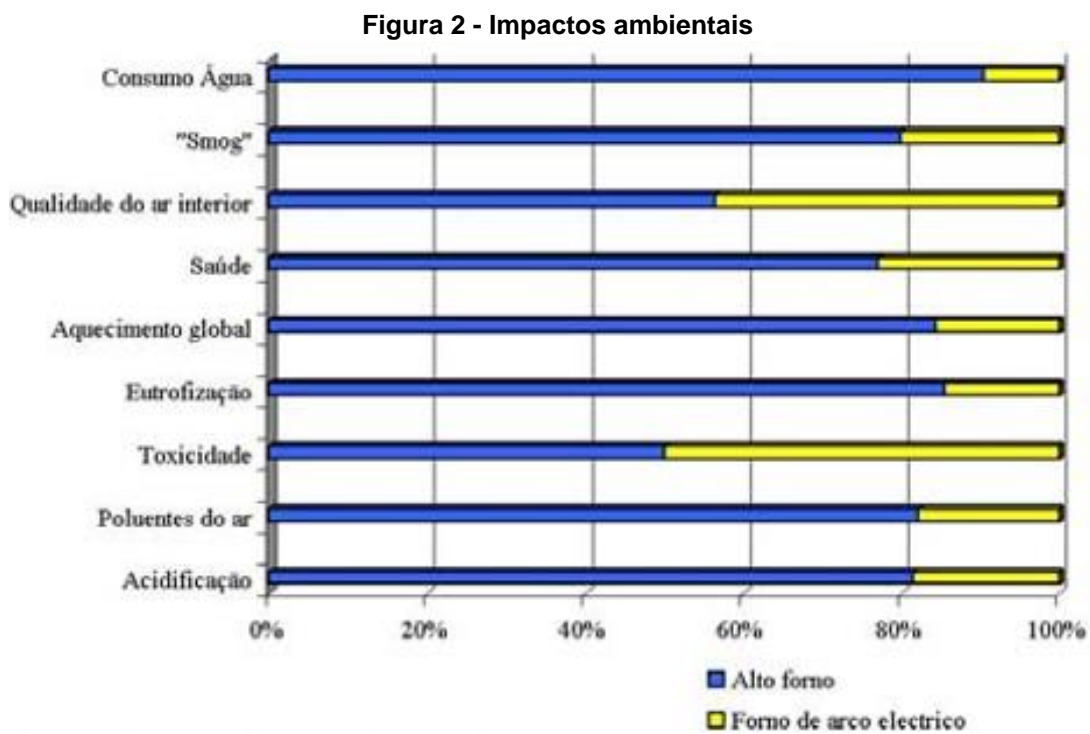


Fonte: RELATÓRIO ATIVIDADES 2016

É possível produzir aço a partir de dois tipos de processos básicos que são alto forno e forno elétrico de arco. Em alto forno se utiliza principalmente as matérias primas como minério de ferro, calcário e coque e 25% a 35% de aço reciclado, atualmente este é principal processo utiliza cerca de 60% do aço é produzido a partir de alto forno. Já produção de aço a partir de forno de arco elétrico temos em sua composição 95% de aço reciclado (GERVÁSIO, 2008).

Indústria siderurgia é uma indústria muito agressiva em relação ao consumo de energia e matérias. Podemos buscar reduzir esses impactos causados pela indústria, buscando formas mais conscientes de produção de aço já citado a

produção de aço em forno de arco elétrico. Além da reciclagem de 95% de aço em seu processo temos que a produção de uma tonelada de aço em forno de arco elétrico consome menos energia, cerca de 10 GJ enquanto de alto forno 29 GJ. O forno de arco elétrico poupa 1,25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário em seu processo. Também se tem uma menor emissão de CO₂ na atmosfera, na produção de 1kg de aço, se tem a emissão de 462 g de CO₂, enquanto em alto forno temos 2494 g de CO₂. A Figura 2 compara os impactos ambientais causados por cada processo em termos de porcentagem.



Fonte: GERVASIO 2008

2.2 PERFIS

Entre os perfis estruturais mais comuns, temos três tipos principais, que são perfis de chapa dobradas, perfis de chapa soldadas e por fim perfis laminados que serão os perfis utilizados nesse estudo.

Os perfis de chapa dobrada, são confeccionados pelo dobramento de chapas a frio. Os perfis podem ser leves confeccionados com chapas entre 1,5 mm e 5 mm, muito leves que são produzidas utilizando Light Steel Framing, onde os perfis

são de aço galvanizado com espessuras que variam de 0,8 a 1,5 mm. Já os perfis mais pesados com chapas que podem chegar até 25 mm, necessitam de um raio mínimo de curvatura para não sofrerem fissuras ou alterações nas características do aço (RABELLO, 2010).

Esses perfis conformados a frio são regulados de acordo com as normas NBR 6355/2003 Perfis de estruturais de aço formados a frio – Padronizados para a fabricação, e NBR 14762/2001 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento para projetos estruturais.

Pelo seu processo de fabricação o perfil de chapas soldadas apresenta grandes variações de dimensões como a utilização de chapas de 5 mm a 50 mm e também grande variabilidade geométrica. Possui um alto custo de produção, portanto são geralmente utilizados em obras de médio e grande porte ou quando a necessidade de um perfil com forma especial (RABELLO, 2010).

Já os perfis laminados eles são padronizados e limitados, porem apresentam menor custo de fabricação. Por serem padronizados eles também apresentam propriedades geométricas e físicas bem definidas. A norma de fabricação é a NBR 7007/2002 e para utilização é a (NBR, 2008). Para este estudo, só será utilizado perfis laminados.

Entre os perfis laminados mais utilizados no Brasil são perfil U, I, H e Cantoneiras, os perfis em U são utilizados para treliças de grande porte, composição de pilares pela através da soldagem dos perfis entre si ou com chapas de cantoneiras, terças para apoio de telhados e vigas para pequenas cargas e vão. Os perfis em I são comumente utilizados em vigas pelo fato de possuírem a massa concentrada longe do centro de gravidade e também por apresentar seção extremamente adequado para esforços de flexão. Já os perfis H são geralmente aplicados pilares por possuírem boa rigidez em ambas direções e apresentam uma boa resposta a esforços de compressão axial. As cantoneiras podem ser utilizadas em elementos de ligação, composição de pilares, reforço de chapa de pisos de vedação e por fim barras treliçadas, principalmente em tesouras telhados, neste último caso é aconselhável utilizar perfil de dupla cantoneiras pois faz com que o centro de gravidade da força passe pelo CG da peça. Os perfis de Cantoneiras podem ser tanto de abas diferentes quanto abas iguais (RABELLO, 2010).

Nesse estudo utilizou-se perfis laminados de cantoneiras duplas, com abas iguais, para o dimensionamento de tesouras de telhados, pois são os perfis mais utilizados para o projeto. O perfil de cantoneiras duplas, são os mais recomendáveis, pois tem que o centro de gravidade da força passa pelo centro geométrico da seção, evitando assim excentricidades que resultam em esforços indesejáveis (RABELLO, 2010).

2.3 GALPÕES

Edifícios industriais ou galpões industriais tem como objetivo principal cobrir grande áreas como fabricas, oficinas almoxarifados, depósitos, hangares e etc. O projeto de galpões industriais tem como base os seguintes elementos: locação e dimensões dos equipamentos que serão abrigados; circulação; movimentação de cargas; iluminação e aeração; condições e tipos de terreno (BELLEI, 2010).

Galpões industriais podem ser de vão simples, como o utilizado nesse trabalho, ou de vãos múltiplos ao qual é indicado quando a necessidade de cobertura de áreas maiores. Para os galpões de vão simples temos os seguintes tipos: Edifícios com coluna simples e tesouras; Edifício com coluna simples e treliça; Edifício com coluna simples e tesoura, para ponte rolante e leve; Edifício com coluna treliçada ou travada e tesoura; edifício em pórtico de alma cheia; Edifício em pórtico de alma cheia com vigas de rolamento (BELLEI, 2010).

Nos projetos deste trabalho, projetou-se galpões industriais de vão simples, com coluna simples e tesoura, esse tipo de galpão apresenta peso da estrutura de aço por unidade de área em kg/m^2 muito baixo, portanto se torna uma construção barata. As tesouras podem apresentar varia formatos e configurações dependendo das necessidades da estrutura. Para o fechamento lateral, podemos utilizar chapas de aço galvanizado, também podemos inserir folhos translúcidas para melhorar a iluminação e utilizar calhas simples e tubos de descida para drenagem do telhado (BELLEI, 2010).

Embora o Brasil seja líder em estruturas de concreto, mesmo tendo um grande mercado produtor de aço (o nono produtor mundial de aço), a

competitividade do mercado tem buscado novas soluções mais econômico, dessa forma as estruturas mistas (aço e concreto) tem sido recebida com sucesso e as estruturas somente em aço, muito utilizadas em construções industriais, deixando para trás a tradição de construir somente em concreto (SANTOS, 2017)

SANTOS (2017) realiza uma comparação econômica entre estruturas com pilares e vigas de concreto e estruturas metálicas. A comparação é entre dois galpões com 25 m de vão, 102 metros de comprimento e 9 m de altura. Ambos os casos os fechamentos laterais foram realizados em estruturas mistas e telhas de metálicas. Pode se observar que a o a estrutura em aço tem sua execução tem o tempo reduzido quando comparado ao concreto, não há perdas de material, não é necessário uso de formas e escoras. Em seu trabalho o orçamento da obra em concreto é R\$ 322.867,00 e a estrutura metálica apresenta uma economia de 34,18% desse valor.

2.4 AÇÕES ATUANTES NO GALPÃO

As ações atuantes no galpão podem ser classificadas em ações permanentes e variáveis. As cargas permanentes são definidas como o peso próprio da estrutura é o peso da soma de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Já as ações variáveis são cargas acidentais que são definidas como toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso, por exemplos pessoas, moveis e materiais, também temos como ação variável as ações devido a dinâmica do vento sobre a estrutura (NBR,1980 e NBR, 1998).

2.5 PROPRIO PESO

Antes do dimensionamento de todos elementos da estrutura, não tem como saber o peso exato da estrutura, mas mesmo assim precisamos deste valor para o cálculo de dimensionamento, para isso utiliza se equações e valores aproximados para poder estimar o peso próprio de cada elemento da estrutura e assim prosseguir com os cálculos.

O Peso Próprio da tesoura é definido pela Equação 1, onde o valor de “L” é o comprimento do vão do galpão em metros. Para as Terças e Longarinas temo a equação (2), onde “l” é o comprimento do vão da terça. Os valores de peso próprio das Telhas P_{Te} são determinados pelas indicações do catálogo do fabricante. No caso dos Tirantes (P_{Ti}), temos um valor aproximado por área, que é em torno de 10.10^{-3}kN/m^2 . As Colunas (P_{Co}), Calhas (P_{Ca}) e Escora Lateral (P_{EL}) tem seus valores estimados de acordo com o seu comprimento que são de aproximadamente de 1 kN/m para colunas, 0,1 kN/m para calhas e 0,4 kN/m para escora lateral.

2.6 SOBRECARGA DE UTILIZAÇÃO NBR 6120

Sobrecarga de utilização é uma das cargas aplicadas para o cálculo de edificações, que pode ser determinada pela norma NBR (1980). Esta Norma fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais.

Galpões de pequeno e médio porte em geral adotam uma sobrecarga de utilização de $0,15\text{ kN/m}^2$, a NBR (1980) recomenda uma sobrecarga de $0,5\text{ kN/m}^2$.

2.7 CARGAS DEVIDO AO VENTO

No caso das ações do vento, temo a NBR (1988) que tem como objetivo fixar as condições exigíveis na consideração de forças devido à ação estatística e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. A seguir será explicado os principais elementos da norma que influenciam o cálculo de pressão dinâmica, para o tipo de galpão em que se projetou neste trabalho.

2.7.1 Pressão dinâmica

Na determinação dos efeitos dinâmicos do vento, temo que o primeiro passo é determinar a velocidade característica do vento (V_k), pela Equação (3)

sendo que essa velocidade depende da velocidade básica do vento (V_0), fator topográfico (S_1), características do terreno e da edificação (S_2) e o fator estatístico (S_3). Após calcular a velocidade do vento característico pode se determinar o valor da pressão dinâmica em N/m^2 do vento pela Equação (4)

A velocidade básica do vento é definida como uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. O valor da velocidade básica pode ser retirada da Figura 3

O fator topográfico leva em consideração as características do relevo, essas características são divididas em três categoria que são: Terreno plano ou fracamente acidentado; Terreno com Taludes e morros; Vales profundos, protegidos dos ventos em qualquer direção. Na categoria de “Taludes e morros”, cujo fator topográfico observa outros critérios como altura média a partir da superfície do terreno no ponto considerado (z), diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro (d) e da inclinação média do talude ou encosta do morro (θ). O valor do fator topográfico pode é determinado de acordo com a seção 5.2 da NBR (1988).

Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno são as variáveis que influenciam o fator S_2 . As categorias de rugosidade do terreno são divididas em cinco:

- Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente;
- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas;
- Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas;
- Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada;
- Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados;

Figura 3 - Isopletas da velocidade básica



Fonte: ABNT NBR 8800/2008

Já as dimensões das edificações são divididas em três classes: Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m; Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m; Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Por fim, após determinar a categoria da rugosidade, classe e altura da edificação podemos encontrar o valor de S_2 na Tabela 1, encontrada na seção do 5.3 da ABNT (1988). A primeira coluna representa a altura da edificação, as outras colunas são os coeficientes de rugosidade, temos que 4a representa a categoria 4 relacionada ao tipo de terreno e "a" a classe, que apresenta o tipo de edificação.

Tabela 1: Fator S2

S2															
h (m)	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c
5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76

Fonte: Adaptado da NBR 6023

O fator estatístico S3 avalia o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação por meios de conceitos estatísticos, esses valores estão organizados na Tabela 2. Esse fator é explicado melhor na seção 5.4 da ABNT (1988).

Tabela 2: Fator S3

Grupo	S3	Descrição
1	1,1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após 1 uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)
2	1	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
3	0,95	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)
4	0,88	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)
5	0,83	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção

Fonte: Adaptado NBR 6123

2.7.2 Coeficientes de pressão

A pressão dinâmica sobre a estrutura se relacionam diretamente com a forma do edifício. De acordo com que o vetor de força do vento é aplicado sobre uma superfície, ele apresenta um coeficiente de pressão, que podem ser chamados de coeficiente de pressão e forma de acordo com a norma ABNT (1988), que indica se a estrutura sofrerá uma reação maior ou menor do vento de acordo com sua geometria. Temos dois tipos de coeficientes atuando sobre a estrutura, os coeficientes de pressão interno e externo.

No caso do coeficiente de pressão interno (C_{pi}), temos uma relação direta com a permeabilidade da estrutura. A permeabilidade de uma estrutura é definida como a relação entre as áreas das aberturas existentes em cada parte da edificação

e a área total da parte correspondida. Alguns exemplos de aberturas são porta, janelas, ventilação em telhas, chaminés e etc. os elementos considerados impermeáveis de acordo com a ABNT (1989) são lajes, cortinas de concreto armado ou protendido entre outras (BELLEI, 2010).

Edificações com paredes internas permeáveis, podem ser consideradas como pressão interna uniforme. Para este modelo adotou-se os seguintes coeficientes de pressão interno de forma: Para construção com duas faces opostas igualmente permeáveis, coeficiente de +0,2 e para outras faces impermeáveis com coeficiente de -0,3; Construções com quatro faces igualmente permeáveis apresentam coeficiente de -0,3 ou 0, considerando o mais nocivo para situação; Construções com permeabilidade igual em todas as faces, exceto por uma abertura dominante em uma delas tem seus coeficientes relacionados diretamente com a razão entre as áreas de todas as aberturas (A_d), a área total das coberturas em todas as faces (A_s) e o tipo de abertura (BELLEI, 2010). Os valores desta relação podem ser observados na seção 6.2.5 da ABNT (1988).

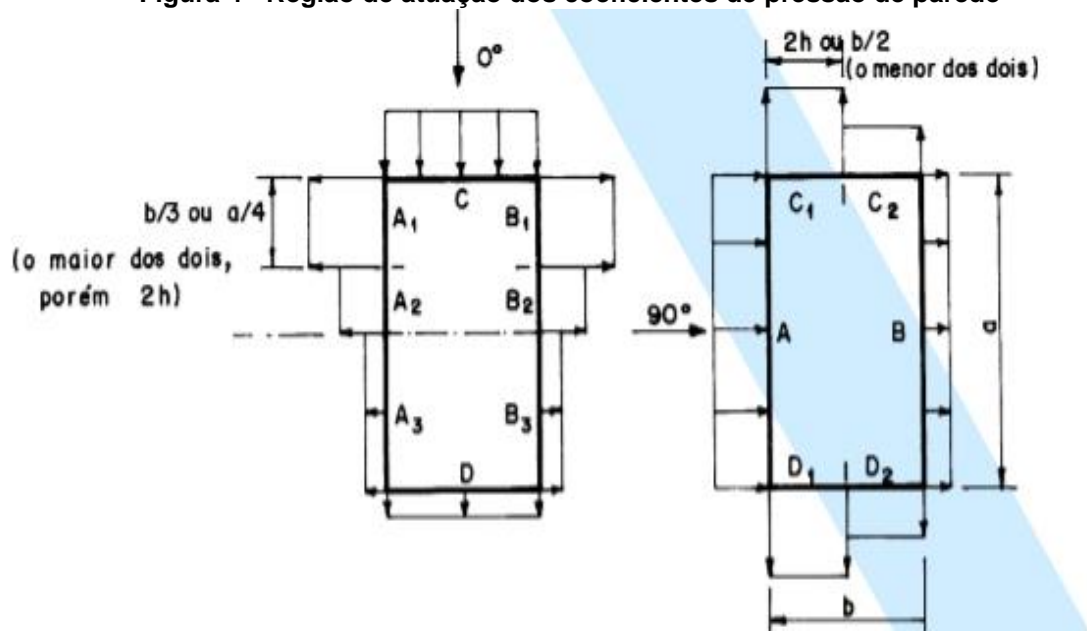
Em relação a pressão externa da ABNT (1988) apresenta dados nas tabelas 4 a 8 e tabelas nos anexos E e F da NBR 6123 (ABNT, 1988). Há superfícies que apresentam consideráveis variações de pressões, nestes casos elas foram subdivididas e foi definido um coeficiente para cada área. Esses coeficientes são válidos somente para o cálculo das forças nas suas respectivas zonas. O valor de C_{pe} representa o valor de coeficiente de pressão médio. Neste trabalho utiliza-se as Tabela 3 e a Tabela 4 para determinar os coeficientes de pressão externos.

Tabela 3: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta

Altura relativa		Valores de C_e para parede								C_{pe}
		0°				90°				
		A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 E D1	C2 E D2	
$h/b < 1/2$	$1 < a/b < 3/2$	-0,8	-0,5	0,7	-0,4	0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 < a/b < 4$	-0,8	-0,4	0,7	-0,3	0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
$1/2 < h/b < 3/2$	$1 < a/b < 3/2$	-0,9	-0,5	0,7	-0,5	0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 < a/b < 4$	-0,9	-0,4	0,7	-0,3	0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
$3/2 < h/b < 6$	$1 < a/b < 3/2$	-1,0	-0,6	0,8	-0,6	0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 < a/b < 4$	-1,0	-0,5	0,8	-0,3	0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: Adaptado NBR 6123

Figura 4 - Região de atuação dos coeficientes de pressão de parede



Fonte: Adaptado da NBR 6123

As variáveis indicadas na Figura 4 podem ser melhor explicadas na seção 6 da NBR 6123 (ABNT, 1988), onde podemos determinar a influência da carga do vento de acordo com a sua direção nas paredes da edificação.

Tabela 4: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

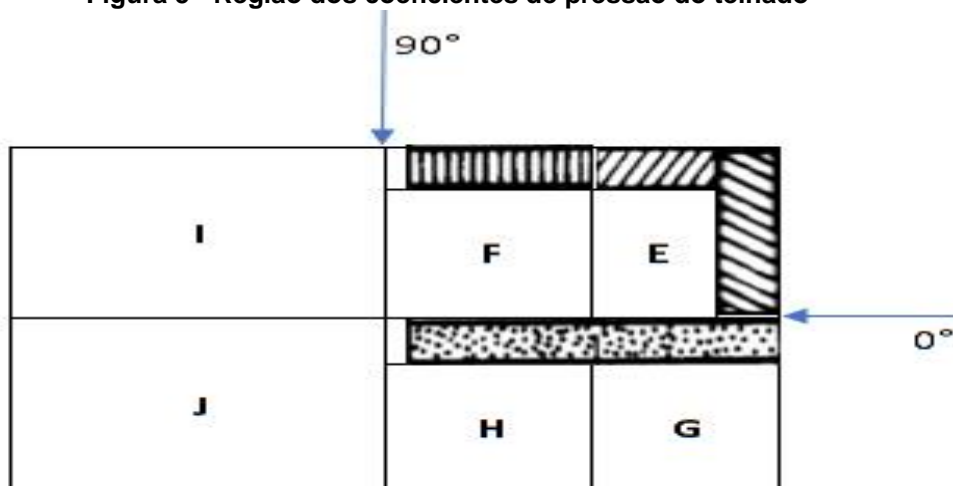
Cp do telhado									
Altura relativa	graus	90°				0°			
		EF	GH	EG	FH				
0,5	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2	-2	-2	
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
1,5	0	-0,8	-0,6	-1	-0,6	-2	-2	-2	
	5	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2	-2	-1,5	-1
	10	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2	-2	-1,5	-1,2
6	0	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2	-2	-2	
	5	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1
	10	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1,2

Fonte: Adaptado NBR 6123

A Figura 5 indica onde cada coeficiente de pressão sobre o telhado da Tabela 4 atua na estrutura. Em caso que o vento atinge a estrutura com um ângulo

de 90°, tem-se que os valores de E, F, G e H são rebatidos em I e J, assim como os valores de coeficientes de pressão.

Figura 5 - Região dos coeficientes de pressão do telhado



Fonte: Adaptado da NBR 6123

2.8 NBR 8800/2008

2.8.1 LIMITAÇÕES DA NORMA

Esta norma tem como objetivo auxiliar na segurança de projetos, de estrutura de aço e estruturas mistas de aço e concreto, de edifícios destinados à habitação, de edifícios de usos comercial e industrial e de edifícios públicos. A norma se baseia no método de estados limites e as principais limitações desta norma são: Os perfis de aço são laminados ou soldados, ou de seção tubular com ou sem costura, não podendo ser perfis conformados a frio; Ligações sejam executadas com parafusos ou soldas; Aplicação exclusiva aos perfis de aço não-híbridos (ABNT, 2008).

Entre os aços aqui relacionados, temos para efeito de cálculo, os valores estabelecidos das propriedades mecânicas:

- Módulo de elasticidade $E = E_a = 200\ 000\ MPa$
- Coeficiente de Poisson, $\nu_a = 0,3$
- Módulo de elasticidade transversal, $G = 7\ 000\ MPa$

- Coeficiente de dilatação térmica, $B_\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- Massa específica, $\rho_\alpha = 7\,850 \text{ kg/m}^3$

2.8.2 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS E DE SERVIÇO

No método dos estados limites, esta norma se baseia na NBR 8681/2003 Ações e segurança nas estruturas Procedimento. Os estados limites observado são os Estados-Limites Últimos (ELU) e o Estados-Limite de Serviço (ELS).

O ELU está relacionado com a combinação mais desfavoráveis das ações previstas na vida útil, na construção ou quando atura uma ação especial ou excepcional. Temos assim dois esforços observados no ELU, um que representa os valores de cálculo dos esforços atuantes (S_d) e outro em que representa os valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes (R_d). Considerando o módulo dos dois valores, temos que a condição de segurança pela Equação (5):

ELS se refere o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização, assim temos a relação de dois esforços também, o primeiro representa os valores das estruturas, obtidos como base a combinação de serviços (S_{ser}) e o segundo valor que representa os valores-limites adotados para esse efeito (S_{lim}). A condição de relação dessas variáveis é indicada pela Equação (6).

As ações são quantificadas pelos seus valores representativos, F_r que pode ser: Valores característicos ou valores característicos nominais; Valores convencionais excepcionais, que são atribuídos por ações excepcionais; Valores reduzidos, em função das combinações de ações.

2.8.3 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO E COMBINAÇÃO

Para determinar os valores de cálculo, multiplicamos coeficientes de ponderação pelos valores das cargas ou ações atuantes sobre a estrutura e combinamos esses valores para determinar os valores de estados mais críticos atuantes, para assim podermos dimensionar a nossa estrutura.

Esses coeficientes, tem como objetivo considerar a variabilidade das ações (γ_{f1}), simultaneidade de atuações de ações (γ_{f2}) e considerar os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações, seja por problemas construtivos, deficiência do método de cálculo utilizado, de valor igual ou superior a 1,10 ($f\gamma_{f3}$). O coeficiente de ponderação é definido pela Equação (7).

Coeficientes de ponderação do ELU e ELS em geral apresentam valores diferente. No ELU temos que o produto de $\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$ é representado pelos coeficientes de ponderação das ações permanentes (γ_g), ações variáveis (γ_q) e f_2 representa o fator de combinação (Ψ_0). Para ELS o coeficiente de ponderação f é igual a 1,0 e as combinações de serviço são dadas por Ψ_1 e Ψ_2 . As Tabela 6 e Tabela 7 indicam os valores dos coeficientes.

A combinação tem como objetivo avaliar a simultaneidade das ações sobre uma estrutura, assim buscando os efeitos mais desfavoráveis para estrutura. Temos combinações ultimas são classificadas como: Normal, especial, de construção e excepcional, e as de serviço que se classificam como: permanentes, frequentes e raras.

Tabela 5: Valores de ponderação das ações
Fonte: Adaptado NBR 8800

Ações permanentes						
Combinações	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 (1,00)
Ações Variáveis						
	Efeito da temperatura	Ação do vento	Ações truncadas	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		

Fonte: Adaptado NBR 8800

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 ocorre.

Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis a segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis a segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,4 quando as ações variáveis decorrem do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer.

Tabela 6: Valores dos fatores de combinação e redução

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2
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	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 elevadas concentrações de pessoas	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 alturas em geral	0,6	0,3	0

Fonte: Adaptado NBR 8800

Pela simplicidade da estrutura e pela região não apresenta uma grande variabilidade climática em relação de um ano para outro, só será necessário o estudo das combinações de últimas normais e quase permanente de serviço.

Temos que na equação de combinação de cargas normais avaliamos a ação das cargas permanentes $F_{Gi,k}$, uma ação variável, que se elege como principal $F_{Q1,k}$ e outra ação variável $\Psi_{0j}F_{Qj,k}$, que podem ocorrer simultaneamente, mas com um fator redução relacionado com a probabilidade de acontecer. São realizados cálculos para todas as combinações possíveis para avaliar qual é a resultante mais crítica para o dimensionamento dos elementos. Por fim temos a Equação (8) de Combinações últimas normais e a Equação (9) de Combinações quase permanente de serviços.

As ações a resistência também possuem coeficientes de ponderação γ_m , nesses casos forma observados a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos, diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura e os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projetos do ponto de vista da resistência. Os coeficientes de ponderação de resistência para

ELS considerado neste estudo foi $\gamma_m = 1,00$, para o ELU conforme a Tabela 7. O valor de cálculo para resistência é dado pela Equação (10)

Tabela 7: Valores dos coeficientes de ponderação das resistências

Combinações	Aço estrutural	
	Escoamento, flambagem e instabilidade	Ruptura
Normais	1,10	1,35

Fonte: Adaptado NBR 8800

2.8.4 BARRAS TRACIONADAS

No dimensionamento de barras tracionadas, temos que a Equação (11) deve ser obedecida. Onde temos $N_{t,Sd}$ que representa a força axial de tração de cálculo, que são as forças ocasionadas pelas ações atuantes na estrutura, determinado pelas combinações das ações mostrado nas seções anteriores e $N_{t,Rd}$ representa a força de resistente de cálculo, que indica se a barra com perfil selecionado é capaz ou não de suportar as ações atuantes com segurança. Na análise da força resistente de cálculo temos que observar o Estado Limite do Escoamento da Seção Bruta e o Estado limite Último de Ruptura da Seção Efetiva.

Antes de iniciar os cálculos de resistência é necessário definir o perfil da barra, o ponto de partida que se utiliza para determinar o perfil é o índice de esbeltes, Equação (12), onde temos a razão do comprimento da barra e o raio de giração do perfil. O valor limite do índice de esbeltes para barras tracionadas é 300, mas como as barras podem ser tanto tracionadas como comprimidas, utilizaremos o valor limitante para barras comprimidas que é de 200. Assim que definimos o valor limitante do índice e possuímos o comprimento da barra, podemos selecionar o perfil a partir do raio de giração e desta forma avaliar se ele obedece a Equação (12).

Escoamento da seção bruta, avalia a resistência de deformação ao longo da barra pela Equação (13), onde A_g é a área bruta da seção transversal e f_y é a resistência ao escoamento do aço. Enquanto a ruptura da seção líquida avalia a resistência dos pontos de ligação da barra pela Equação (14), onde A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra e f_u é a resistência a ruptura do aço.

A variável A_e está diretamente relacionada com o tipo de ligação que é utilizado na estrutura. Os tipos de ligação utilizada neste estudo foi por meio soldagem para ligar as barras da tesouras, mas existe outros mecanismos de ligação como pinos, parafusos, barras redondas com extremidades rosqueadas. A_e é definido pela equação (15), onde C_t é um coeficiente de redução da área líquida e A_n é a área líquida da barra, que no caso de barras soldadas o valor é igual a A_g , pois não apresenta furos. C_t Obedece a equação (16), quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais.

2.8.5 BARRAS COMPRIMIDAS

Assim como nas barras tracionadas, comparamos a força de solicitação e resistência, para o dimensionamento, portanto temos que obedecer a Equação (17), onde $N_{c,sa}$ é a força axial de compressão solicitada e $N_{c,Rd}$ a força axial de compressão resistente.

São avaliados o estado limite último de instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, no cálculo de $N_{c,Rd}$, pela Equação (18), onde χ é o fator de redução associado à resistência a compressão, Q é o fator de redução total associado à flambagem local e A_g é a área bruta da seção transversal da barra.

Fator de redução χ está associado ao valor do índice de esbeltes, como indicado nas Equações (19) e (20), temos também que o índice de esbeltes está associado a força axial de flambagem elástica N_e , mostrado na equação (21) e a Q . Assim sendo primeiro temos que determinar o valor de N_e e Q para prosseguir com os cálculos.

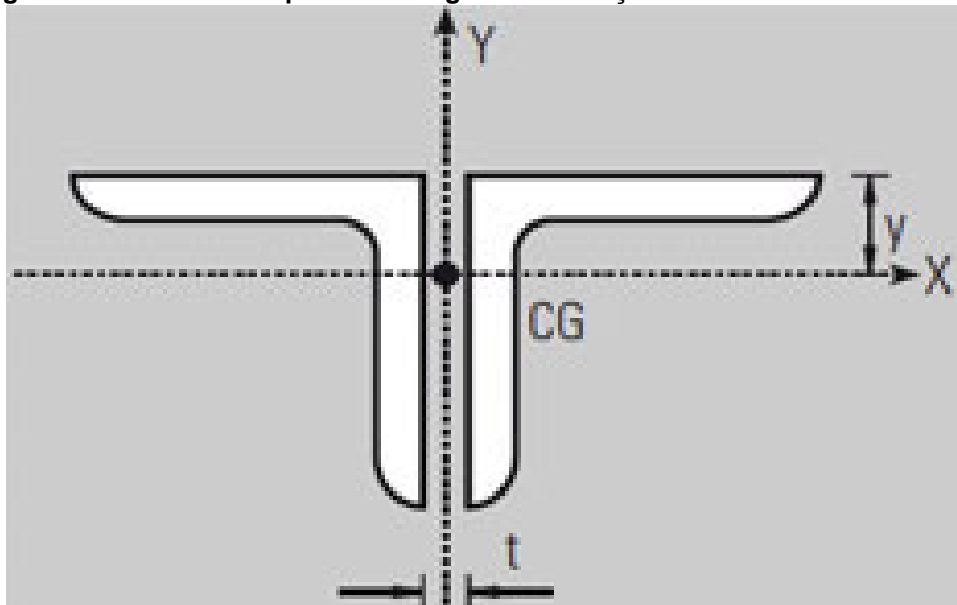
Força axial de flambagem, tem suas equações dependentes da geometria do perfil utilizado no projeto, em nosso caso utilizou se cantoneiras duplas de abas iguais, indicado na Figura 6 que se encaixa na categoria de “Seções monossimétricas, exceto o caso de cantoneiras simples”. Considerando o eixo y como simétrico, de acordo com a, avalia-se o valor de N_e para flambagem elástica por flexão em relação ao eixo de inércia x da seção transversal de acordo com a

equação (22) e flambagem por flexo-torção de acordo com Equação (23), sendo que N_{ey} e N_{ez} são determinados pelas equações (24) e (25).

Nas Equações de (21) á (24) temos que:

- L_x é o comprimento de flambagem por flexão no eixo x;
- K_x é coeficiente de flambagem;
- I_x Momento de inercia em relação ao eixo x;
- L_y Comprimento de flambagem por flexão no eixo y;
- K_y Coeficiente de flambagem;
- I_y Momento de inercia em relação ao eixo y;
- L_z Comprimento de flambagem por flexão no eixo y
- K_z Coeficiente de flambagem;
- E Módulo de elasticidades;
- C_w Constante de empenamento da seção transversal;
- G Modulo de elasticidades transversal do aço;
- J Constante de torção transversal ou Momento de inercia a torção;
- r_0 Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento, dado pela equação (26)

Figura 6 - Cantoneira dupla de abas iguais com seção monossimétrica no eixo y

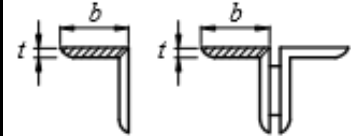


Fonte: Adaptado de metálica.com.br

definir o valor de redução associado a flambagem Q , este fator está relacionado à flambagem local de barras axialmente comprimidas.

Para determinar Q é necessário saber em qual classificação o perfil da estrutura se encaixa, que podem ser: tubulares circulares; AA quando possuem duas bordas longitudinal vinculadas e AL quando possuem apenas uma borda longitudinal vinculada. Em nosso caso utilizamos cantoneiras duplas providas de chapas de travamento, nesse caso se classifica como AL do grupo 3, indicado na Figura 8

Figura 8 - Relação de espessura e largura limite do perfil

Elemento	Grupo	Descrição	Alguns exemplos com indicação de b e t	(b/t) lim
AL	3	Combinações Aço estrutural Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Fonte: NBR 8800

Elementos submetidos a força axial de compressão, em que todos os elementos da seção transversal, possuem relação de largura e espessura b/t menor que os valores de $(b/t)_{lim}$, adota-se um fator de redução igual a 1,00, caso seja maior os valores são dados pelas Equação (28) onde Q_s e Q_a são fatores de redução que levam em conta a flambagem local dos elementos AL e AA. Se o perfil possuir apenas elementos AL, o fator de redução é igual a Q_s , caso seja somente AA o fator de redução será apenas Q_a . Para o perfil de cantoneiras duplas, seguintes as equações (29) (30) e (31) para determinar o fator de redução.

A partir dessas equações pode-se determinar o valor do índice de esbeltes reduzido pela Equação (21), e seu respectivo fator de redução associado a resistência χ pelas Equações (19) e (20). Por meio destes é possível finalizar os cálculos da força axial resistente $N_{c,Rd}$ pela Equação (18).

3 METODOLOGIA

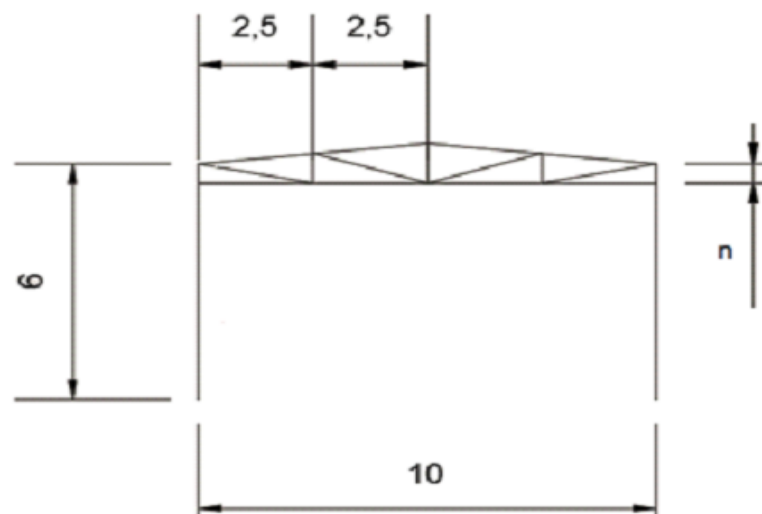
3.1 ESTRUTURA DAS EDIFICAÇÕES

Este edifício de estrutura metálica é para um galpão industrial de vão simples, com tesoura. Sua aplicação é para um baixo fator de ocupação como depósito, silos, construções rurais e etc.

A edificação metálica possuem 6 m de altura máxima das colunas e inclinação das telhas de 10%, em ambos os casos são telhas metálicas e a distância entre as tesouras são de 6 m. O valor de “n” indica o valor do primeiro montante da tesoura, as tesouras estudadas terão os seguintes valores para n: 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 e 2,50 m. A Figura 9 mostram o esboço do desenho das tesouras estudadas. Já as Figura 10 e Figura 11 indicam a nomenclatura das barras e dos nós. Todos as barras da tesoura são soldados.

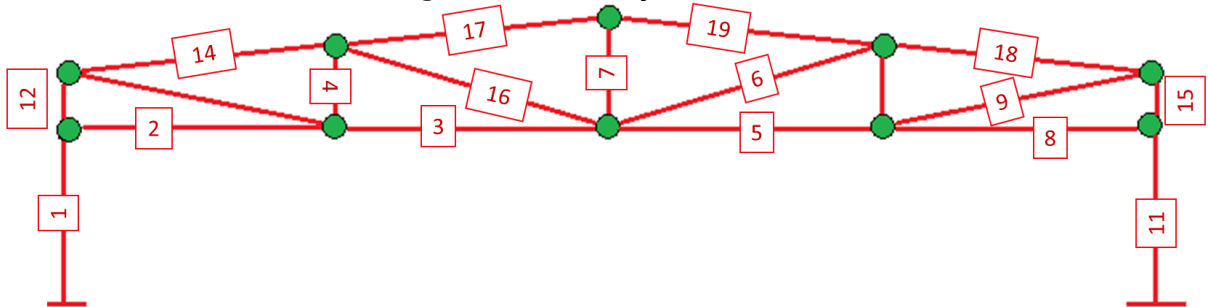
Ao variar o valor de “n” iremos observar: A influência do valor de “n” na força de solicitação das barras; O perfil mais indicado para cada uma das tesouras; O custo de fabricação de cada uma das tesouras; encontrar um ponto ótimo entre valor do primeiro montante da estrutura x vão x custo de fabricação;

Figura 9 - Dimensões básicas da tesoura e colunas



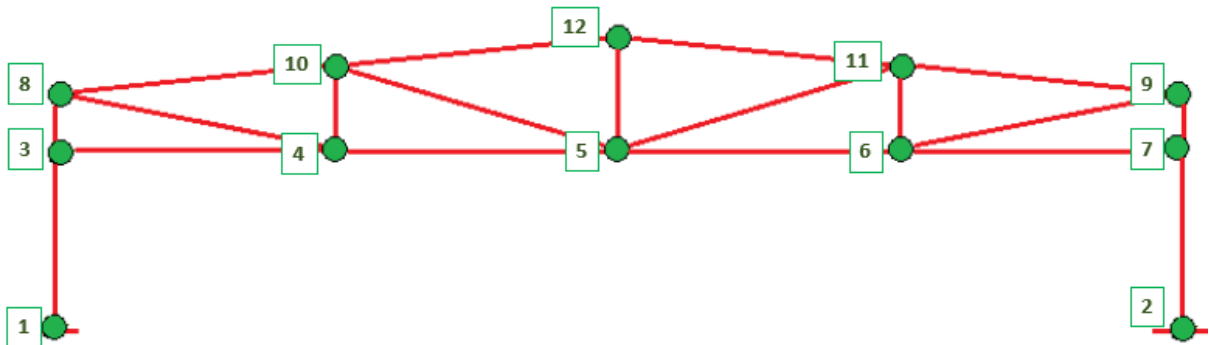
Fonte: Próprio Autor

Figura 10 - Numeração das barras



Fonte: Próprio Autor

Figura 11 - Numeração dos nós

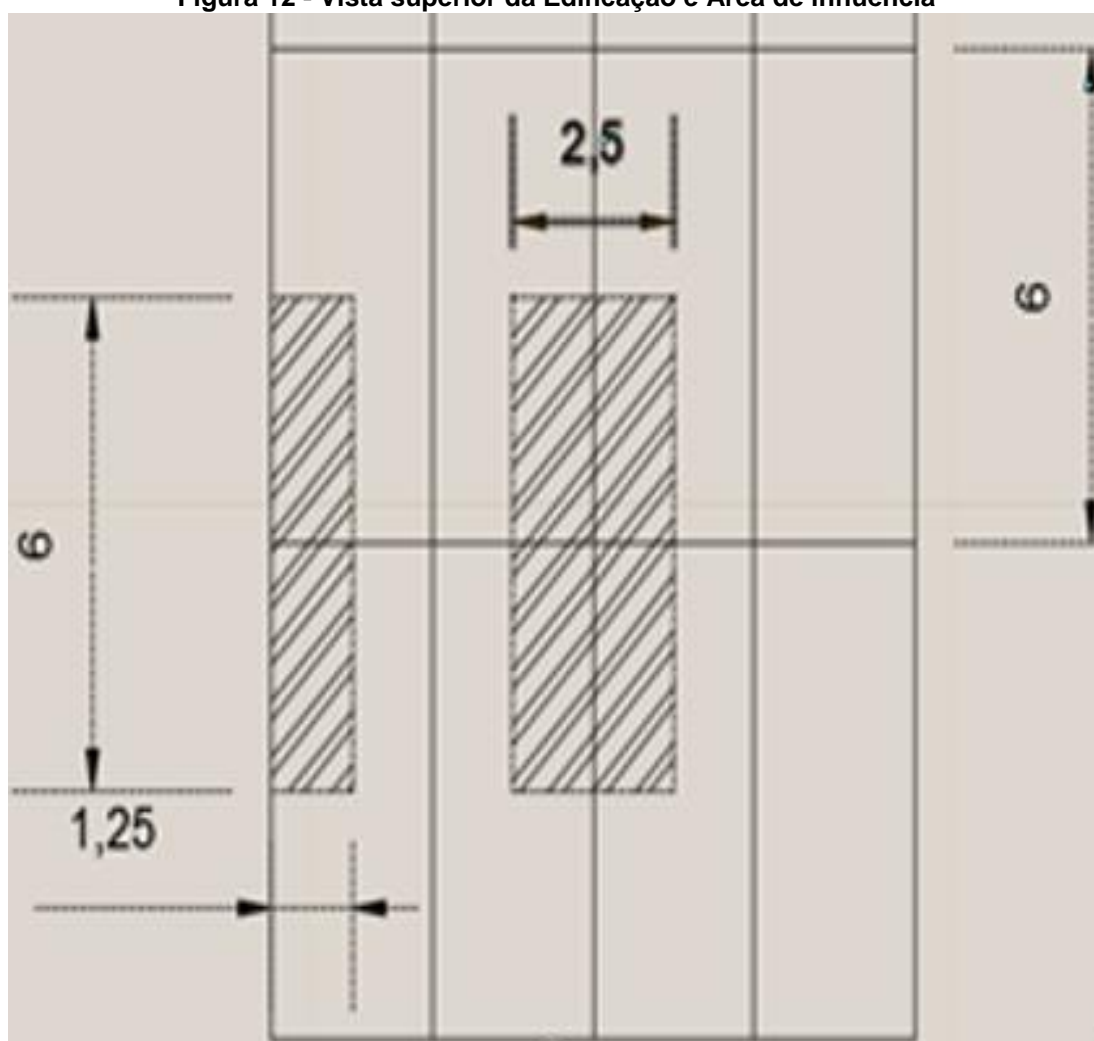


Fonte: Próprio Autor

3.2 ÁREA DE INFLUÊNCIA

Área de influência representa a região que tem efeito sobre uma viga, coluna ou um nó. As cargas atuantes nas estruturas vão ser divididas nos nós superiores da tesoura, portanto na edificação I as cargas atuam nos nós 8, 9, 10, 11 e 12. A Figura 12 indica a área de influência atuante sobre os nós 8 e 12, por analogia podemos observar que a área de influência de 9 é igual a de 8 e a de 10 e 11 iguais a de 12. Lembrando que as tesouras das extremidades do galpão possuem uma área de influência que corresponde a metade das indicadas.

Figura 12 - Vista superior da Edificação e Área de influência



Fonte: Próprio Autor

3.3 CARGAS DEVIDO AO VENTO

Os esforços, devido ao vento tem seus principais parâmetros dependentes do local onde a edificação será construída. Porém, para este estudo não temos um terreno exato onde será projetado os galpões, mas temos a região onde os estudos das estruturas poderão ser aplicados. A região deste estudo é a cidade de Eunápolis, localizada no extremo sul da Bahia.

Eunápolis é uma cidade com aproximadamente 114 mil habitantes, área territorial de 1425,968 km², densidade demográfica de 84,97 hab/km² e IDH de 0,677. A cidade fica localizada no planalto costeiro e seu bioma é de Mata Atlântica (RADAMBRASIL, 1983 e IBGE, 2016).

3.3.1 Velocidade básica do vento

Eunápolis se encontra no extremo sul da Bahia, a velocidade básica do vento está em torno de 30 m/s de acordo com a Figura 3, onde mostra a isopletas da velocidade básica do Brasil

3.3.2 Fator topográfico

A cidade apresenta quase que em sua totalidade terrenos planos ou fracamente acidentados, portanto seu fator topográfico pode ser encaixado no modo “a”.

3.3.3 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno

Em relação a rugosidade do terreno, temos que a cidade de Eunápolis se localiza no bioma de mata atlântica e também de uma vasta região de plantação de Eucalipto na área rural, devido a fábrica de celulose Veracel instalada na região, na área urbana apresenta uma boa densidade de construções mas de baixa altitude ao longo da cidade, portanto Eunápolis pode entrar nas categorias III ou IV em relação a rugosidade, para efeitos de segurança vamos considerar a situação mais crítica, a categoria III. A maior dimensão dos galpões está relacionada ao seu comprimento de 40 m, portanto nessa faixa as estruturas se encaixam na classe B. Na Tabela 1 vamos buscar o fator na combinação 3B e interpolar para altura de 6 m para parede e de 6,5 e 7,25 para o telhado dos galpões 1 e 2 respectivamente, devido a inclinação de 10% do telhado.

3.3.4 Fator estatístico S3

Principais aplicações para o projeto são para aplicações comerciais, industriais, depósitos, silos e construções. Como pode haver alto fator de ocupação, vamos considerar o fator estatístico para o grupo 2 da Tabela 2.

3.3.5 Velocidade Característica

Equação (3)

3.3.6 Pressão Dinâmica

Equação (4)

3.3.7 Coeficiente de pressão externo

Os coeficientes de pressão são determinados por duas tabelas, para coeficiente de pressão e forma para paredes de edificações de planta retangular se utiliza a Tabela 1 Tabela 3, para os coeficientes de pressão e forma para telhado com duas águas, simétricos em edificações de planta retangular, se utiliza a Tabela 4.

Coeficiente de pressão interno

Já no caso dos coeficientes de pressão internos estão relacionados com a permeabilidade da estrutura, no caso de nosso as estruturas possuem as quatro faces igualmente permeáveis, portanto utilizamos os coeficientes de pressão interna de 0,0 ou -0,3, sempre utilizando o mais nocivo para o dimensionamento.

Tabela 8: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta

Altura relativa		Valores de C_e para parede								C_{pe}
		0°				90°				
		A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 E D1	C2 E D2	
$h/b < 1/2$	$1 < a/b < 3/2$	-0,8	-0,5	0,7	-0,4	0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 < a/b < 4$	-0,8	-0,4	0,7	-0,3	0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
$1/2 < h/b < 3/2$	$1 < a/b < 3/2$	-0,9	-0,5	0,7	-0,5	0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 < a/b < 4$	-0,9	-0,4	0,7	-0,3	0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
$3/2 < h/b < 6$	$1 < a/b < 3/2$	-1,0	-0,6	0,8	-0,6	0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 < a/b < 4$	-1,0	-0,5	0,8	-0,3	0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: Adaptado NBR 6123

Tabela 9: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

Cp do telhado									
Altura relativa	graus	90°		0°		Cpe			
		EF	GH	EG	FH				
0,5	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2	-2	-2	
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
1,5	0	-0,8	-0,6	-1	-0,6	-2	-2	-2	
	5	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2	-2	-1,5	-1
	10	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2	-2	-1,5	-1,2
6	0	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2	-2	-2	
	5	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1
	10	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2	-2	-1,5	-1,2

Fonte: Adaptado NBR 6123

3.3.8 Ações do vento

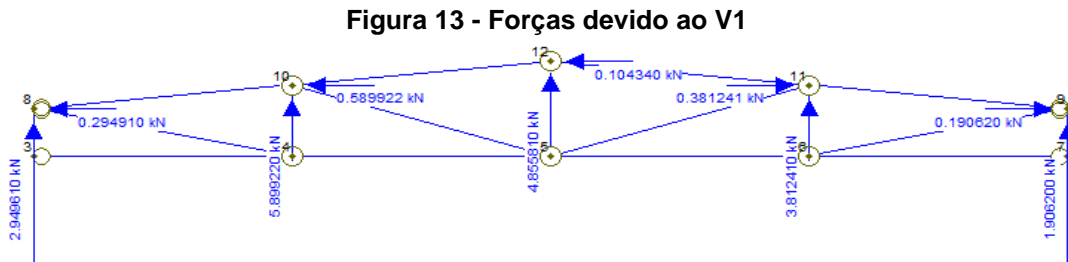
Ação do Vento pode atuar de algumas formas sobre a edificação, o vento agir a parti de várias direções sobre a estrutura, mas temos que a sua ação se torna mais crítica quando tempo a pressão dinâmica atuando perpendicularmente a superfície como mostrado nas tabelas de coeficiente de pressão e forma externas. Além disso temos forças de pressão internas que podem aliviar ou intensificar a as cargas atuantes na estrutura.

Entre as combinações das forças de pressão internas e externas, tem se três casos que pode indicar os mais críticos que são:

- V1: Ação do vento a 90° com coeficiente interno de pressão interna igual a 0,0
- V2: Ação do vento a 90 ° com coeficiente de pressão interna igual a -0,3
- V3: Ação do vento a 0° com coeficiente de pressão interna igual a 0,0

3.3.9 Diagrama de esforços do vento

Após determinar a pressão dinâmica efetiva em cada caso e multiplicar pela área de influência obtemos como resultante os esforços devido ao vento. A Figura 13, indica o diagrama de forças sobre a estrutura de uma tesoura.



Fonte: Próprio Autor

3.4 PRÓPRIO PESO

3.4.1 PESO PROPRIO DE CADA ELEMENTO

Peso da tesoura

Equação (1)

Peso das terças e longarinas

Equação (2)

Telhas, Tirantes, Coluna, Calha e Escora lateral

Multiplicar a carga indicada na Tabela 10 pela área de influência para determinar o valor do peso das Telhas e Tirantes. Para calha e escora multiplica se o fator de carga indicado na tabela (acima) pelo comprimento da viga, ou seja, a distância entre tesouras no nesse caso. Esse valor vai indicar o peso total da calha e escora sobre a estruturas, mas estes elementos são divididos na extremidade da tesoura, portanto os nós 8 e 9 vão receber uma metade deste valor. No caso da coluna multiplica se o fator de carga indicado na Tabela 10 pela altura da coluna.

Tabela 10 Próprio peso dos elementos

Tipo	Calculo	Carga	Unidade
Telhas	Catalogo	0,0485	kN/m ²

Tirantes	0,01	0,01	kN/m ²
Coluna	1	1	kN/m
Calha	0,1	0,1	kN/m
Escora	0,4	0,4	kN/m

Fonte: Próprio Autor

Nós 8 e 9

Eles possuem metade da área de influência dos outros nós, portanto metade carga relacionada a tesoura, telhas, tirantes, terças e longarinas. Em contrapartidas temos outras cargas atuantes que são calhas, coluna e escora lateral, como indicado na Equação (32)

Nós 10 e 11

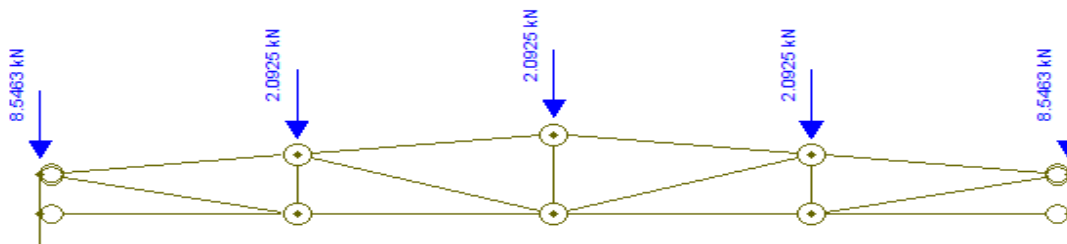
Equação (33)

Nó 12

Equação (34)

Diagrama de força da ação devido ao próprio peso

Figura 14 - Diagrama de forças devido ao próprio peso



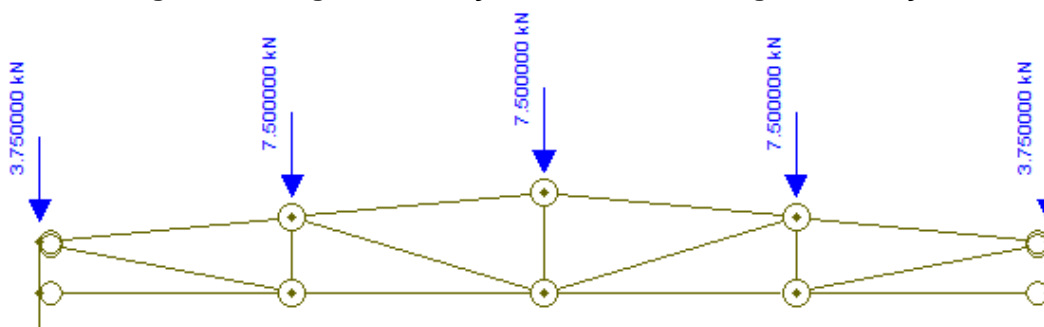
Fonte: Próprio Autor

3.5 SOBRECARGA DE UTILIZAÇÃO

Galpões de pequeno e médio porte em geral adotam uma sobrecarga de utilização de 0,15 kN/m² (BELLEI, 2010) a ABNT (1980) recomenda uma sobrecarga de 0,5 kN/m² para terraços ou forros sem acesso a pessoas.

Diagrama de da sobrecarga

Figura 15 - Diagrama de forças devido a sobrecarga de utilização



Fonte: Próprio Autor

3.6 FTOOL

Com as cargas atuantes sobre a estrutura, podemos determinar as reações das barras para cada uma das ações com auxílio do FTOOL. O **Ftool 3.01** é a mais recente versão do software de análise bidimensional de estruturas desenvolvido pelo Professor Luiz Fernando Martha, do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

3.7 COMBINAÇÕES

Ação permanente que atua na estrutura é o próprio peso, de acordo com a Tabela 5 temos que essa ação se encaixa na categoria de “Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxo permanente” na condição para combinações Normais, portanto seu coeficiente pode ser de 1,35 ou 1,00.

Em relação a ações variáveis temos a sobrecarga de utilização e ação devido ao vento. Na ação devido ao vento, também para condições de combinações Normais, temos que o coeficiente de ponderação é igual a 1,40. A sobrecarga de utilização se encaixa na categoria de “Demais ações variáveis, incluindo as decorrente as decorrentes do uso de ocupação”, esta possui o valor de 1,50 para condição de combinações normais, temos também que a sobrecarga pode ser

considerada que não é favorável a segurança, como a ação não supera 5 kN/m² o seu coeficiente de ponderação também pode ser 1,40.

Quando há mais de uma ação variável, consideramos uma principal onde temos seu valor integral vezes o coeficiente de ponderação e uma secundária, que tem menor probabilidade de acontecer simultaneamente, portanto adicionamos a ela um fator de redução. Para a ação devido ao vento utilizaremos um fator de 0,6 e para ação de sobrecarga o valor é de 0,8 de acordo com a Tabela 6.

Utilizaremos as Combinações Últimas Normais que são decorrentes do uso previsto para edificação. A partir da Equação (8) e Equação (9) construí se as doze Equações de combinações de (35) á (46), podemos observar que as seis primeiras equações favorecem as forças devido ao próprio peso e a sobrecarga de utilização, já as outras seis Equações de (41) à (46) favorecem as ações devido ao vento, isso ocorre por que podem haver casos em que o vento pode causar ações de sucção maiores do que as outras reações que causam compressão. As ações devido ao vento não ocorrem de forma simultânea, portanto não temos a combinação de duas ações do vento atuando na estrutura.

As solicitações máximas de compressão ($N_{c,sd}$) e tração ($N_{t,sd}$), ocasionadas pelas combinações, serão utilizadas para o dimensionamento de cada barra.

3.8 CALCULO DE RESITÊNCIA

3.8.1 Tração

Nesta etapa seleciona-se o perfil da barra e avalia-se sua resistência às forças de tração e compressão solicitadas pelas combinações das cargas.

3.8.2 Tração

Antes de iniciar os cálculos de resistência é necessário definir o perfil da barra, o ponto de partida que se utiliza para determinar o perfil é o índice de

esbeltes, Equação (12), onde temos a razão do comprimento da barra e o raio de giração do perfil. O valor limite do índice de esbeltes para barras tracionadas é 300, mas como as barras podem ser tanto tracionadas como comprimidas, utilizaremos o valor limitante para barras comprimidas que é de 200. Assim que definiu se o valor limitante do índice e como se tem o comprimento da barra, pode se selecionar o perfil a partir do raio de giração e desta forma avaliar se ele obedece a Equação (12).

Escoamento da seção bruta, avalia a resistência de deformação ao longo da barra pela Equação (13).

Enquanto a ruptura da seção líquida avalia a resistência dos pontos de ligação da barra pela Equação (14). Sendo que a área da seção líquida é definida pela Equação (15). Temos que todas as ligações realizadas pela tesoura são feitas por solda, portanto C_w é determinado pela equação (16).

Utilizamos o maior valor entre as forças de escoamento e ruptura da seção por tração e aplicamos na equação (11), para validar ou não o perfil escolhido e assim prosseguir com os cálculos, caso o perfil não atenda as especificações, trocamos o perfil e repetimos o processo.

3.8.3 Compressão

3.8.4 Fator de redução associado a flambagem local

O perfil de cantoneira duplas providas de chapas de travamento se classifica como perfil AL no grupo 3, como indicado na Figura 8, portanto na Equação (28), pode ser simplificada para $Q = Q_s$.

Determinar o valor da relação de b/t , para poder determinar o valor de Q pelas equações (29), (30) ou (31).

3.8.5 Fator de redução associado

Calcular a força axial de flambagem elástica por flexão em relação aos eixos central de inércia x , y e z da seção transversal de acordo com as Equações (21), (23) e (24) respectivamente. Sendo que os valores de K_x e K_y são retirados da Figura 7. Na Equação (25), temo que o C_w para cantoneiras duplas é igual a zero e a constante de torção para seção transversal pode ser calculada pela Equação (27).

Determinar o valor do raio de giração polar de acordo com a Equação (26), sendo que os valores de x_0 e y_0 são iguais a zero, pois os raios de giração foram determinados em relação ao centro geométrico da seção.

Calcular a força axial de flambagem elástica por flexo-torção de acordo com a Equação (23).

Se determina o valor do índice de esbeltes reduzido (λ_0) pela Equação (21), onde o valor da força axial de flambagem elástica (N_e) é o menor valor entre os resultados das equações (22), (23), (24) e (25).

Caso o índice de esbeltes reduzido, seja menor ou igual 1,5 temos que o fator de redução associado à compressão (χ) segue a Equação (19), caso seja maior se utiliza a Equação (20).

3.8.6 Força axial de compressão resistente de Cálculo

Esta força é determinada pela Equação (18), para validação do perfil escolhidos aplicamos o resultado de $N_{c,Rd}$ na Equação (17), onde comparamos a força resistente e a solicitada de compressão, caso a força resistente seja maior o perfil atende as condições do projeto.

4 RESULTADOS

4.1 REAÇÕES DAS BARRAS DA TESOURA

Para cada ação na tesoura são produzidas as reações nas barras, de modo que, as forças devido ao próprio peso e de sobrecarga tem seu sentido das forças verticalmente para baixo enquanto as forças devido ao vento V1, V2 e V3 são forças de sucção sobre a estrutura, causando forças com sentido externo a estrutura. Portanto as barras podem sofrer compressão ou tração dependendo da força aplicada, a reação de cada barra, para cada força e cada galpão pode ser observada no Anexo G.

No anexo G podemos observar que a reações das barras tem uma intensidade muito maior quando o primeiro montante da tesoura é zero, por ter menos barras as forças se distribuem de forma mais compacta, dessa força solicitando mais das barras da tesoura.

4.2 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

A força de solicitação na barra é determinada pela combinação das ações, a barra, pode sofrer compressão ou tração dependendo do sentido e módulo da força aplicado. A combinação pode favorecer forças trativas, compressivas ou mesmo anulação devido à combinação de forças contrarias. Para o dimensionamento utilizamos a força crítica de compressão e de tração indicados nas Tabela 11 e Tabela 12. A primeira coluna representa as barras e a primeira linha representa o tamanho do primeiro do montante de cada galpão.

Tabela 11: Tração máxima sofrida pelas barras da tesoura

Tmáx								
G	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2,5
1	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07
12	0,00	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07
2	169,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	86,61	58,43	44,78	36,94	31,93	28,54	22,02
14	87,24	43,82	29,34	22,11	17,77	14,87	12,80	8,29
4	0,00	4,32	5,76	6,48	6,91	7,20	7,41	7,86
3	169,66	84,29	56,18	42,13	33,70	28,08	24,06	15,30

16	31,40	8,97	3,45	4,70	5,64	5,98	6,10	6,05
17	58,56	39,43	29,87	24,13	20,31	17,58	15,53	10,75
7	11,57	3,82	-0,05	0,98	1,75	2,29	2,70	3,65
11	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07
15	0,00	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07
8	178,51	3,60	1,85	1,27	0,98	0,80	0,69	0,46
9	0,00	87,80	59,93	46,10	38,09	32,95	29,46	22,74
18	87,24	43,82	29,34	22,11	17,77	14,87	12,80	8,29
10	0,00	4,32	5,76	6,48	6,91	7,20	7,41	7,86
5	178,51	89,79	59,87	44,91	35,94	29,95	25,68	16,35
6	29,48	5,25	0,27	2,66	3,61	4,00	4,18	4,49
19	58,56	39,43	29,87	24,13	20,31	17,58	15,53	10,75

Fonte: Próprio Autor

Tabela 12: Compressão máxima sofrida pelas barras da tesoura

G	C _{máx}							
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2,5
1	-32,45	-32,56	-32,56	-32,57	-32,57	-32,57	-32,58	-32,59
12	0,00	-32,56	-32,56	-32,57	-32,57	-32,57	-32,58	-32,59
2	-86,41	-3,60	-1,85	-1,27	-0,98	-0,80	-0,69	-0,46
13	0,00	-43,42	-29,37	-22,55	-18,61	-15,96	-14,40	-11,11
14	-170,51	-84,72	-56,47	-42,35	-33,87	-28,22	-24,19	-15,38
4	0,00	-8,64	-11,46	-12,87	-13,71	-14,28	-14,68	-15,57
3	-86,41	-43,21	-28,80	-21,60	-17,28	-14,40	-12,34	-7,86
16	-53,70	-7,74	0,16	-1,32	-1,95	-2,22	-2,35	-2,47
17	-116,46	-77,54	-58,07	-46,39	-38,60	-33,04	-28,87	-19,14
7	-5,87	-2,06	-0,16	-2,38	-3,92	-5,03	-5,86	-7,80
11	-34,19	-34,08	-34,08	-34,07	-34,07	-34,07	-34,06	-34,05
15	0,00	-34,08	-34,08	-34,07	-34,07	-34,07	-34,06	-34,05
8	-86,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	-43,42	-29,37	-22,55	-18,61	-15,96	-14,40	-11,11
18	-179,14	-89,99	-59,92	-44,88	-35,86	-29,84	-25,55	-16,18
10	0,00	-8,76	-11,75	-13,25	-13,97	-14,74	-15,16	-16,08
5	-86,41	-43,21	-28,80	-21,60	-17,28	-14,40	-12,34	-7,86
6	-62,60	-12,56	-3,07	-3,56	-3,66	-3,62	-3,55	-3,30
19	-116,37	-77,45	-57,98	-46,30	-38,52	-32,95	-28,78	-19,05

Fonte: Próprio Autor

Tanto para forças solicitadas de compressão quanto as forças de solicitação de tração, temos que com o aumento do comprimento do primeiro montante as forças de solicitação diminuem de um modo geral. Mas também pode se observar que em alguns casos as barras podem apresentar uma redução do

modulo da força de solicitação e em seguida um aumento do modulo da força ao longo do crescimento do primeiro montante. Se observa esse comportamento anômalo na barra 6 onde ocorre um pico e um vale no modulo da força de compressão e um vale no modulo da força de tração.

As forças solicitadas são determinadas a partir das doze equações de combinação de (34) a (45). Portanto cada barra apresenta doze resultados, entre esses resultados podem haver forças de tração, compressão ou nulo. Para o dimensionamento, utilizamos o valor mais crítico para tração e para compressão. Em cada situação podemos ter uma equação diferente para determinar a força máxima de tração e compressão, como indicado nas Tabela 13 e Tabela 14. Portanto não há um decréscimo, da força de solicitação, de forma regular com o aumento do comprimento do primeiro montante, pois estas forças são originadas de combinações diferentes. Também não há como prever em qual combinação terá a maior solicitação em cada caso, sendo assim necessário realizar todas as combinações possíveis para determinar a maior força.

Tabela 13: Combinações máximas de tração sofrida pela barra 6

Tração													
Galpão	Barra	Cargas Permanentes			Carga Variável ¹			Carga Variável ²				Fd	Eq
		Tipo	γ_g	FG	Tipo	γ_q	FQ	Tipo	γ_q	Ψ_o	FQ		
G0,00	6	CP	1	-10,51	V3	1,4	28,56	0	1,4	0,6	0,00	29,48	C12
G0,25	6	CP	1	-1,78	V3	1,4	5,02	0	1,4	0,6	0,00	5,25	C12
G0,50	6	CP	1,35	0,00	V3	1,4	0,20	SC	1,4	0,8	0,00	0,27	C6
G0,75	6	CP	1,35	0,56	SC	1,5	2,02	V3	1,4	0,6	-1,35	2,66	C3
G1,00	6	CP	1,35	0,78	SC	1,5	2,80	V3	1,4	0,6	-1,95	3,61	C3
G1,25	6	CP	1,35	0,87	SC	1,5	3,12	V3	1,4	0,6	-2,21	4,00	C3
G1,50	6	CP	1,35	0,91	SC	1,5	3,27	V3	1,4	0,6	-2,33	4,18	C3
G2,50	6	CP	1,35	0,94	SC	1,5	3,38	V2	1,4	0,6	-2,21	4,49	C2

Fonte: Próprio Autor

Tabela 14: Combinações máximas de compressão sofrida pela barra 6

Compressão													
Galpão	Barra	Cargas Permanentes			Carga Variável ¹			Carga Variável ²				Fd	Eq
		Tipo	γ_g	FG	Tipo	γ_q	FQ	Tipo	γ_q	Ψ_o	FQ		
G0,00	6	CP	1,35	-10,51	SC	1,5	-37,69	V2	1,4	0,6	9,67	-62,60	C2
G0,25	6	CP	1,35	-1,78	SC	1,5	-6,37	V2	1,4	0,6	-0,71	-12,56	C2
G0,50	6	CP	1,35	0	V2	1,4	-2,19	SC	1,4	0,8	0,00	-3,07	C5
G0,75	6	CP	1	0,56	V1	1,4	-2,95	0	1,4	0,6	0,00	-3,56	C10

G1,00	6	CP	1	0,78	V1	1,4	-3,17	0	1,4	0,6	0,00	-3,66	C10
G1,25	6	CP	1	0,87	V1	1,4	-3,21	0	1,4	0,6	0,00	-3,62	C10
G1,50	6	CP	1	0,91	V1	1,4	-3,19	0	1,4	0,6	0,00	-3,55	C10
G2,50	6	CP	1	0,94	V1	1,4	-3,03	0	1,4	0,6	0,00	-3,30	C10

Fonte: Próprio Autor

Assim se nota que a força de solicitação de tração tem um decréscimo da em G0,00 há G0,50 e depois um crescimento, justamente por seus valores de força serem ocasionados por combinações diferentes.

Nos valores de compressão da barra 6 estão sujeitos a mesma situação entre os galpões G0,00 a G1,00. Mas entre os galpões G1,00 a G2,50 temos que a reação da barra devido ao vento na condição 1 (V1) começa a reduzir entre G1,25 e G1,50. Temos então que a barra 6 encontra um valor de máxima compressão quando forma um ângulo de 31° com a barra 5. Então se tem que além da mudança da equação das combinações, tem se que a configuração geométrica da tesoura modifica a resultante da força de solicitação, podendo ocasionar o aumento ou a diminuição da força de solicitação.

4.3 PERFIS

Para o dimensionamento foram utilizados perfis do Anexo (F) para o projeto. Na Tabela 15, temos as propriedades dos perfis utilizados nos projetos dos galpões.

Tabela 15 - Propriedades dos perfis utilizados

bf		Nome	P	A	tf	Eixo X-X				Eixo Y-Y	
pol	cm	pol kg/m	kg/m	cm ²	pol	I	W	r	y	r	I
						cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴
2"	5,08	p19	4,92	6,2	1/8"	15,82	4,26	1,6	1,4	2,59	394,32
2"	5,08	p20	7,26	9,16	3/16"	23,4	6,26	1,58	1,45	2,63	411,74
2"	5,08	p21	9,48	12,12	1/4"	29,2	8,2	1,55	1,5	2,64	428,21
2"	5,08	p22	11,66	14,84	5/16"	35	9,82	1,53	1,55	2,67	443,79
2"	5,08	p23	13,98	17,52	3/8"	140	11,46	1,5	1,62	2,71	458,50
2 1/2"	6,35	p28	17,56	22,32	3/8"	82	18,7	1,91	1,93	3,2	1235,18

Fonte: Próprio Autor

Tabela 16 - Preço dos perfis utilizados

Perfil	bf		Nome	Preço R\$/m	Preço de uma cantoneira de 6m
p19	2"	5,08	p19	R\$18,05	R\$54,15
p20	2"	5,08	p20	R\$26,32	R\$78,96
p21	2"	5,08	p21	R\$33,45	R\$100,35
p22	2"	5,08	p22	R\$46,52	R\$139,57
p23	2"	5,08	p23	R\$55,53	R\$166,58
p28	2 1/2"	6,35	p28	R\$71,09	R\$213,28

Fonte: Próprio Autor

4.4 FORÇA DE RESITENCIA

O mesmo perfil tem que resistir tanto as forças de solicitações de compressão quanto as forças de solicitação de tração, temos que cada barra geralmente sofre mais um tipo de solicitação que o outro, por isso podemos ter , por exemplo, uma barra com coeficientes de segurança superdimensionados para a tração e um coeficiente de segurança mais coerente para a compressão, como na barra 1 indicado na Tabela 17 e Tabela 18 que indicam o perfil, força de solicitação, força de escoamento da seção bruta, força de escoamento da seção líquida e força axial resistente de compressão de cálculo para o a tesoura G0,00

Tabela 17: Forças de Resistência de tração de G0,00

G0,00						
Barra	Perfil	Nt,sd	Nt _{sl} ,rd (kN)	Nt _{sb} ,rd (kN)	n _{sl}	n _{sb}
1	p28	4,07	507,27	661,33	124,5	162,3
12						
2	p22	169,7	337,27	519,11	1,99	3,06
13						
14	p23	87,24	398,18	519,11	4,56	5,95
4	p19	0	140,91	183,7		
3	p20	169,7	208,18	271,41	1,23	1,6
16	p21	31,4	275,45	359,11	8,77	11,44
17	p23	58,56	398,18	519,11	6,8	8,86
7	p19	11,57	140,91	183,7	12,18	15,87
11	p28	4,07	507,27	661,33	124,5	162,3
15						
8	p22	178,5	337,27	519,11	1,89	2,91
9						
18	p23	87,24	398,18	519,11	4,56	5,95
10	p19	0	140,91	183,7		
5	p20	178,5	208,18	271,41	1,17	1,52
6	p21	29,48	275,45	359,11	9,35	12,18
19	p23	58,56	398,18	519,11	6,8	8,86

Fonte: Próprio Autor

Tabela 18: Forças de Resistência de compressão de G0,00

G0,00				
Barra	Perfil	Nc sd (kN)	Nc rd (kN)	n
1	p28	32,45	35,85	1,1
12				
2	p22	86,41	352,52	4,08
13				
14	p23	170,51	349,03	2,05
4	p19	0	39,83	
3	p20	86,41	1330,8	15,4
16	p21	53,7	72,8	1,36
17	p23	116,46	349,03	3
7	p19	5,87	122,32	20,9
11	p28	34,19	35,85	1,05
15				
8	p22	86,41	352,52	4,08
9				
18	p23	179,14	349,03	1,95
10	p19	0	39,83	
5	p20	86,41	2838,83	32,9
6	p21	62,6	72,8	1,16
19	p23	116,37	349,03	3

Fonte: Próprio Autor

Para o G0,00 não temos as barras 12, 13, 15 e 9, pois o primeiro montante é zero e conseqüentemente a primeira diagonal também. Também temos que as barras 4 e 10, ou seja, os segundos montantes, não sofrem esforços de compressão e nem de tração, portanto seus coeficientes de segurança estão vazios. No caso das barras 4 e 10 poderia se escolher um perfil muito mais leve para o dimensionamento, mas o perfil p19 é o primeiro que atende o quesito de raio mínimo determinado a partir do índice de esbeltes.

4.5 PESO E CUSTO DAS TESOURAS

Determinou se o peso da tesoura multiplicando se o peso do metro do perfil pelo comprimento da barra, na Tabela 19 temos os pesos de cada tesoura.

Pode se notar que na Tabela 19 o peso da estrutura de uma tesoura diminui até a tesoura G1,00 e a partir de então o peso cresce. Nesse processo de aumentar o tamanho do primeiro montante na estrutura ocorre dois fatores. O primeiro fator é que com o aumento do primeiro montante no intervalo de 0,00 m a 2,50 m ocorre a redução das forças de solicitação nas barras da estrutura, pois as ações sobre a estrutura são melhor distribuídas com o aumento do primeiro montante nesse intervalo. O segundo fator que temos é que o aumento do primeiro montante nesse intervalo também nos traz um aumento do tamanho da estrutura, portanto a necessidade de barras de maior comprimento para montar a tesoura.

Compreendendo esses dois fatores pode se entender melhor a curva do peso da estrutura indicado na Figura 16. A redução do peso no primeiro momento ocorre pela redução das forças de solicitação e consequentemente a escolha de perfis menores e mais leves para estrutura. O aumento do peso ocorre no segundo momento pois apesar da estrutura ter perfis mais leves a tesoura acaba aumentando muito o tamanho da estrutura, portanto aumentando a necessidade de material pela necessidade de perfis mais longos.

Quanto ao custo, se segue a mesma linha de raciocínio para explicar a redução e o aumento do preço da estrutura, podemos observar que a tesoura mais leve também é a tesoura de menor custo. Para determinar o custo se multiplicou o valor do metro do perfil pelo comprimento utilizado, indicado na Tabela 19, os valores dos perfis foram retirados da empresa Aladim Metais, pois apresentava uma maior variedade de perfis no mercado. Nesse orçamento não está embutido o frete.

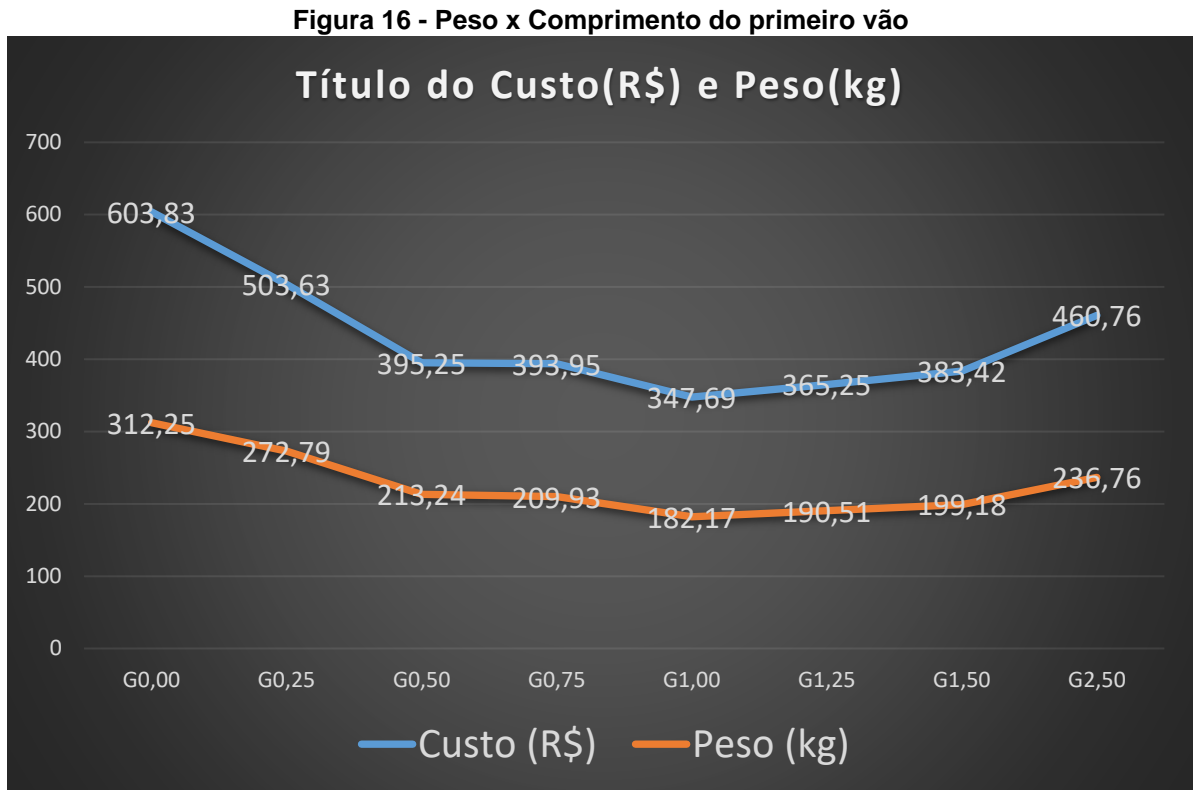
Tabela 19: Peso e custo das tesouras

Tesoura	Peso (kg)	Custo (R\$)
G0,00	312,25	603,83
G0,25	272,79	503,63
G0,50	213,24	395,25
G0,75	209,93	393,95
G1,00	182,17	347,69
G1,25	190,51	365,25
G1,50	199,18	383,42
G2,50	236,76	460,76

Fonte: Próprio Autor

Outros resultados de cálculo se encontram nos anexos. Anexo A: perfis utilizados; Anexo B: força resistente de tração da seção bruta; Anexo C: força

resistente de tração da seção líquida; Anexo D: força resistente de compressão; Anexo E: momento de inércia em relação ao eixo y e anexo f: propriedades dos perfis



Fonte: Próprio Autor

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi realizar o projeto de cálculo e a otimização de um tipo de tesoura metálica para uma edificação industrial instalada na região de Eunápolis, Bahia com as dimensões da instalação de 6 metros de altura, 10 metros de comprimento do vão e 40 metros de comprimento. Esta otimização tem como propósito obter um projeto de tesoura de estrutura metálica simples, segura e com custo otimizado. Também temos como objetivo fornecer um método de cálculo.

Dentre as oito estruturas propostas para otimização temos que a estrutura G1,00 foi a que apresentou a melhor relação de simplicidade, segurança e custo para o projeto. A estrutura G1,00 apresentou pouca variabilidade dos perfis utilizados, sendo que as barras 1 e 11 utilizam o perfil p28 e as outras barras utilizam o perfil p19. Todas as barras atenderam requisitos da norma NBR 8800/2008, portanto a estrutura atende os critérios de segurança. Além atender os requisitos técnicos a estrutura G1,00 apresentou o menor peso e conseqüentemente o menor custo dentre as configurações de estruturas avaliadas neste trabalho.

Uma desvantagem que a estrutura G1,00 apresenta é a perda de um metro de altura efetiva de uso da edificação. Uma proposta para estudo futura é avaliar se a mesma com essa perda a estrutura continuaria sendo econômica. Temos que observar que para estudo futuro temos que ter uma definição clara do propósito do projeto, por exemplo, qual é o produto estocado e de que forma ele é estocado. Lembrando que este estudo se focou nas dimensões da edificação, características estruturais e não em propósito específico do uso da edificação.

O método de cálculo apresentado foi validado por meio de cálculos estruturais, considerando as normas vigentes, permitindo uma otimização de cantoneiras duplas de uma estrutura metálica, possibilitando a avaliação de diferentes condições construtivas e seleção do perfil mais adequado, levando em consideração fatores técnicos e econômicos.

A ferramenta apresentada também pode ser utilizada para o dimensionamento de colunas, vigas, terças e longarinas de estruturas metálicas,. Adotando a mesma seqüência de raciocínio para o cálculo e adaptando os fatores

de limitação para outros perfis, é possível utilizar método para o dimensionamento de estruturas mais complexas que utilizam uma maior abrangência de perfis

Outras propostas para estudos futuros são realizar o cálculo para tesouras de vãos maiores por exemplo de 15, 20 e 25 metros de comprimento de vão. Realizar o estudo para regiões diferentes.

REFERÊNCIAS

BELLEI, Ildoney H.. **EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS EM AÇO**: Projeto e cálculo. 6. ed. São Paulo: Pini, 2010. 503 p.

MATOS, Rafael Carrijo Barreto de. **Sistemas de Contraventamento em Edifícios de Estrutura Metálica**. 2014. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Uniceub, Brasília, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: Moderna, 2008.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G.. **Ciência Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2002.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira (Org.). **Dimensionamento de Estruturas em Aço**. São Paulo: Zigurate, 2010.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1979.

RIO DE JANEIRO. INSTITUTO AÇO BRASIL. (Ed.). **Estatística Preliminar**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2017.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (Brasil) (Ed.). **RELATÓRIO ATIVIDADES 2016**. Curitiba: Cbca, 2016.

GERVÁSIO, Helena. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. In: **Congresso Latino-Americano da construção metálica CONSTRUMETAL: São Paulo, Brasil**. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio -Padronização. Rio de Janeiro: Moderna, 2003

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7007**: Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral. Rio de Janeiro: Moderna, 2002.

SANTOS, Raquel Simone dos. **Comparativo entre estruturas de aço e concreto armado**. 2007. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007

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

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

ANEXO A: PERFIS UTILIZADAS EM CADA BARRA

Barra	Perfil							
	G0,00	G0,25	G0,50	G0,75	G1,00	G1,25	G1,50	G2,50
1	p28	p28	p28	p28	p28	p28	p28	p28
12	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
2	p22	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
13	p19	P22	p20	p20	p19	p19	p19	p19
14	p23	p23	p21	p20	p19	p19	p19	p19
4	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
3	p20	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
16	p21	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
17	p23	p22	p20	p20	p19	p19	p19	p19
7	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
11	p28	p28	p28	p28	p28	p28	p28	p28
15	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
8	p22	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
9	p19	P22	p20	p20	p19	p19	p19	p19
18	p23	p23	p21	p20	p19	p19	p19	p19
10	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
5	p20	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
6	p21	p19	p19	p19	p19	p19	p19	p19
19	p23	p22	p20	p20	p19	p19	p19	p19

ANEXO B: FORÇA RESISTENTE DE TRAÇÃO DA SEÇÃO BRUTA

Estado Limite Ultimo de Escoamento da Seção Bruta								
Barra	G0,00	G0,25	G0,50	G0,75	G1,00	G1,25	G1,50	G2,50
1	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27
12	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
2	337,27	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
13	140,91	337,27	208,18	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91
14	398,18	398,18	275,45	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91
4	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
3	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
16	275,45	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
17	398,18	337,27	208,18	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91
7	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
11	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27	507,27
15	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
8	337,27	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
9	140,91	337,27	208,18	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91
18	398,18	398,18	275,45	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91
10	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
5	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
6	275,45	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91	140,91
19	398,18	337,27	208,18	208,18	140,91	140,91	140,91	140,91

ANEXO C: FORÇA RESISTENTE DE TRAÇÃO DA SEÇÃO LIQUIDA

Estado Limite Ultimo de Escoamento da Seção líquida Nt,rd (kN)								
Barra	G0,00	G0,25	G0,50	G0,75	G1,00	G1,25	G1,50	G2,50
1	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33
12	0	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
2	519,11	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
13	0	439,7	271,41	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7
14	519,11	519,11	359,11	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7
4	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
3	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
16	359,11	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
17	519,11	439,7	271,41	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7
7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
11	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33	661,33
15	0	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
8	519,11	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
9	0	439,7	271,41	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7
18	519,11	519,11	359,11	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7
10	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
5	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
6	359,11	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
19	519,11	439,7	271,41	271,41	183,7	183,7	183,7	183,7

ANEXO D: FORÇA RESISTENTE DE COMPRESSÃO

Força axial de compressão resistente de Cálculo $N_{c,rd}$ (kN)								
Barra	G0,00	G0,25	G0,50	G0,75	G1,00	G1,25	G1,50	G2,50
1	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85
12	0	126,73	122,32	115,3	106,15	95,44	83,8	39,83
2	352,52	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83
13	0	87,26	56,66	54,06	34,34	31,87	29,29	19,92
14	349,03	349,03	72,8	58,34	39,44	39,44	39,44	39,44
4	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83
3	1330,8	122,32	115,3	106,15	95,44	83,8	71,87	32,92
16	72,8	38,3	36,55	34,34	31,87	29,29	26,73	18,02
17	349,03	87,26	58,34	58,34	39,44	39,44	39,44	39,44
7	122,32	115,3	106,15	95,44	83,8	71,87	60,2	27,66
11	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85	35,85
15	0	126,73	122,32	115,3	106,15	95,44	83,8	39,83
8	352,52	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83
9	0	87,26	56,66	54,06	34,34	31,87	29,29	19,92
18	349,03	349,03	72,8	58,34	39,44	39,44	39,44	39,44
10	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83
5	2838,83	122,32	115,3	106,15	95,44	83,8	71,87	32,92
6	72,8	38,3	36,55	34,34	31,87	29,29	26,73	18,02
19	349,03	87,26	58,34	58,34	39,44	39,44	39,44	39,44

ANEXO E: MOMENTO DE INERCIA EM RELAÇÃO AO EIXO Y

bf		Momento de inercia em relação ao eixo y						
		t						
pol	cm	0	0,125	0,1875	0,25	0,3125	0,375	0,5
1/2"	1,27	0,16	0,6	0,88	1,21	1,57	1,98	2,91
5/8"	1,58	0,71	1,58	2,11	2,7	3,36	4,08	5,71
3/4"	1,905	2,12	3,7	4,62	5,64	6,75	7,95	10,63
7/8"	2,223	4,86	7,44	8,92	10,53	12,25	14,11	18,18
7/8"	2,223	6,49	9,26	10,83	12,53	14,35	16,29	20,55
1"	2,54	9,57	13,53	15,75	18,14	20,69	23,4	29,31
1"	2,54	11,88	16,05	18,39	20,88	23,54	26,36	32,48
1"	2,54	14,03	18,41	20,84	23,43	26,19	29,11	35,44
1 1/4"	3,175	28,12	36,19	40,61	45,29	50,22	55,4	66,52
1 1/4"	3,175	32,31	40,67	45,23	50,04	55,11	60,43	71,84
1 1/4"	3,175	36,23	44,85	49,54	54,49	59,69	65,14	76,81
1 1/2"	3,81	65,34	79,75	87,51	95,64	104,13	112,98	131,79
1 1/2"	3,81	72,25	87,02	94,95	103,24	111,91	120,93	140,09
1 1/2"	3,81	78,73	93,82	101,92	110,38	119,2	128,4	147,88
1 3/4"	4,445	130,75	154,22	166,7	179,68	193,16	207,13	236,58
1 3/4"	4,445	141,39	165,27	177,96	191,14	204,82	219	248,86
1 3/4"	4,445	151,39	175,66	188,55	201,93	215,8	230,18	260,43
1 3/4"	4,445	160,79	185,44	198,51	212,08	226,14	240,71	271,33
2"	5,08	235,82	271,54	290,38	309,86	330	350,79	394,32
2"	5,08	251,35	287,54	306,62	326,34	346,71	367,74	411,74
2"	5,08	266	302,65	321,95	341,9	362,5	383,76	428,21
2"	5,08	279,81	316,9	336,43	356,6	377,42	398,89	443,79
2"	5,08	292,84	330,35	350,08	370,47	391,5	413,19	458,5
pol	cm	0,00	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	650,04	798,85	838,59	879,35	963,92	1052,55	1145,25
2 1/2"	6,35	678	827,98	868,02	909,07	994,22	1083,44	1176,72
2 1/2"	6,35	704,55	855,67	895,98	937,32	1023,04	1112,83	1206,67
2 1/2"	6,35	729,74	881,96	922,55	964,16	1050,44	1140,77	1235,18

3"	7,62	1400,41	1660,67	1729,39	1799,57	1944,33	2094,95	2251,42
3"	7,62	1448,14	1709,82	1778,9	1849,44	1994,91	2146,24	2303,42
3"	7,62	1493,7	1756,77	1826,2	1897,09	2043,26	2195,28	2353,16
3"	7,62	1537,17	1801,61	1871,37	1942,6	2089,45	2242,15	2400,71
3"	7,62	1578,64	1844,41	1914,51	1986,07	2133,58	2286,95	2446,17
3"	7,62	1618,2	1885,26	1955,68	2027,57	2175,73	2329,74	2489,61
4"	10,16	4752,44	5381,61	5545,41	5711,81	6052,41	6403,41	6764,83
4"	10,16	4860,09	5491,16	5655,43	5822,31	6163,86	6515,82	6878,18
4"	10,16	4963,7	5596,65	5761,39	5928,73	6271,22	6624,11	6987,41
4"	10,16	5063,41	5698,2	5863,4	6031,2	6374,61	6728,42	7092,64
4"	10,16	5159,33	5795,93	5961,58	6129,84	6474,15	6828,87	7193,99
4"	10,16	5251,6	5889,97	6056,07	6224,76	6569,96	6925,57	7291,58
4"	10,16	5340,31	5980,43	6146,96	6316,09	6662,17	7018,65	7385,53
5"	12,7	12284,71	13530,32	13851,88	14177,51	14840,96	15520,67	16216,64
5"	12,7	12673,19	13923,47	14246,2	14573	15238,78	15920,83	16619,14
5"	12,7	13037,11	14291,94	14615,81	14943,74	15611,8	16296,12	16996,7
5"	12,7	13377,74	14636,98	14961,96	15290,99	15961,26	16647,79	17350,58
6"	15,24	25711,95	27876,81	28432,65	28994,35	30135,31	31299,68	32487,46
6"	15,24	26392,33	28562,87	29120,14	29683,27	30827,08	31994,29	33184,93
6"	15,24	27035,65	29211,77	29770,43	30334,95	31481,54	32651,54	33844,96
6"	15,24	27643,51	29825,07	30385,09	30950,97	32100,28	33273	34469,14
6"	15,24	28217,43	30404,3	30965,65	31532,86	32684,83	33860,21	35059

ANEXO F: PROPRIEDADES DOS PERFIS

bf		Nome	P	A	tf	tf	tf	Eixo X-X				Eixo Y-Y	
								I	W	r	y	r	
pol	cm	pol kg/m	kg/m	cm3	pol	pol	cm	cm2	cm1	cm	cm	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	p01	1,7	2	1/8"	1,16	1,25	1,33	1,41	1,50	1,58	2,08	2,16
5/8"	1,58	p02	2,18	2,56	1/8"	1,29	1,38	1,47	1,56	1,64	1,73	2,25	2,34
3/4"	1,905	p03	2,7	3,18	1/8"	1,43	1,52	1,61	1,69	1,78	1,87	2,41	2,50
7/8"	2,223	p04	3,2	3,76	1/8"	1,53	1,62	1,71	1,80	1,88	1,97	2,49	2,58
7/8"	2,223	p05	4,62	5,44	3/16"	1,54	1,62	1,69	1,76	1,84	1,91	2,35	2,42
1"	2,54	p06	3,54	4,12	1/8"	1,66	1,75	1,83	1,91	2,00	2,08	2,58	2,66
1"	2,54	p07	5,3	6,22	3/16"	1,62	1,68	1,73	1,79	1,85	1,91	2,26	2,32
1"	2,54	p08	6,92	8,16	1/4"	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,73	1,91	1,94
1 1/4"	3,175	p09	4,72	5,58	1/8"	1,83	1,89	1,95	2,01	2,06	2,12	2,46	2,52
1 1/4"	3,175	p10	6,68	7,82	3/16"	1,71	1,72	1,74	1,75	1,76	1,78	1,85	1,87
1 1/4"	3,175	p11	8,76	10,28	1/4"	1,39	1,34	1,29	1,24	1,18	1,13	0,81	0,76
1 1/2"	3,81	p12	5,62	6,6	1/8"	1,93	1,94	1,95	1,96	1,97	1,98	2,03	2,04
1 1/2"	3,81	p13	8,32	9,8	3/16"	1,70	1,63	1,56	1,49	1,42	1,35	0,93	0,86
1 1/2"	3,81	p14	10,84	12,78	1/4"	1,50	1,35	1,21	1,07	0,93	0,79	-0,06	-0,20
1 3/4"	4,445	p15	6,56	7,7	1/8"	1,94	1,88	1,81	1,75	1,68	1,61	1,21	1,15
1 3/4"	4,445	p16	9,7	11,4	3/16"	1,55	1,35	1,16	0,97	0,78	0,58	-0,57	-0,77
1 3/4"	4,445	p17	12,64	14,84	1/4"	1,21	0,91	0,60	0,30	-0,01	-0,32	-2,15	-2,45
1 3/4"	4,445	p18	15,72	18,54	5/16"	0,90	0,49	0,08	-0,33	-0,74	-1,15	-3,62	-4,03
2"	5,08	p19	7,48	8,76	1/8"	1,85	1,68	1,51	1,33	1,16	0,98	-0,06	-0,24
2"	5,08	p20	11,06	12,96	3/16"	1,22	0,84	0,47	0,09	-0,28	-0,66	-2,92	-3,29
2"	5,08	p21	14,76	17,4	1/4"	0,68	0,14	-0,40	-0,94	-1,48	-2,02	-5,26	-5,80
2"	5,08	p22	18,02	21,2	5/16"	0,19	-0,51	-1,21	-1,90	-2,60	-3,30	-7,49	-8,18
2"	5,08	p23	21,06	24,6	3/8"	-7,92	-10,96	-13,99	-17,03	-20,06	-23,10	-41,30	-44,34
pol	cm	p24	kg/m	cm3	pol	pol	cm	cm2	cm1	cm	cm	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	p25	14,06	16,52	3/16"	0,24	-0,61	-1,47	-2,33	-3,19	-4,05	-9,20	-10,06
2 1/2"	6,35	p26	18,48	21,62	1/4"	-0,77	-1,95	-3,12	-4,29	-5,47	-6,64	-13,69	-14,86
2 1/2"	6,35	p27	23,04	27,12	5/16"	-1,80	-3,29	-4,78	-6,27	-7,76	-9,25	-18,19	-19,68
2 1/2"	6,35	p28	27,08	31,84	3/8"	-2,82	-4,62	-6,42	-8,23	-10,03	-11,84	-22,67	-24,47
3"	7,62	p29	17,08	20,1	3/16"	-1,86	-3,49	-5,12	-6,75	-8,38	-10,01	-19,79	-21,42
3"	7,62	p30	22,58	26,58	1/4"	-3,60	-5,75	-7,90	-10,05	-12,20	-14,36	-27,26	-29,42
3"	7,62	p31	27,78	32,6	5/16"	-5,55	-8,29	-11,04	-13,79	-16,54	-19,29	-35,77	-38,52
3"	7,62	p32	33,02	38,82	3/8"	-7,65	-11,03	-14,42	-17,80	-21,19	-24,57	-44,88	-48,27
3"	7,62	p33	38	44,66	7/16"	-9,05	-12,86	-16,67	-20,48	-24,28	-28,09	-50,94	-54,75
3"	7,62	p34	42,96	50,44	1/2"	-10,48	-14,72	-18,96	-23,21	-27,45	-31,69	-57,16	-61,40
4"	10,16	p35	30,42	35,82	1/4"	-14,25	-19,82	-25,39	-30,96	-36,53	-42,09	-75,51	-81,08

4"	10,16	p36	37,52	44,09	5/16"	-19,06	-26,06	-33,07	-40,08	-47,08	-54,09	-96,13	-103,14
4"	10,16	p37	44,66	52,42	3/8"	-23,73	-32,13	-40,52	-48,91	-57,30	-65,69	-116,04	-124,43
4"	10,16	p38	51,8	60,9	7/16"	-27,96	-37,62	-47,27	-56,93	-66,58	-76,24	-134,18	-143,84
4"	10,16	p39	58,7	69,02	1/2"	-32,05	-42,91	-53,78	-64,65	-75,52	-86,38	-151,59	-162,45
4"	10,16	p40	65,32	76,72	9/16"	-35,52	-47,42	-59,32	-71,22	-83,13	-95,03	-166,44	-178,34
4"	10,16	p41	72,22	84,98	5/8"	-39,60	-52,71	-65,82	-78,93	-92,04	105,15	-183,83	-196,94
5"	12,7	p42	56,56	66,54	3/8"	-51,05	-67,70	-84,34	100,99	117,64	134,29	-234,17	-250,82
5"	12,7	p43	74,36	87,44	1/2"	-68,64	-90,47	112,30	134,13	155,96	177,79	-308,77	-330,60
5"	12,7	p44	91,6	107,6	5/8"	-84,26	110,69	137,13	163,56	190,00	216,43	-375,04	-401,47
5"	12,7	p45	108,84	128,16	3/4"	-98,39	128,98	159,57	190,16	220,75	251,34	-434,88	-465,47
6"	15,24	p46	68,04	79,84	3/8"	-93,93	123,32	152,72	182,11	211,51	240,90	-417,27	-446,66
6"	15,24	p47	89,96	105,74	1/2"	124,08	162,30	200,51	238,73	276,95	315,16	-544,46	-582,68
6"	15,24	p48	111,44	131,16	5/8"	152,98	199,67	246,35	293,04	339,73	386,41	-666,54	-713,22
6"	15,24	p49	132,36	155,84	3/4"	179,74	234,27	288,80	343,33	397,86	452,39	-779,57	-834,10
6"	15,24	p50	152,44	179,36	7/8"	204,56	266,35	328,14	389,94	451,73	513,52	-884,27	-946,06

ANEXO G: REAÇÕES DAS BARRAS PARA CADA AÇÃO E TESOURA

G0,0					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,74	6,93	11,26
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,39	112,50	-77,86	-49,37	-84,14
13	0,00	0,00	0,00	0,00	
		-			
14	-31,54	113,06	78,34	49,60	84,85
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	31,39	112,50	-77,86	-49,37	-84,14
16	-10,51	-37,69	29,94	20,27	28,56
17	-21,02	-75,37	48,99	29,74	56,85
7	2,09	7,50	4,90	-2,98	5,68
11	11,69	-15,00	8,68	4,87	11,26
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	31,39	112,50	-67,33	-38,83	-84,14
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		-			
18	-31,54	113,06	68,06	39,33	84,85
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	31,39	112,50	-67,33	-38,83	-84,14
6	-10,51	-37,69	19,35	9,67	28,56
19	-21,02	-75,37	49,10	29,84	56,85

G1,0					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
12	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
2	0,00	0,00	-0,70	-0,70	0,00
13	6,76	24,24	-16,32	-10,18	-18,12
		-			
14	-6,31	-22,61	16,02	10,19	17,20
4	-2,51	-9,00	6,06	3,78	6,73
3	6,28	22,50	-15,85	-10,15	-16,83
16	0,78	2,80	-0,19	0,47	-1,95
17	-7,01	-25,12	16,78	10,17	19,51
7	-0,70	-2,50	1,51	0,91	1,74
11	-11,69	-15,00	8,82	5,01	11,26
15	-11,69	-15,00	8,82	5,01	11,26
8	0,00	0,00	0,70	0,70	0,00
9	6,76	24,24	-14,95	-8,81	-18,12
		-			
18	-6,31	-22,61	13,65	7,83	17,20
10	-2,51	-9,00	5,55	3,47	6,73
5	6,28	22,50	-13,19	-7,49	-16,83
6	0,78	2,80	-3,17	-2,51	-1,95
19	-7,01	-25,12	16,89	10,28	19,51

G0,25					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,62	6,80	11,26
12	-11,69	-15,00	10,62	6,80	11,26
2	0,00	0,00	-2,57	-2,57	0,00
13	15,77	56,35	-37,19	-22,87	-42,28
14	-15,77	-56,53	39,86	25,44	42,56
4	-1,57	-5,63	3,70	2,28	4,21
3	15,69	56,25	-39,58	-25,33	-42,07
16	-1,78	-6,37	7,68	5,98	5,02
17	-14,02	-50,25	32,89	19,96	38,18
7	0,70	2,50	-1,70	-1,03	-1,97
11	-11,69	-15,00	8,81	4,99	11,26
15	-11,69	-15,00	8,81	4,99	11,26
8	0,00	0,00	2,57	2,57	0,00
9	15,77	56,35	-35,77	-21,45	-42,28
18	-15,77	-56,53	33,58	19,17	42,56
10	-1,57	-5,63	3,56	2,13	4,21
5	15,69	56,25	-33,02	-18,77	-42,07
6	-1,78	-6,37	0,99	-0,71	5,02
19	-14,02	-50,25	32,99	20,06	38,18

G1,25					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
12	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
2	0,00	0,00	-0,57	-0,57	0,00
13	5,85	20,96	-14,14	-8,82	-15,58
14	-5,26	-18,84	13,37	8,50	14,38
4	-2,62	-9,38	6,32	3,95	7,01
3	5,23	18,75	-13,22	-8,47	-14,02
16	0,87	3,12	-0,61	0,14	-2,21
17	-6,01	-21,54	14,48	8,78	16,85
7	-0,90	-3,21	1,96	1,19	2,28
11	-11,69	-15,00	8,82	5,01	11,26
15	-11,69	-15,00	8,82	5,01	11,26
8	0,00	0,00	0,57	0,57	0,00
9	5,85	20,96	-12,92	-7,61	-15,58
18	-5,26	-18,84	11,44	6,57	14,38
10	-2,62	-9,38	5,78	3,40	7,01
5	5,23	18,75	-10,98	-6,23	-14,02
6	0,87	3,12	-3,21	-2,46	-2,21
19	-6,01	-21,54	14,59	8,88	16,85

G0,50					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,61	6,80	11,26
12	-11,69	-15,00	10,61	6,80	11,26
2	0,00	0,00	-1,32	-1,32	0,00
13	10,67	38,24	-25,57	-15,88	-28,60
14	-10,51	-37,69	26,61	16,97	28,47
4	-2,09	-7,50	5,01	3,11	5,61
3	10,46	37,50	-26,40	-16,90	-28,05
16	0,00	0,00	2,46	2,40	0,20
17	-10,51	-37,69	24,84	15,07	28,85
7	0,00	0,00	-0,10	-0,06	-0,11
11	-11,69	-15,00	8,81	5,00	11,26
15	-11,69	-15,00	8,81	5,00	11,26
8	0,00	0,00	1,32	1,32	0,00
9	10,67	38,24	-23,79	-14,10	-28,60
18	-10,51	-37,69	22,51	12,87	28,47
10	-2,09	-7,50	4,66	2,76	5,61
5	10,46	37,50	-22,00	-12,50	-28,05
6	0,00	0,00	-2,13	-2,19	0,20
19	-10,51	-37,69	24,94	15,17	28,85

G1,50					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
12	-11,69	-15,00	10,60	6,79	11,26
2	0,00	0,00	-0,49	-0,49	0,00
13	5,23	18,74	-12,65	-7,90	-14,02
14	-4,51	-16,15	11,48	7,29	12,36
4	-2,69	-9,64	6,51	4,06	7,21
3	4,48	16,07	-11,33	-7,26	-12,02
16	0,91	3,27	-0,84	-0,05	-2,33
17	-5,26	-18,84	12,76	7,73	14,85
7	-1,05	-3,75	2,31	1,40	2,67
11	-11,69	-15,00	8,83	5,01	11,26
15	-11,69	-15,00	8,83	5,01	11,26
8	0,00	0,00	0,49	0,49	0,00
9	5,23	18,74	-11,54	-6,80	-14,02
18	-4,51	-16,15	-9,86	5,67	12,36
10	-2,69	-9,64	5,94	3,50	7,21
5	4,48	16,07	-9,41	-5,34	-12,02
6	0,91	3,27	-3,19	-2,40	-2,33
19	-5,26	-18,84	12,86	7,83	14,85

G0,75					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,61	6,80	11,26
12	-11,69	-15,00	10,61	6,80	11,26
2	0,00	0,00	-0,91	-0,91	0,00
13	8,19	29,36	-19,73	-12,29	-21,96
14	-7,89	-28,27	19,99	12,74	21,42
4	-2,35	-8,44	5,67	3,53	6,31
3	7,85	28,12	-19,81	-12,68	-21,04
16	0,56	2,02	0,62	1,08	-1,35
17	-8,41	-30,15	20,00	12,13	23,25
7	-0,42	-1,50	0,86	0,52	1,00
11	-11,69	-15,00	8,81	5,00	11,26
15	-11,69	-15,00	8,81	5,00	11,26
8	0,00	0,00	0,91	0,91	0,00
9	8,19	29,36	-18,16	-10,73	-21,96
18	-7,89	-28,27	16,98	9,72	21,42
10	-2,35	-8,44	5,22	3,08	6,31
5	7,85	28,12	-16,49	-9,37	-21,04
6	0,56	2,02	-2,95	-2,49	-1,35
19	-8,41	-30,15	20,11	12,24	23,25

G2,5					
Lado	CP	SC	V1	V2	V3
1	-11,69	-15,00	10,58	6,77	11,26
12	-11,69	-15,00	10,58	6,77	11,26
2	0,00	0,00	-0,33	-0,33	0,00
13	4,04	14,46	-9,76	-6,09	-10,82
14	-2,87	-10,28	7,35	4,65	7,97
4	-2,85	-10,23	6,90	4,31	7,65
3	2,85	10,23	-7,23	-4,64	-7,65
16	0,94	3,38	-1,17	-0,34	-2,43
17	-3,50	-12,56	8,73	5,28	10,18
7	-1,40	-5,00	3,11	1,89	3,60
11	-11,69	-15,00	8,84	5,03	11,26
15	-11,69	-15,00	8,84	5,03	11,26
8	0,00	0,00	0,33	0,33	0,00
9	4,04	14,46	-8,91	-5,24	-10,82
18	-2,87	-10,28	6,40	3,70	7,97
10	-2,85	-10,23	6,30	3,71	7,65
5	2,85	10,23	-5,97	-3,38	-7,65
6	0,94	3,38	-3,03	-2,21	-2,43
19	-3,50	-12,56	8,84	5,39	10,18