

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUILHERME OLIVEIRA NASCENTES
MARIANA AGDA MARTINS ROMÃO**

**DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM
GALPÃO INDUSTRIAL DESENVOLVIDO SEGUINDO
AS ORIENTAÇÕES DA NBR 8800/08**

**PATOS DE MINAS
2016**

**GUILHERME OLIVEIRA NASCENTES
MARIANA AGDA MARTINS ROMÃO**

**DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM
GALPÃO INDUSTRIAL DESENVOLVIDO SEGUINDO
AS ORIENTAÇÕES DA NBR 8800/08**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Wesley Magno da Costa

**PATOS DE MINAS
2016**
Candidatos:

GUILHERME OLIVEIRA NASCENTES
MARIANA AGDA MARTINS ROMÃO

Título: DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA DE UM GALPÃO INDUSTRIAL
DESENVOLVIDO SEGUINDO AS ORIENTAÇÕES DA NBR 8800/08

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil –
FACULDADE PATOS DE MINAS

11 de maio de 2016.

Prof. Wesley Magno da Costa
Orientador

Prof.º José Natal
Examinador

Prof.ª Nayara Mota
Examinador

Aprovado (X)

Reprovado ()

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Agradecemos a Deus por ter nos dado saúde e força para superar todas as dificuldades. Pois não seria possível a realização deste sonho se ele não tivesse nos coberto com seu manto sagrado.

Ao nosso orientador Wesley Magno da Costa, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos. Pois ele é o profissional que queremos ser no futuro, pois ele é um homem honrado, ético, dedicado e atencioso.

Aos nossos pais e familiares, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Pois eles foram o nosso principal alicerce para construção desse sonho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

NASCENTES, Guilherme Oliveira; ROMÃO, Mariana Agda Martins. **Dimensionamento da Cobertura de um Galpão Industrial Desenvolvido Seguindo as Orientações da NBR 8800/08**. 2016. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Patos de Minas, Patos de Minas, 2016.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTES TRABALHOS, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar as possibilidades de utilização do aço na construção civil, expor suas propriedades específicas, analisando vantagens e desvantagens na elaboração e dimensionamento de um projeto em estrutura metálica de uma cobertura de um galpão industrial, baseado em todas as imposições normativas de segurança e estabilidade presentes na NBR 8800/08, consultas à bibliografias e teses de doutorado relacionadas ao tema. Assim, observa-se que após a execução e exposição do todo o processo de dimensionamento é possível obter um resultado final com o detalhamento de descrição e dimensões de todos os componentes presentes na estrutura, sua localização, os esforços a que estão submetidos e prontos para suportá-los, pesos para que possa se estipular o custo da estrutura e estudo da sua viabilidade de execução.

Palavras-chave: Dimensionamento, Segurança, Estrutura, Esforços

ABSTRACT

This paper aims to present the steel's usage possibilities in civil construction, expose its specific properties, analyzing advantages and disadvantages in the development and measurement of a project in a metallic structure of a cover of an industrial hangar, based on all taxes from safety and stability norms present in NBR 8800/08, searches in bibliographies and doctoral theses related to the topic. Thereby, it's observed that after the execution and exposure of the entire measurement process it's possible to obtain a final result with description details and measure of all components present in the structure, its location, the efforts to which they are submitted and ready to support, weights so that the cost of the structure can be stipulated and the study of its execution viability.

Keywords: Measurement, Safety, Structure, Efforts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama convencional σ , ϵ dos aços ASTM A36, A242, A325 ..	14
Figura 2	Trecho inicial dos diagramas tensão x deformação dos aços com patamar de escoamento	14
Figura 3	Trecho inicial dos diagramas tensão x deformação dos aços sem patamar de escoamento	15
Figura 4	Peças do Galpão Industrial	20
Figura 5	Mapa de Isopletas	21
Figura 6	Vento a 90°	25
Figura 7	Vento a 0°	26
Figura 8	Valores resultantes do Vento a 0°	28
Figura 9	Valores resultantes do Vento a 90°	28
Figura 10	Coeficiente de pressão interno	29
Figura 11	Coeficiente de pressão interno	29
Figura 12	Combinação $C_e (90^\circ) + C_i (+0,2)$	29
Figura 13	Combinação $C_e (90^\circ) + C_i (-0,3)$	30
Figura 14	Combinação $C_e (0^\circ) + C_i (+0,2)$	30
Figura 15	Combinação $C_e (0^\circ) + C_i (-0,3)$	30
Figura 16	Plano de Contraventamento	62
Figura 17	Estrutura da Tesoura e Pilar	63

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1	Constantes Físicas do Aço	15
Tabela 2	Aços Estruturais Disponíveis no Mercado	16
Tabela 3	Valores para S_1	22
Quadro 1	Fator de Rugosidade do Terreno – S_2	22
Quadro 2	Fator de Rugosidade do Terreno – S_2	23
Tabela 4	Fator de Rugosidade do Terreno – S_2	23
Tabela 5	Fator Estatístico – S_3	24
Tabela 6	Carregamento nos Nós	37
Tabela 7	Resultado dos Deslocamentos Nodais	37
Tabela 8	Esforços nas Barras	38
Tabela 9	Esforços nas Barras	40
Tabela 10	Esforços Nodais	43
Tabela 11	Cálculo das Reações de Apoio	44
Tabela 12	Relação dos Perfis	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problemática	10
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivos específicos	11
1.4	Justificativa	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	Vantagens da Estrutura em Aço	12
2.2	Desvantagens da Estrutura em Aço	12
2.3	Fases da construção de uma Estrutura Metálica	13
2.4	Propriedades do Aço	13
2.5	Curvas de Tensão-Deformação do Aço	14
2.6	Constantes Físicas do Aço	15
2.7	Aços Estruturais	15
2.8	Tipos de Aços Estruturais no Mercado	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4	PROJETO	17
4.1	Peças que compõem o galpão industrial	19
4.2	Desenvolvimento do Projeto	20
4.2.1	<i>Dados preliminares do projeto</i>	20
4.2.2	<i>Cálculo da ação do vento</i>	21
4.2.3	<i>Coeficientes de pressão (C_{pe}) e de forma externos para as paredes</i>	25
4.2.4	<i>Coeficientes de pressão (C_{pe}) e de forma externos para os telhados ...</i>	27
4.2.5	<i>Coeficientes de pressão (C_{pi}) e de forma internos</i>	27
4.2.6	<i>Valores resultantes</i>	28

4.2.7	<i>Combinações</i>	29
4.2.8	<i>Dimensionamento das terças</i>	30
4.2.9	<i>Carregamento nas Telhas da Cobertura</i>	31
4.2.10	<i>Dimensionamento das terças</i>	31
4.2.11	<i>Combinações dos carregamentos</i>	32
4.2.12	<i>Esforços internos solicitantes</i>	32
4.2.13	<i>Verificação da Terça</i>	33
4.2.14	<i>Verificação do cisalhamento</i>	35
4.2.15	<i>Verificação da flecha máxima</i>	36
4.2.16	<i>Cálculo da Tesoura</i>	36
4.2.17	<i>Dimensionamento das Barras</i>	44
4.2.18	<i>Dimensionamento das ligações nas Chapas</i>	51
4.2.19	<i>Dimensionamento das Colunas</i>	54
4.2.20	<i>Cálculo da placa de base</i>	59
4.2.21	<i>Chumbadores</i>	60
4.2.22	<i>Contraventamento</i>	62
5	RELAÇÃO DOS PERFIS	64
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a construção civil se mostra em pleno desenvolvimento, tanto de técnicas construtivas quanto de materiais disponíveis e graças a esse desenvolvimento possuímos hoje no mercado um dos materiais mais utilizados na construção civil: o aço.

“O aço na construção civil é utilizado desde o século XVI na Inglaterra, no Brasil tem-se relatos de sua utilização no século XVIII importado da Inglaterra, Escócia e Bélgica.” (1)

“As primeiras obras com o emprego do aço no Brasil foram as estradas de ferro, tendo assim os primeiros relatos onde as estruturas metálicas foram aplicadas no país.” (2)

“Já no mundo, os primeiros relatos do emprego das estruturas metálicas a serem construídas foi a ponte em Coalbrookdale, na Inglaterra em 1779.” (3,4)

As Estruturas Metálicas hoje são as construções mais eficientes dentro do mercado da construção civil, pois podem ter um grande reaproveitamento das peças e são bastante resistentes a diversos fatores. Sem contar que estas estruturas têm uma execução extremamente rápida, com um canteiro de obras bastante limpo.

1.1 Problemática

De que maneira e quais os aspectos devem ser examinados e dimensionados para a obtenção de uma estrutura metálica estável, segura e que atenda a todas as imposições normativas em questão?

1.2 Objetivo Geral

Apresentar uma sequência de cálculo de fácil compreensão para o desenvolvimento de um projeto de uma cobertura de um galpão industrial em aço.

1.3 Objetivos específicos

- ✓ Indicar as vantagens e desvantagens principais de um galpão industrial em estrutura metálica desenvolvido pela norma NBR 8800/08.
- ✓ Dimensionar um projeto de acordo com todos os requisitos exigidos pela NBR 8800/08

1.4 Justificativa

Com o avanço da tecnologia e o aprimoramento das técnicas da construção civil, foi necessária a criação de normas que padronizassem o trabalho dos profissionais da área. A engenharia civil se mostra bastante diversificada, pois não se tem um método apenas para se calcular uma estrutura, uma vez que varia de um país para outro. E é nessa diversidade que queremos expor nesta pesquisa o método de cálculo que vem ganhando cada vez mais o mercado devido a sua economia, mas que se mostra pequeno em relação ao concreto armado, para se fazer um estudo aprofundado que comprove a sua real eficiência.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Existem três tipos mais usuais dos materiais de origem ferrosos que são: o aço, o ferro forjado e o ferro fundido, porém dentre eles o mais usual e mais importante dentro da construção civil é o aço.

O aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, com outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre, e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominado elementos de liga. Já o ferro forjado, cuja produção comercial inexistente atualmente, é praticamente um aço de baixo carbono. (5)

O aço possui diversos benefícios dentro de uma construção civil a produção dele é um grande indicador de desenvolvimento econômico de um país, pois a fabricação do mesmo não é relativamente barata, por isto para as siderúrgicas fabrica-los exige-se bastante técnica, tendo assim grandes gastos com

investimentos em pesquisas, desta forma tem-se um aumento no valor final do produto.

“As estruturas metálicas estão presentes em diversas áreas da construção civil, como edifícios comerciais, edifícios residenciais, passarelas, galpões industriais, pontes, viadutos, ginásios poliesportivos, shoppings, garagens e etc.” (6)

As primeiras obras em aço datam de 1750, quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. Seu emprego estrutural na França deu-se por volta de 1780, na escadaria do Louvre e no Teatro de Palais Royal, e na Inglaterra, em 1757, onde se fez uma ponte de ferro fundido. Porém, a sua grande utilização em edifícios deu-se em 1880 nos Estados Unidos, principalmente em Chicago. O início da fabricação do ferro no Brasil deu-se por volta de 1812. Acredita-se que a primeira obra a usar ferro pudlado, fundido no Brasil, no estaleiro Mauá, em Niterói, RJ, foi a Ponte de Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro[...]. (7)

Como todas as formas construtivas, as estruturas metálicas possuem diversos pontos positivos e negativos.

2.1 Vantagens da Estrutura em Aço

- ✓ “O aço possui alta resistência aos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão, etc.).” (8)
- ✓ Tem-se uma redução significativa das solicitações das fundações;
- ✓ Podem ser fabricados em oficinas dependendo do tamanho do perfil;
- ✓ Podem ser montadas e desmontadas em diversos locais;
- ✓ Tem-se bastante agilidade, pois reduz bastante o tempo de montagem;
- ✓ Bastante limpeza no canteiro de obras;
- ✓ Possui grande reaproveitamento das peças. (5,6,7)

2.2 Desvantagens da Estrutura em Aço

- ✓ Falta de mão de obra especializada;
- ✓ “A estrutura em aço, quando exposta ao fogo, perde suas propriedades de resistência, o que se torna uma das maiores desvantagens da mesma;” (7)
- ✓ Bastante suscetível à corrosão, dependendo assim de um método de proteção para proteger o perfil. (5,6,7)

2.3 Fases da construção de uma Estrutura Metálica

- ✓ **Projeto Arquitetônico** → por ele se define o formato da estrutura, os detalhes visuais de acabamentos, ventilação, iluminação.
- ✓ **Projeto Estrutural** → por ele se define todos os elementos estruturais do projeto com base nos dados arquitetônicos.
- ✓ **Detalhamento** → elaboração dos desenhos e instruções para a fabricação das peças estruturais definidas pelo projeto estrutural e de montagem em campo.
- ✓ **Fabricação** → todas as peças que compõe a estrutura são fabricadas, na oficina na maioria das vezes porem pode ocorrer de serem fabricadas também na obra. Incluindo os processos de fabricação de traçagem, de corte, de soldagem, de conformação, etc.
- ✓ **Limpeza e proteção** → acabamento das peças fazendo-se a limpeza das mesmas para a preparação das superfícies e pintura.
- ✓ **Transporte** → todas as peças que foram fabricadas na oficina são enviadas para o local da obra.
- ✓ **Montagem** → fase final do processo, onde todas as peças são unidas formando a estrutura, podendo ser essas uniões soldadas e aparafusadas. Terminando com a desmobilização do canteiro.
- ✓ **Revisão e acabamento** → são feitos os retoques finais na pintura e a finalização das peças soldadas em obra. (9,10)

2.4 Propriedades do Aço

“As características físicas que podem ser adotadas em todos os tipos de aços estruturais que estejam na faixa normal de temperatura atmosférica são:” (5)

a) *Ductibilidade*: é a capacidade que o material tem de se deformar sobre as ações de cargas e vai até o material atingir a sua ruptura.

b) *Fragilidade*: é exatamente o oposto do material dúctil; o material se torna frágil quando expostos a diversos agentes como baixas temperaturas, entre outros.

c) *Resilência e Tenacidade*: é a capacidade que o material tem em absorver energia mecânica.

d) *Dureza*: é a resistência ao risco (ou abrasão).

e) *Fadiga*: ruptura do material sob esforços repetidos ou cíclicos. A ruptura por fadiga é sempre uma ruptura frágil, mesmo para materiais dúcteis.

f) *Elasticidade*: é a capacidade de um material ter grandes deformações antes do escoamento. (5,6,11)

2.5 Curvas de Tensão-Deformação do Aço

“Todas as propriedades mecânicas dos aços que descrevem sua resistência e ductibilidade são visualizadas através de ensaios de tração simples feitas em laboratório, a partir de cada resultado você tem o comportamento do aço.” (5,7)

Figura 1: Diagrama convencional $\sigma \times \varepsilon$ dos aços ASTM A36, A242, A325

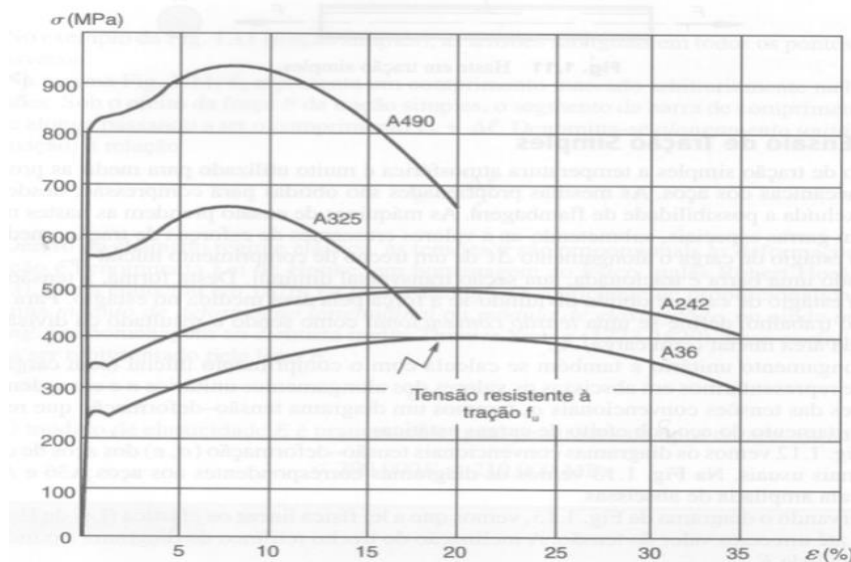


Figura 2: Trecho inicial dos diagramas tensão x deformação dos aços com patamar de escoamento.

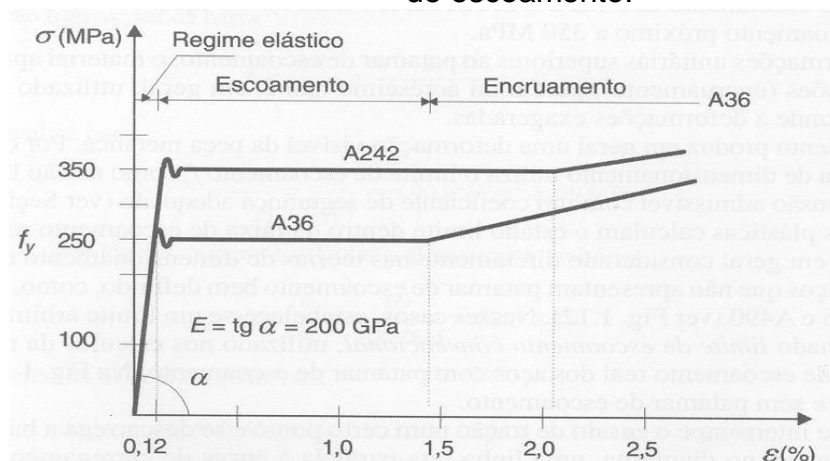
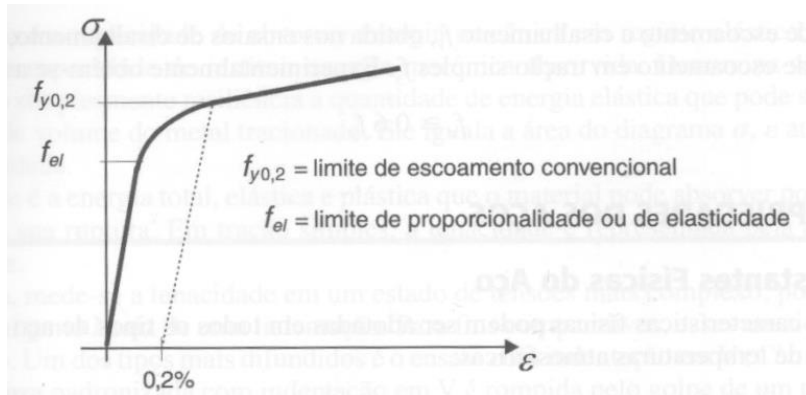


Figura 3: Trecho inicial dos diagramas tensão x deformação dos aços sem patamar de escoamento.



2.6 Constantes Físicas do Aço

De acordo com a NBR 8800/08, adotam-se para o cálculo estrutural dos galpões industriais as suas seguintes propriedades mecânicas do mesmo:

Tabela 1: Constantes Físicas do Aço

Modulo de deformação longitudinal ou modulo de elasticidade	$E = 200.000 \text{ Mpa}$
Coeficiente de Poisson	$\nu = 0,3$
Coeficiente de dilatação térmica	$\beta = 12 \times 10^{-6} \text{ por } ^\circ\text{C}$
Massa Específica	$\rho_a = 7850 \text{ Kg/m}^3$
Modulo de Elasticidade Transversal	$G = 77.000 \text{ Mpa}$

2.7 Aços Estruturais

“Os aços estruturais são classificados de acordo com a sua composição química, eles são divididos em dois grupos distintos:” (5,7)

- **Aços-Carbono:** são os aços mais usados no mercado, possuem alta resistência devido à mistura do carbono na sua composição comparado ao aço puro.
- **Aços de baixa liga:** são aços-carbono que tem acrescentado na sua composição elementos de liga (como cromo colúmbio, cobre, manganês,

molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio) aumentando-se assim algumas de suas propriedades mecânicas. (5)

- **Aço com Tratamento Térmico:** os dois grupos podem vir a receber tratamentos térmicos que alteram suas propriedades mecânicas fazendo com que se aumente a resistência do aço. (5)

2.8 Tipos de Aços Estruturais no Mercado

Tabela 2: Aços Estruturais Disponíveis no Mercado

Tipo de aço	Teor de Carbono (%)	Limite de elasticidade f_{el} (MPa)	Limite de escoamento f_y (MPa)	Limite de resistência à tração f_u (MPa)	Alongamento (%)
ASTM-A-36	0,25 a 0,30	200	250	400 a 500	20
Comercial	–	± 190	± 240	370 a 520	20
ASTM-A570	0,25	185	230	360	23
SAE 1008	0,08	135	170	305	30
SAE 1010	0,10	145	180	325	28
SAE 1020	0,20	170	210	380	25
SAE 1045	0,45	250	310	560	17
ASTM-A242	< 0,22	250	290 a 350	435 a 480	18
ASTM-A441	–	220 a 275	275 a 345	415 a 485	± 18
ASTM-A572	–	220 a 275	290 a 345	415 a 450	± 18
ASTM-A588	–	230 a 280	290 a 350	415 a 450	± 18
COR-TEN A/B	–	275	345	480	± 19
COR-TEN C	–	330	415	550	± 19
ABNT MR250	–	200	250	400	
ABNT MR290	–	230	290	415	
ABNT MR345	–	275	345	450	

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente Trabalho de Conclusão de Curso buscou-se primeiramente fontes de pesquisa bibliográficas como de teses de doutorado,

dissertações de mestrado, pesquisas em apostilas, livros e sites especializados na internet.

Após um estudo minucioso sobre o tema, chegou-se à conclusão que o projeto seria todo desenvolvido baseado na última norma Brasileira que vem ganhando cada vez mais o mercado de trabalho, assim o projeto será calculado de acordo com a NBR 8800/2008.

O projeto foi desenvolvido baseando-se na norma Brasileira e em entrevistas com profissionais que dimensionam e executam o projeto de Estruturas Metálicas para galpões industriais, citando as vantagens e desvantagens do método de cálculo analisado.

4 PROJETO

A engenharia hoje nos traz diversas formas de se chegar a um resultado final satisfatório, podendo ser de modo construtivo ou de cálculo. Existem diversas normas para se calcular uma estrutura metálica, dentre diversas normas existentes segue algumas delas:

- NBR 14762 para Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio,
- Método de Tensões Admissíveis,
- NBR 6120 para Cálculo de Estruturas e Edificações,
- NBR 6123 para Forças devido ao Vento em Edificações,
- NBR 14323 para Dimensionamento de Estruturas em situação de Incêndio,
- NBR 6355 para Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio,
- NBR 8800 para Projeto de Estruturas de Aço de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios.

O projeto aqui desenvolvido baseou-se de acordo com a NBR 8800/2008 que vem ganhando cada vez mais mercado devido aos estudos realizados ao longo dos anos para tornar essa norma viável e econômica. A NBR 8800/08 baseia-se no método dos estados limites, ela determina todas as condições de dimensionamento, execução e inspeção de um projeto, sendo os perfis laminado ou soldado e contendo ligações aparafusadas ou soldadas. É bastante utilizada para projetos de edifícios habitacionais, industriais, comerciais. Todo projeto executado com a NBR

8800/2008 não poderá ter nenhum outro método de cálculo envolvido, pois o dimensionamento da estrutura segue corretamente todos os critérios por ela imposta, neste caso o método de tensões admissíveis não poderá entrar nos cálculos do projeto.

E como a NBR 8800/2008 é baseada no método dos estados limites vamos aqui classifica-lo como o método que tem seu nível de segurança determinado através da capacidade que a estrutura tem de suportar as ações que nela esta solicitada durante toda a sua existência, sem atingir o seu estado limite último ou de serviço.

“Os estados limites últimos estão relacionados ao esgotamento da capacidade resistente da estrutura. Estes deverão ter uma probabilidade de ocorrência pequena, pois pode resultar em perda de vidas humanas.” (12)

“Os estados limites de serviço correspondem a limites estabelecidos que, se obedecidos, garantem que o comportamento da estrutura será adequado para sua utilização normal e sua durabilidade.” (12)

“O método dos estados limites permite um processo mais racional para o dimensionamento, pois identifica de todos os modos de colapso ou situações em que a estrutura deixaria de atender aos requisitos para os quais foi projetada”. (12)

Ele é um método que se baseia em altos níveis de segurança para cada limite. O dimensionamento feito pelo método de estados limites proporciona um melhor entendimento dos requisitos que se deve atender uma estrutura e qual o comportamento que ela precisa possuir para atender esses requisitos. (12)

“O método dos estados limites é uma ferramenta que ajuda a avaliar situações de projeto, simplifica o processo de dimensionamento e permite a atualização das normas de maneira mais racional.” (13)

O projeto aqui apresentado foi calculado para ser desenvolvido na cidade de Teófilo-Otoni, onde se sabe que, o terreno no qual ele vai ser desenvolvido é considerado por norma como morro e que ele será um galpão para uso industrial de altura média. Ele possui um comprimento de 25 metros e uma largura de 19 metros, contem nele 12 pilares de mesmo tamanho.

Num projeto estrutural devem-se levar em conta todas as cargas existentes que venham a provocar alguma solicitação da estrutura a norma NBR 8800/08

define essas cargas como ações que causam alguma consequência estrutural e define também os seus respectivos valores: (6)

- **Ações Permanentes:** são todos os elementos que vão permanecer ao longo de toda a vida útil da estrutura como o seu peso próprio, o peso dos revestimentos, os equipamentos instalados permanentemente, etc.
- **Ações Variáveis:** são aquelas que podem ocorrer na estrutura, mas que não são permanentes como as mobília de um local, o vento nas coberturas, variações da temperatura, as sobrecargas ocasionadas pela ocupação de pessoas, etc.
- **Ações Excepcionais:** são as que ocorrem com menor frequência ou quase nunca como explosões, abalos sísmicos, etc. (6)

4.1 Peças que compõem o galpão industrial

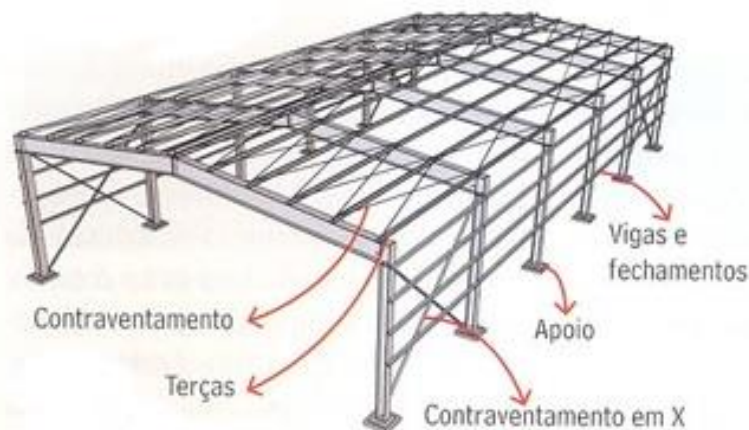
Todas as peças que compõem um galpão industrial em estruturas metálicas são perfis estruturais que quando unidos formam a estrutura:

- Apoio: também denominadas como placas de base, tem como função atender aos esforços de momento bem como as reações de forças de cargas normais proveniente das colunas, que por sua vez, recebem esforços provocados pelas vigas e demais componentes da estrutura com função estrutural ou não.
- Pilares: exercem a função de transmitir para a placa de base, seguindo para os chumbadores ligados às fundações de concreto todo o peso e reações geradas pela estrutura proveniente de vigas, peso próprio da estrutura, sobrecargas, etc.
- Fechamentos: são chapas instaladas às estruturas visando a proteção interna e externa da mesma quanto às intempéries do meio ao qual está imposta
- Contraventamento: os contraventamentos são essenciais para as estruturas metálicas, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte. Eles são responsáveis pela rigidez do prédio/edifício metálico, devido às ações de ventos e aos esforços que a estrutura recebe dos elementos que a compõem,

incluindo sobrecargas. Também tem finalidade de garantir estabilidade do conjunto durante a fase de montagem e obviamente durante a sua vida útil.

- Terças: são componentes instalados apoiados sobre as vigas principais ou secundárias com a finalidade de receber e suportar as chapas de cobertura bem como as cargas acidentais proveniente das mesmas.
- Tesoura: são o conjunto de peças que estão presentes no telhado que tem como função principal vencer vãos sem apoio intermediários. São estruturas planas verticais que recebem cargas paralelamente ao seu plano, transmitindo-as aos seus apoios. Geralmente são compostas por: vigas, banzos, montantes, etc.

Figura 4: Peças do Galpão Industrial



4.2 Desenvolvimento do Projeto

4.2.1 Dados preliminares do projeto

- Cobertura em duas águas com tesoura em estrutura metálica
- A cobertura será em telhas galvanizadas
- Declividade da cobertura de $8,58^\circ = 15\%$
- Todas as colunas são compostas por perfis metálicos
- Os perfis utilizados serão laminados: ASTM A36
- Serão utilizados para solda: eletrodo E70XX AWS
- Local da construção: Teófilo-Otoni

- Pé direito: 6,0 m
- Largura da construção: 19 m

4.2.2 Cálculo da ação do vento

Para calcular a ação do vento na estrutura será utilizada a norma NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações.

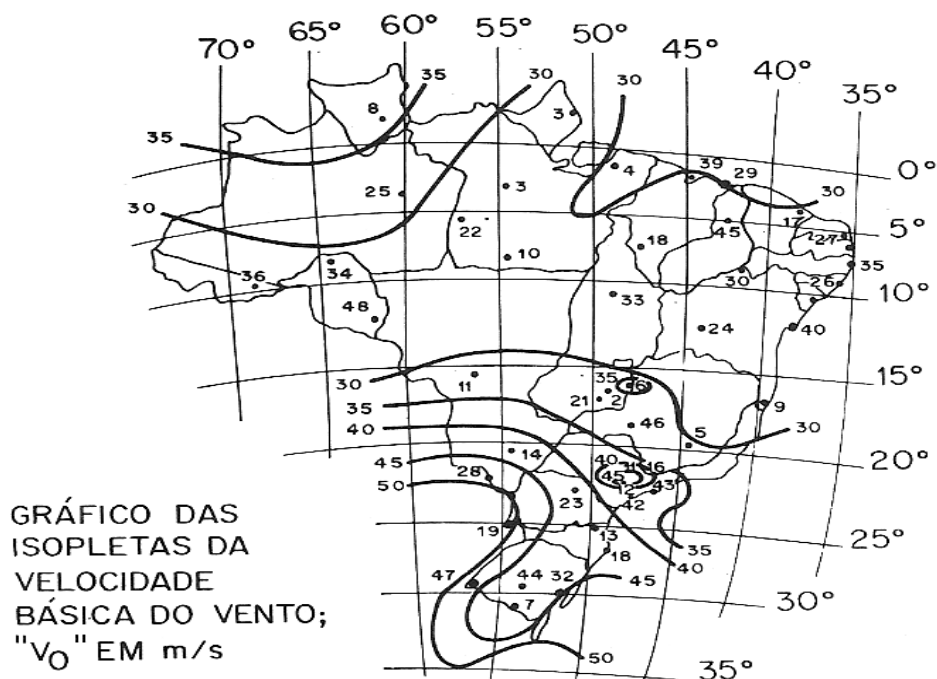
“Esta Norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.” (14)

“Esta Norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos estes em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos.” (14)

“Resultados experimentais obtidos em túnel de vento, com simulação das principais características do vento natural, podem ser usados em substituição do recurso aos coeficientes constantes nesta Norma.” (14)

Para saber a velocidade básica do vento na cidade de Teófilo-Otoni foi utilizado o Mapa de Isopletas que nada mais é que um mapa topográfico com as curvas de nível representadas por cada região do país que mede a altura em relação ao nível do mar. A velocidade correspondente no mapa é em relação à m/s que pode ser revertido a km/h.

Figura 5: Mapa de Isopletas



- Cidade de Teófilo-Otoni = $V_0 = 30$ m/s
- Fator topográfico: para se calcular o valor topográfico levam-se em consideração as variações que existem no relevo do terreno, levando em conta toda a topografia do dele. (15)

Tabela 3: Valores para S_1

CASO	TOPOGRAFIA	S1
a)	Terreno plano ou fracamente acidentado	1,0
b)	Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção	0,9
c)	Taludes e morros; taludes e morros alongados (locais de aceleração do vento)	1,1

- $S_1 = 1,1$

- Fator de Rugosidade: para se chegar ao valor da rugosidade precisa-se levar em consideração a vizinhança do local, as dimensões do terreno, a velocidade do vento com altura acima dele. É necessário usar três tabelas para se encontrar o valor de S_2 .

- Uma com o tipo de terreno

Quadro 1: Fator de Rugosidade do Terreno – S_2

CATEGORIA I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente (mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação).
CATEGORIA II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas (zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias e charnecas, fazendas sem sebes ou muros). A cota média dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,00 m.
CATEGORIA III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas (granjas e casas de campo – com exceção das partes com matos –, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do cento com casas baixas e esparsas). A cota média dos obstáculos é considerada igual a 3,00 m.
CATEGORIA IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados (zonas de parques e bosques com muitas árvores, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades, áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas). A cota média dos obstáculos é considerada igual a 10,00 m.
CATEGORIA V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados (florestas com árvores altas de copas isoladas, centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos). A cota média dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25,00 m.

- Outra com as dimensões na qual ele corresponde

Quadro 2: Fator de Rugosidade do Terreno – S_2

CLASSE A: Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.
CLASSE B: Toda edificação ou parte da 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 da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50m.

- E por último a outra com os respectivos dados anteriores.

Tabela 4: Fator de Rugosidade do Terreno – S_2

H (m)	CATEGORIA														
	I			II			III			IV			V		
	CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<= 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	0.81	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
30	1.17	1.17	1.15	1.10	1.08	1.06	1.05	1.03	1.00	0.98	0.96	0.93	0.87	0.85	0.82
40	1.20	1.19	1.17	1.13	1.11	1.09	1.08	1.06	1.04	1.01	0.99	0.96	0.91	0.89	0.86
50	1.21	1.21	1.19	1.15	1.13	1.12	1.10	1.09	1.06	1.04	1.02	0.99	0.94	0.93	0.89
60	1.22	1.22	1.21	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07	1.04	1.02	0.97	0.95	0.92
80	1.25	1.24	1.23	1.19	1.18	1.17	1.16	1.14	1.12	1.10	1.08	1.06	1.01	1.00	0.97
100	1.25	1.26	1.25	1.22	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15	1.13	1.11	1.09	1.05	1.03	1.01
120	1.28	1.28	1.25	1.24	1.23	1.22	1.2	1.2	1.18	1.16	1.14	1.12	1.07	1.06	1.04
140	1.29	1.29	1.28	1.25	1.24	1.24	1.22	1.22	1.2	1.18	1.16	1.14	1.10	1.09	1.07

- $S_2 = 0,98$
Categoria II
Classe B

- Fator Estatístico: o fator estatístico leva em conta a vida útil da estrutura, calcula-se o grau de segurança necessário para aquela edificação.

O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. A velocidade básica V_0 é a velocidade do vento que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade V_0 seja igualada ou excedida neste período é de 63%. O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotado são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações ou de indicações correspondentes na norma estrutural. (14)

Tabela 5: Fator Estatístico – S_3

GRUPO	DESCRIÇÃO	S3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

- $S_3 = 0,95$

Com os valores dos três fatores descobertos, calcula-se agora a velocidade característica do vento.

- Velocidade Característica do Vento

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

$$V_K = 30 \times 1,10 \times 0,98 \times 0,95$$

$$V_K = 30,723 \text{ m/s} \times 3,6$$

$$V_K = 110,60 \text{ km/h}$$

- Carga de Vento

$$qv = \frac{Vk^2}{16}$$

$$qv = \frac{30,723^2}{16} = 58,99 \cong 59 \text{ kgf/m}^2$$

4.2.3 Coeficientes de pressão (C_{pe}) e de forma externos para as paredes

- Altura Relativa:

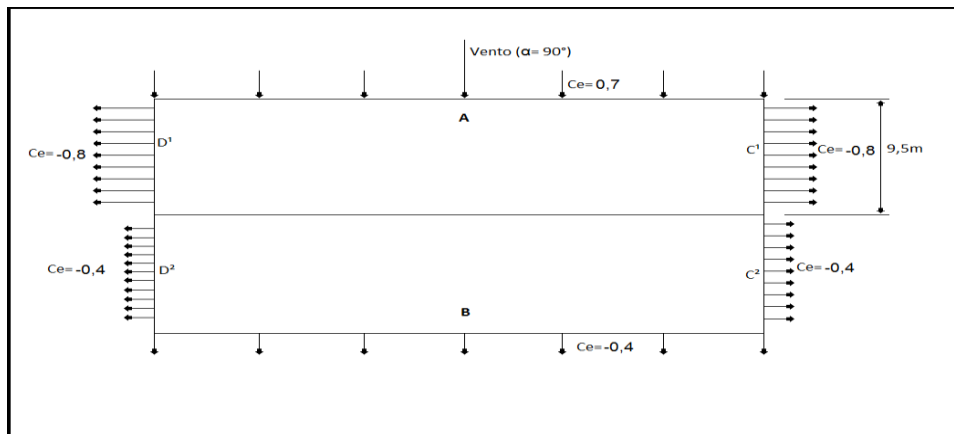
$$\frac{h}{b} = \frac{6}{19} = 0,32$$

- Proporção em Planta:

$$\frac{a}{b} = \frac{25}{19} = 1,32$$

- Vento a 90°:

Figura 6: Vento a 90°



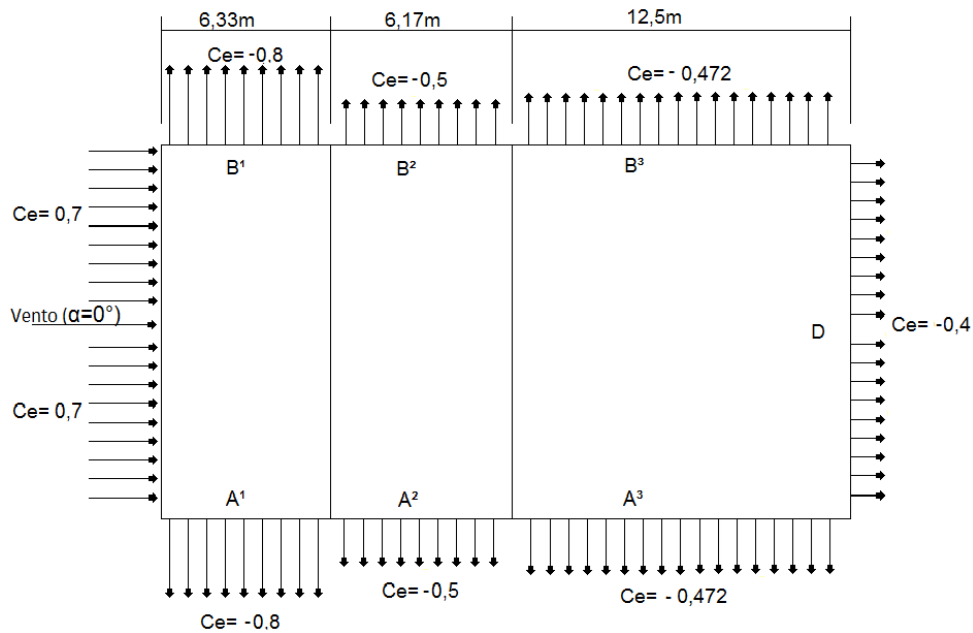
$$2 \times h = 2 \times 6 = 12$$

$$\frac{b}{2} = \frac{19}{2} = 9,5$$

A faixa C_1D_1 será o menor dos dois valores, portanto = 9,5 m

- Vento a 0°:

Figura 7: Vento a 0°



$$\frac{a}{4} = \frac{25}{4} = 6,25$$

$$\frac{b}{3} = \frac{19}{3} = 6,33$$

A faixa A_1B_1 será o maior dos dois valores porém $\leq 2h = 2 \times 6 = 12$, portanto 6,33 m.

- O valor de C_e para as partes A_3B_3 será obtido através de interpolação linear, se:

$$\frac{a}{b} = 1 \longrightarrow \text{mesmo valor de } A_2B_2$$

$$\frac{a}{b} > 2 \longrightarrow C_e = -0,2$$

$$1 < \frac{a}{b} < 2 \longrightarrow \text{Interpolar linearmente}$$

$$\frac{a}{b} = 1 \rightarrow C_e = -0,6$$

$$\frac{a}{b} \geq 2 \rightarrow C_e = -0,2$$

2	-0,2
1,32	x
1	-0,6

$$\frac{x - (-0,6)}{-0,2 - (-0,6)} = \frac{1,32}{2 - 1}$$

$$\frac{(x + 0,6)}{+0,4} = \frac{0,32}{1}$$

$$x + 0,6 = 0,128$$

$$x = 0,128 - 0,6$$

$$x = 0,472$$

4.2.4 Coeficientes de pressão (C_{pe}) e forma externos para os telhados

$$y = h = 6 \text{ m}$$

$$y = 0,15b = 0,15 \times 19 = 2,85 \text{ m}$$

- y será o menor dos dois valores, portanto será $y = 2,85 \text{ m}$

$$x = \frac{b}{3} = \frac{19}{3} = 6,33 \text{ m}$$

$$x = \frac{a}{4} = \frac{25}{4} = 6,25 \text{ m}$$

- x será o maior dos dois valores, porém $\leq 2h = 2 \times 6 = 12 \text{ m}$, portanto será $x = 6,33 \text{ m}$.

4.2.5 Coeficientes de pressão (C_{pi}) e de forma internos

Para os fins desta Norma, são considerados impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas. Os demais elementos construtivos e vedações são considerados permeáveis. A permeabilidade deve-se à presença de aberturas, tais como juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.
(14)

O galpão industrial aqui calculado terá o seus fechamentos laterais todo em alvenaria, o portão de entrada será desprezado no cálculo quando houver a ocorrência de vento forte.

A NBR 6123 define para o cálculo de C_{pi} :

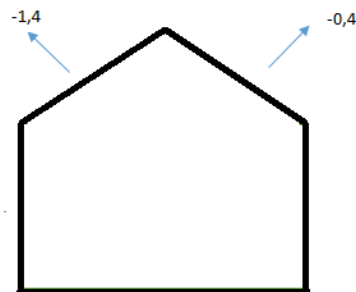
- a) Duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:
 - vento perpendicular a uma face permeável: $C_{pi} = + 0,2$;
 - vento perpendicular a uma face impermeável: $C_{pi} = - 0,3$;
- b) Quatro faces igualmente permeáveis: $c_{pi} = - 0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo). (14)

Para o cálculo de C_{pi} desse projeto utilizaremos as duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis com $C_{pi} = + 0,2$ e $C_{pi} = - 0,3$.

4.2.6 Valores resultantes

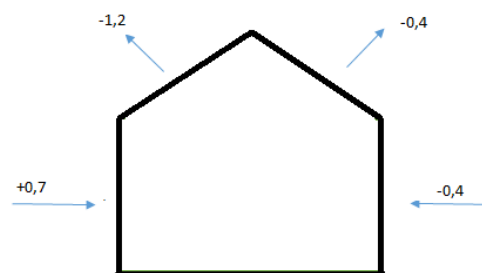
$C_e (0^\circ)$

Figura 8: Valores resultantes do Vento a 0°



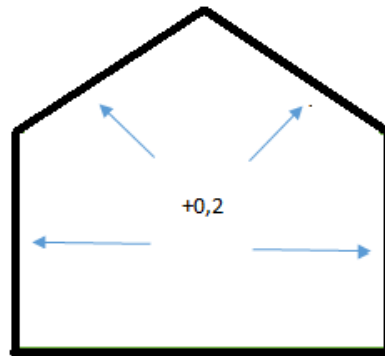
$C_e (90^\circ)$

Figura 9: Valores resultantes do Vento a 90°



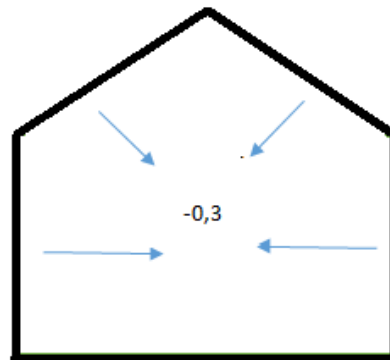
$C_i (+0,2)$

Figura 10: Coeficiente de pressão interno



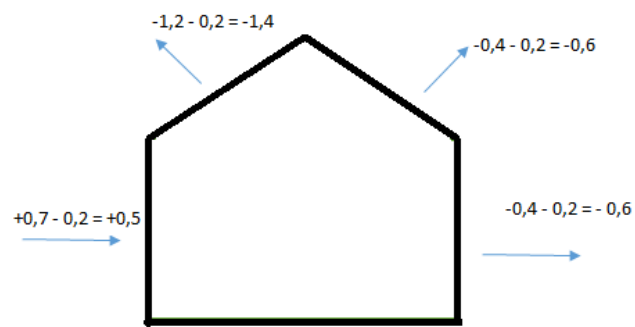
$$C_i (-0,3)$$

Figura 11: Coeficiente de pressão interno



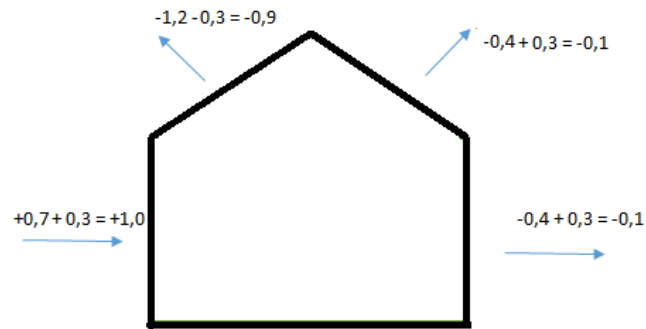
4.2.7 Combinações

$$C_e (90^\circ) + C_i (-0,2)$$

Figura 12: Combinação $C_e (90^\circ) + C_i (+0,2)$ 

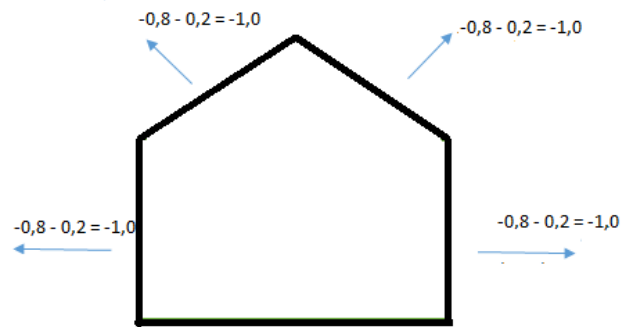
$$C_e (90^\circ) + C_i (-0,3)$$

Figura 13: Combinação $C_e (90^\circ) + C_i (-0,3)$



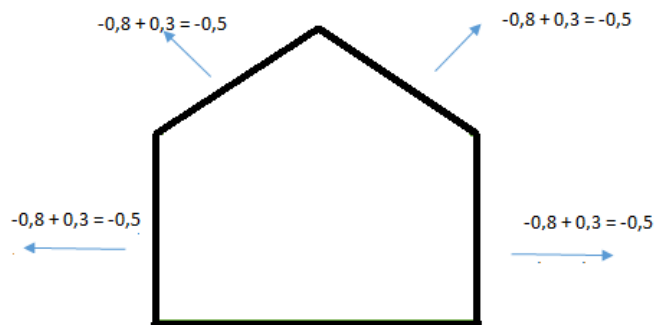
$$C_e (0^\circ) + C_i (+0,2)$$

Figura 14: Combinação $C_e (0^\circ) + C_i (+0,2)$



$$C_e (0^\circ) + C_i (-0,3)$$

Figura 15: Combinação $C_e (0^\circ) + C_i (-0,3)$



4.2.8 Dimensionamento das terças

Será utilizada nesse projeto a telha galvanizada ($4,3 \text{ kg/m}^2$ - espessura $0,43 \text{ mm}$).

- Espessura de 1 telha: 0,43 mm
- Peso de 1 telha: 4,3 kg/m²
- Peso total da telha: $4,3 \times 1,92 = 8,26$ kg/m
- Sobrecarga: $25 \text{ kg/m}^2 = 25 \times 1,92 = 48$ kg/m
- Distância entre terças: 1,92 m

4.2.9 Carregamento nas Telhas da Cobertura

- Peso Próprio: PP= 8,26 kg/m²
- Sobrecarga: SC= 48 kg/m²

$$\text{Total} = 56,26 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Vento (sucção)} = -1,4 \times 59 = -82,6 \text{ kg/m}^2$$

- Combinações de carregamentos:

$$\text{Combinação 1} = \text{CP} + \text{SC}$$

$$\text{Combinação 1} = (1,3 \times 12,61) + (1,5 \times 48) = 88,4 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{Combinação 2} = \text{CP} + V_{(\text{vento})}$$

$$\text{Combinação 2} = (1,3 \times 12,61) + (1,4 \times -102,2) = -126,7 \text{ kgf/m}^2$$

Adotaremos em todo o projeto o afastamento máximo entre as terças de no máximo 2,0 m o vão. Para diminuir em gastos com perfis muito pesados e obedecendo sempre a resistência da telha para o vão entre terças.

4.2.10 Carregamento das terças

- Carga Permanente
PP (terças) = 4,35 kg/m
PP (telhas) = 8,26 kg/m

$$\text{CP}_{\text{TOTAL}} = 12,61 \text{ kg/m}$$

- Sobrecarga = 48 kg/m
- Vento = - 82,6 kg/m

4.2.11 Combinações dos carregamentos

$$\begin{aligned} \text{CP} + \text{SC} \longrightarrow q_x &= (12,61 + 48) \cos 8,58^\circ \cong 60 \text{ kg/m} \\ q_y &= (12,61 + 48) \sin 8,58^\circ \cong 9 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CP} + \text{V} \longrightarrow q_x &= (12,61) \cos 8,58^\circ - 82,6 \cong -70,13 \text{ kg/m} \\ q_y &= (12,61) \sin 8,58^\circ \cong 2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4.2.12 Esforços internos solicitantes

$$\text{CP} + \text{SC} \longrightarrow M_x = \frac{q \times L^2}{8} = \frac{60 \times 5^2}{8} \cong 188 \text{ kgf.m}$$

$$M_x = \frac{q \times L^2}{8} = \frac{60 \times 2,85^2}{8} \cong 61 \text{ kgf.m}$$

$$\text{CP} + \text{V} \longrightarrow M_x = 70,13 \times \frac{5^2}{8} \cong 219,20 \text{ kgf.m}$$

$$M_x = 2 \times \frac{2,85^2}{8} \cong 219,20 \text{ kgf} \cong 2,03 \text{ kgf.m}$$

$$V_{\max} = 70,13 \times \frac{5}{2} \cong 175,3 \text{ kg}$$

- Verificação da altura (d) das terças compreendidas no intervalo:

$$\begin{aligned} \frac{L}{40} \leq d \leq \frac{L}{60} \\ \frac{5000}{40} = 125 \text{ mm} \leq d \leq \frac{5000}{60} = 83,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Será adotado perfil C 101,6 × 10,80 kg/m

$$A = 13,70 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 18,00 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 190,60 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 5,61 \text{ cm}^3$$

$$W_x = 37,50 \text{ cm}^3$$

$$r_y = 1,15 \text{ cm}$$

$$r_x = 3,73 \text{ cm}$$

4.2.13 Verificação da Terça

- Momento Fletor Resistente

Eixo de maior Inercia (x)

a) Verificação da flambagem local da alma

$$\lambda_a = \frac{h}{tw} = \frac{101,6 - 2 \times 7,5}{8,13} \cong 10,65$$

$$\lambda_{pa} = 3,5 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,5 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 101$$

$\lambda_a < \lambda_{pa}$ a viga é compacta quanto a alma

Para perfil simétrico

$$Z_x = 1,12 \times W_x$$

$$Z_x = 1,12 \times 37,50 = 42 \text{ cm}^3$$

$$M_{na} = 42 \times 10^{-2} \times 2500 = 1050 \text{ kgf.m}$$

b) Verificação da flambagem local da mesa

$$\lambda_m = \frac{bf}{tf} = \frac{43,70}{7,50} \cong 5,83$$

$$\lambda_{pm} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 11$$

$\lambda_m < \lambda_{pm}$ é compacta quanto a mesa

$$M_{nm} = M_{pl} = 1050 \text{ kgf.m}$$

c) Verificação da flambagem lateral da torção

$L_b = 0$ travada nas telhas

$$M_{nLT} = M_{pl} = 1050 \text{ kgf.m}$$

Eixo de menor inercia (y)

a) Verificação da flambagem local da alma

$$\lambda_a = \frac{b}{t} = \frac{43,70}{7,50} \cong 5,83$$

$$\lambda_{pa} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 11$$

$\lambda_a < \lambda_{pa}$ à viga é compacta quanta a alma

$$Z_y = 1,12 \times W_y$$

$$Z_y = 1,12 \times 5,61 = 6,28 \text{ cm}^3$$

$$M_{na} = 6,28 \times 10^{-2} \times 2500 = 157 \text{ kgf.m}$$

b) Verificação da flambagem local da mesa

$$\lambda_m = \frac{h}{tw} = \frac{101,6 - 2 \times 7,5}{8,13} \cong 10,65$$

$$\lambda_{pm} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 32$$

$\lambda_m < \lambda_{pm}$ é compacta quanto a mesa

$$M_{nm} = M_{pl} = 157 \text{ kgf.m}$$

c) Verificação da flambagem lateral com torção

$L_b = 0$ travada nas telhas

$$M_{nLT} = M_{pl} = 157 \text{ kgf.m}$$

d) Verificação do esforço combinado

$$\frac{M_{dx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{dy}}{\phi_b M_{ny}} < 1,00$$

Carregamento: PP + SC

$$\frac{1,4 \times 188}{0,9 \times 1050} + \frac{1,4 \times 61}{0,9 \times 157} = 0,88 < 1,00$$

$$\frac{1,4 \times 219,20}{0,9 \times 1050} + \frac{1,4 \times 2,03}{0,9 \times 157} = 0,34 < 1,00$$

4.2.14 Verificação do cisalhamento

$$\lambda_a = \frac{h}{tw} = \frac{86,60}{8,13} \cong 10,65$$

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{k \times E}{fy}} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \times 2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 72$$

$\lambda_a < \lambda_{pv}$ é compacta para o cisalhamento

Todas as vigas que sofrem esforços à força normal, deve-se verificar o rompimento devido ao cisalhamento que a NB 14 – Item 5.5 define:

$$\lambda_a = \frac{h}{tw}$$

Comparar com: $\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{k \times E}{fy}}$ e $\lambda_{rv} = 1,40 \sqrt{\frac{k \times E}{fy}}$ onde:

Se $a/h < 1$

$$k = 4 + \frac{5,34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Se $a/h \geq 1$

$$k = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Se $a/h > 3$

$$k = 5,34$$

No projeto aqui desenvolvido $K = 5,34$ pois:

$$\frac{a}{b} = \frac{25}{6} \cong 4,2$$

- Verificação para análise elástica

$$V_{pl} = 0,6 A_w \times f_y$$

$$V_{pl} = 0,6 \times d \times t_w \times f_y$$

$$V_{pl} = 0,6 \times 10,16 \times 0,813 \times 2500 = 12.390,12 \text{ kgf}$$

- Verificação da resistência a força cortante

$$\phi_v V_n = 0,9 \times 12.390,12$$

$$\phi_v V_n = 11.151,11 > \gamma_v = 1,4 \times 175,3 = 245,42 \text{ kgf}$$

4.2.15 Verificação da flecha máxima

$$f_{adm} = \frac{L}{180} = \frac{500}{180} \cong 2,78 \text{ cm}$$

$$f_{atuante} = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 1,267 \times 500^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 190,6} \cong 2,58 \text{ cm}$$

$$f_{atuante} < f_{adm}$$

4.2.16 Cálculo da Tesoura

Para o cálculo das tesouras foi utilizado o programa Auto Metal, pois os cálculos dos esforços em cada nó da tesoura são extremamente trabalhosos e requer muito tempo e o intuito deste projeto é facilitar o modo de cálculo.

Usaremos o método dos nós para manter o equilíbrio em cada nó da tesoura, deixando a resultante das forças no nó nula. A verificação consistiu em analisar as barras mais solicitadas de cada componente estrutural (banzos, diagonais e montantes).

a) Carregamentos:

Tabela 6: Carregamento nos Nós

Nó	Permanente		Sobrecarga		Vento 1		Vento 2	
1	0	-53,766	0	-118,75	-31,595	210,634	-44,233	294,888
5	0	-82,531	0	-237,5	-63,19	421,268	-88,466	589,775
9	0	-82,531	0	-237,5	-63,19	421,268	-88,466	589,775
13	0	-82,531	0	-237,5	-63,19	421,268	-88,466	589,775
17	0	-82,531	0	-237,5	-63,19	421,268	-88,466	589,775
22	0	-82,531	0	-237,5	0	421,268	-28,436	400,205
28	0	-82,531	0	-237,5	63,19	421,268	31,595	210,634
32	0	-82,531	0	-237,5	63,19	421,268	31,595	210,634
36	0	-82,531	0	-237,5	63,19	421,268	31,595	210,634
40	0	-82,531	0	-237,5	63,19	421,268	31,595	210,634
44	0	-53,766	0	-118,75	31,595	210,634	15,798	105,317

b) Deslocamentos Nodais

Tabela 7: Resultado dos Deslocamentos Nodais

Nó	Permanente		Sobrecarga		Vento 1		Vento 2	
1	-2,19E-05	5,53E-05	-6,32E-05	1,54E-04	-3,46E-02	-2,74E-04	-3,43E-03	-3,19E-04
2	-4,42E-04	4,17E-05	-1,27E-03	1,16E-04	-3,24E-02	-2,07E-04	-1,08E-03	-2,41E-04
3	6,47E-05	7,96E-04	1,86E-04	2,29E-03	-3,50E-02	-4,08E-03	-3,90E-03	-4,44E-03
4	-4,42E-04	7,84E-04	-1,27E-03	2,25E-03	-3,24E-02	-4,02E-03	-1,11E-03	-4,37E-03
5	1,24E-04	1,47E-03	3,55E-04	4,22E-03	-3,53E-02	-7,53E-03	-4,21E-03	-8,12E-03
6	-4,19E-04	1,46E-03	-1,21E-03	4,19E-03	-3,25E-02	-7,47E-03	-1,27E-03	-8,05E-03
7	1,59E-04	2,04E-03	4,58E-04	5,86E-03	-3,55E-02	-1,05E-02	-4,38E-03	-1,12E-02
8	-3,79E-04	2,03E-03	-1,09E-03	5,83E-03	-3,27E-02	-1,04E-02	-1,52E-03	-1,11E-02
9	1,75E-04	2,52E-03	5,03E-04	7,23E-03	-3,56E-02	-1,29E-02	-4,43E-03	-1,37E-02
10	-3,31E-04	2,51E-03	-9,52E-04	7,21E-03	-3,30E-02	-1,29E-02	-1,82E-03	-1,36E-02
11	1,73E-04	2,89E-03	4,99E-04	8,31E-03	-3,56E-02	-1,48E-02	-4,38E-03	-1,55E-02
12	-2,77E-04	2,89E-03	-7,97E-04	8,30E-03	-3,33E-02	-1,48E-02	-2,15E-03	-1,55E-02
13	1,58E-04	3,18E-03	4,54E-04	9,16E-03	-3,55E-02	-1,64E-02	-4,26E-03	-1,69E-02
14	-2,21E-04	3,18E-03	-6,37E-04	9,15E-03	-3,35E-02	-1,63E-02	-2,48E-03	-1,69E-02
15	1,30E-04	3,38E-03	3,75E-04	9,74E-03	-3,53E-02	-1,74E-02	-4,07E-03	-1,77E-02
16	-1,64E-04	3,39E-03	-4,73E-04	9,75E-03	-3,38E-02	-1,74E-02	-2,81E-03	-1,78E-02

17	9,39E-05	3,52E-03	2,70E-04	1,01E-02	-3,52E-02	-1,81E-02	-3,84E-03	-1,82E-02
18	-1,09E-04	3,52E-03	-3,13E-04	1,01E-02	-3,41E-02	-1,81E-02	-3,12E-03	-1,82E-02
19	5,30E-05	3,58E-03	1,53E-04	1,03E-02	-3,49E-02	-1,84E-02	-3,59E-03	-1,82E-02
20	1,99E-05	3,58E-03	5,73E-05	1,03E-02	-3,48E-02	-1,84E-02	-3,67E-03	-1,82E-02
21	-5,44E-05	3,58E-03	-1,57E-04	1,03E-02	-3,44E-02	-1,84E-02	-3,42E-03	-1,82E-02
22	2,77E-16	3,57E-03	7,31E-16	1,03E-02	-3,47E-02	-1,83E-02	-3,29E-03	-1,79E-02
23	2,84E-16	3,59E-03	7,51E-16	1,03E-02	-3,47E-02	-1,84E-02	-3,72E-03	-1,80E-02
24	5,44E-05	3,58E-03	1,57E-04	1,03E-02	-3,49E-02	-1,84E-02	-3,97E-03	-1,78E-02
25	-1,99E-05	3,58E-03	-5,73E-05	1,03E-02	-3,46E-02	-1,84E-02	-3,46E-03	-1,78E-02
26	-5,30E-05	3,58E-03	-1,53E-04	1,03E-02	-3,44E-02	-1,84E-02	-3,06E-03	-1,78E-02
27	1,09E-04	3,52E-03	3,13E-04	1,01E-02	-3,52E-02	-1,81E-02	-4,23E-03	-1,72E-02
28	-9,39E-05	3,52E-03	-2,70E-04	1,01E-02	-3,42E-02	-1,81E-02	-2,89E-03	-1,72E-02
29	1,64E-04	3,39E-03	4,73E-04	9,75E-03	-3,55E-02	-1,74E-02	-4,48E-03	-1,63E-02
30	-1,30E-04	3,38E-03	-3,75E-04	9,74E-03	-3,40E-02	-1,74E-02	-2,76E-03	-1,63E-02
31	2,21E-04	3,18E-03	6,37E-04	9,15E-03	-3,58E-02	-1,63E-02	-4,73E-03	-1,51E-02
32	-1,58E-04	3,18E-03	-4,54E-04	9,16E-03	-3,38E-02	-1,64E-02	-2,68E-03	-1,51E-02
33	2,77E-04	2,89E-03	7,97E-04	8,30E-03	-3,61E-02	-1,48E-02	-4,97E-03	-1,35E-02
34	-1,73E-04	2,89E-03	-4,99E-04	8,31E-03	-3,37E-02	-1,48E-02	-2,66E-03	-1,35E-02
35	3,31E-04	2,51E-03	9,52E-04	7,21E-03	-3,63E-02	-1,29E-02	-5,20E-03	-1,16E-02
36	-1,75E-04	2,52E-03	-5,03E-04	7,23E-03	-3,37E-02	-1,29E-02	-2,71E-03	-1,16E-02
37	3,79E-04	2,03E-03	1,09E-03	5,83E-03	-3,66E-02	-1,04E-02	-5,40E-03	-9,28E-03
38	-1,59E-04	2,04E-03	-4,58E-04	5,86E-03	-3,38E-02	-1,05E-02	-2,82E-03	-9,32E-03
39	4,19E-04	1,46E-03	1,21E-03	4,19E-03	-3,68E-02	-7,47E-03	-5,57E-03	-6,59E-03
40	-1,24E-04	1,47E-03	-3,55E-04	4,22E-03	-3,40E-02	-7,53E-03	-3,03E-03	-6,64E-03
41	4,42E-04	7,84E-04	1,27E-03	2,25E-03	-3,69E-02	-4,02E-03	-5,67E-03	-3,51E-03
42	-6,47E-05	7,96E-04	-1,86E-04	2,29E-03	-3,43E-02	-4,08E-03	-3,32E-03	-3,56E-03
43	4,42E-04	4,17E-05	1,27E-03	1,16E-04	-3,69E-02	-2,07E-04	-5,68E-03	-1,52E-04
44	2,19E-05	5,53E-05	6,32E-05	1,54E-04	-3,47E-02	-2,74E-04	-3,73E-03	-2,01E-04

c) Esforços nas barras:

Tabela 8: Esforços nas Barras

Grupos	Lx	Ly	Permanente	Sobrecarga	Vento 1	Vento 2
BANZO INFERIOR						
1	0,95	0,95	-6,363	-18,312	32,187	-452,094
2	0,95	0,95	468,498	1348,193	-2385,58	-3205,89
3	0,95	0,95	790,974	2276,18	-4027,52	-5076,04
4	0,95	0,95	947,003	2725,183	-4812,17	-5865,83
5	0,95	0,95	1065,84	3067,159	-5409,91	-6467,99
6	0,95	0,95	1098,351	3160,716	-5562,01	-6498,39
7	0,95	0,95	1125,253	3238,132	-5688,26	-6527,15
8	0,95	0,95	1097,585	3158,511	-5532,23	-6188,31
9	0,95	0,95	1075,083	3093,757	-5405,08	-5908,44
10	0,95	0,95	1075,083	3093,757	-5405,08	-5908,44
11	0,95	0,95	1075,083	3093,757	-5405,08	-5042,19

12	0,95	0,95	1075,083	3093,757	-5405,08	-5042,19
13	0,95	0,95	1097,585	3158,511	-5532,23	-5003,91
14	0,95	0,95	1125,253	3238,132	-5688,26	-4961,53
15	0,95	0,95	1098,351	3160,716	-5562,01	-4750,41
16	0,95	0,95	1065,84	3067,159	-5409,91	-4491,83
17	0,95	0,95	947,003	2725,183	-4812,17	-3958,28
18	0,95	0,95	790,974	2276,18	-4027,52	-3257,23
19	0,95	0,95	468,498	1348,193	-2385,58	-2007,7
20	0,95	0,95	-6,363	-18,312	32,187	-167,738
BANZO SUPERIOR						
21	0,961	0,961	-480,211	-1381,899	2476,958	2829,554
22	0,961	0,961	-806,195	-2319,982	4136,75	4720,037
23	0,961	0,961	-964,106	-2774,402	4994,784	5608,924
24	0,961	0,961	-1084,114	-3119,748	5598,396	6216,899
25	0,961	0,961	-1117,159	-3214,841	5816,971	6338,072
26	0,961	0,961	-1144,188	-3292,621	5943,732	6366,173
27	0,961	0,961	-1116,385	-3212,611	5850,759	6113,958
28	0,961	0,961	-1093,46	-3146,642	5721,29	5830,036
29	0,961	0,961	-978,382	-2815,484	5169,045	4896,222
30	0,961	0,961	-978,231	-2815,049	5168,247	4895,466
31	0,961	0,961	-978,231	-2815,049	5168,247	4924,203
32	0,961	0,961	-978,382	-2815,484	5169,045	4924,964
33	0,961	0,961	-1093,46	-3146,642	5721,29	5040,416
34	0,961	0,961	-1116,385	-3212,611	5850,759	5002,484
35	0,961	0,961	-1144,188	-3292,621	5943,732	4926,918
36	0,961	0,961	-1117,159	-3214,841	5816,971	4714,172
37	0,961	0,961	-1084,114	-3119,748	5598,396	4420,053
38	0,961	0,961	-964,106	-2774,402	4994,784	3881,167
39	0,961	0,961	-806,195	-2319,982	4136,75	3139,788
40	0,961	0,961	-480,211	-1381,899	2476,958	1876,667
DIAGONAIS						
41	1,124	1,124	561,641	1616,229	-2859,61	-3257,05
42	1,206	1,206	409,391	1178,101	-2084,47	-2374,19
43	1,298	1,298	213,243	613,648	-1072,38	-1079,41
44	1,4	1,4	175,096	503,872	-880,722	-887,219
45	1,507	1,507	51,577	148,422	-241,29	-48,241
46	1,621	1,621	45,893	132,067	-215,386	-49,062
47	1,738	1,738	-50,609	-145,637	285,409	619,791
48	1,859	1,859	-44,034	-126,717	248,826	547,677
49	1,288	1,288	-154,531	-444,692	827,358	1373,288
50	1,496	1,496	-0,752	-2,164	3,974	3,764
51	1,288	1,288	-153,883	-442,828	823,936	1370,046
52	1,496	1,496	-0,752	-2,164	3,974	3,786
53	1,288	1,288	-153,883	-442,828	823,936	195,431
54	1,288	1,288	-154,531	-444,692	827,358	198,693

55	1,859	1,859	-44,034	-126,717	248,826	-74,908
56	1,738	1,738	-50,609	-145,637	285,409	-77,513
57	1,621	1,621	45,893	132,067	-215,386	-360,171
58	1,507	1,507	51,577	148,422	-241,29	-410,21
59	1,4	1,4	175,096	503,872	-880,722	-786,153
60	1,298	1,298	213,243	613,648	-1072,38	-958,111
61	1,206	1,206	409,391	1178,101	-2084,47	-1586,31
62	1,124	1,124	561,641	1616,229	-2859,61	-2176,21
MONTANTES						
63	0,6	0,6	-425,157	-1187,5	2106,34	2455,306
64	0,743	0,743	-299,912	-863,055	1527,012	1739,241
65	0,885	0,885	-252,21	-725,784	1284,165	1462,649
66	1,028	1,028	-145,353	-418,282	730,967	735,759
67	1,17	1,17	-128,594	-370,053	646,82	651,591
68	1,313	1,313	-40,04	-115,223	187,317	37,45
69	1,455	1,455	-37,182	-106,997	174,5	39,749
70	1,598	1,598	42,376	121,945	-238,98	-518,966
71	1,74	1,74	37,851	108,922	-213,884	-470,769
72	1,013	1,013	1,018	2,931	-5,38	-5,097
73	0,87	0,87	0	0	0	0
74	2,025	2,025	207,857	598,148	-1112,93	-1057,28
75	0,87	0,87	0	0	0	0
76	1,013	1,013	1,018	2,931	-5,38	-5,126
77	1,74	1,74	37,851	108,922	-213,884	64,389
78	1,598	1,598	42,376	121,945	-238,98	64,904
79	1,455	1,455	-37,182	-106,997	174,5	291,802
80	1,313	1,313	-40,04	-115,223	187,317	318,453
81	1,17	1,17	-128,594	-370,053	646,82	577,366
82	1,028	1,028	-145,353	-418,282	730,967	653,079
83	0,885	0,885	-252,21	-725,784	1284,165	977,263
84	0,743	0,743	-299,912	-863,055	1527,012	1162,082
85	0,6	0,6	-425,157	-1187,5	2106,34	1546,74

Tabela 9: Esforços nas Barras

Grupos	Lx	Ly	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Tração	Compressão
BANZO INFERIOR							
1	0,95	0,95	-36,376	36,153	-641,84	36,153	-641,84
2	0,95	0,95	2678,186	-2683,918	-3832,353	2678,186	-3832,353
3	0,95	0,95	4521,634	-4531,158	-5999,087	4521,634	-5999,087
4	0,95	0,95	5413,579	-5411,233	-6886,363	5413,579	-6886,363
5	0,95	0,95	6092,913	-6081,7	-7563,004	6092,913	-7563,004
6	0,95	0,95	6278,764	-6249,118	-7560,06	6278,764	-7560,06
7	0,95	0,95	6432,552	-6388,214	-7562,66	6432,552	-7562,66

8	0,95	0,95	6274,385	-6208,501	-7127,014	6274,385	-7127,014
9	0,95	0,95	6145,752	-6061,99	-6766,701	6145,752	-6766,701
10	0,95	0,95	6145,752	-6061,99	-6766,701	6145,752	-6766,701
11	0,95	0,95	6145,752	-6061,99	-5553,95	6145,752	-6061,99
12	0,95	0,95	6145,752	-6061,99	-5553,95	6145,752	-6061,99
13	0,95	0,95	6274,385	-6208,501	-5468,857	6274,385	-6208,501
14	0,95	0,95	6432,552	-6388,214	-5370,794	6432,552	-6388,214
15	0,95	0,95	6278,764	-6249,118	-5112,877	6278,764	-6249,118
16	0,95	0,95	6092,913	-6081,7	-4796,391	6092,913	-6081,7
17	0,95	0,95	5413,579	-5411,233	-4215,781	5413,579	-5411,233
18	0,95	0,95	4521,634	-4531,158	-3452,758	4521,634	-4531,158
19	0,95	0,95	2678,186	-2683,918	-2154,884	2678,186	-2683,918
20	0,95	0,95	-36,376	36,153	-243,741	36,153	-243,741
BANZO SUPERIOR							
21	0,961	0,961	-2745,143	2795,446	3289,08	3289,08	-2745,143
22	0,961	0,961	-4608,647	4662,776	5479,378	5479,378	-4608,647
23	0,961	0,961	-5511,352	5642,949	6502,744	6502,744	-5511,352
24	0,961	0,961	-6197,382	6319,994	7185,898	7185,898	-6197,382
25	0,961	0,961	-6386,284	6579,736	7309,278	7309,278	-6386,284
26	0,961	0,961	-6540,794	6719,362	7310,779	7310,779	-6540,794
27	0,961	0,961	-6381,856	6628,124	6996,602	6996,602	-6381,856
28	0,961	0,961	-6250,808	6478,962	6631,206	6631,206	-6250,808
29	0,961	0,961	-5592,961	5866,928	5484,975	5866,928	-5592,961
30	0,961	0,961	-5592,098	5866,022	5484,128	5866,022	-5592,098
31	0,961	0,961	-5592,098	5866,022	5524,361	5866,022	-5592,098
32	0,961	0,961	-5592,961	5866,928	5525,214	5866,928	-5592,961
33	0,961	0,961	-6250,808	6478,962	5525,738	6478,962	-6250,808
34	0,961	0,961	-6381,856	6628,124	5440,54	6628,124	-6381,856
35	0,961	0,961	-6540,794	6719,362	5295,823	6719,362	-6540,794
36	0,961	0,961	-6386,284	6579,736	5035,818	6579,736	-6386,284
37	0,961	0,961	-6197,382	6319,994	4670,314	6319,994	-6197,382
38	0,961	0,961	-5511,352	5642,949	4083,884	5642,949	-5511,352
39	0,961	0,961	-4608,647	4662,776	3267,029	4662,776	-4608,647
40	0,961	0,961	-2745,143	2795,446	1955,038	2795,446	-2745,143
DIAGONAIS							
41	1,124	1,124	3210,641	-3217,158	-3773,572	3210,641	-3773,572
42	1,206	1,206	2340,3	-2345,113	-2750,72	2340,3	-2750,72
43	1,298	1,298	1219,012	-1202,789	-1212,63	1219,012	-1212,63
44	1,4	1,4	1000,942	-987,876	-996,972	1000,942	-996,972
45	1,507	1,507	294,841	-265,598	4,671	294,841	-265,598
46	1,621	1,621	262,351	-237,289	-4,436	262,351	-237,289
47	1,738	1,738	-289,308	328,721	796,855	796,855	-289,308
48	1,859	1,859	-251,723	286,708	705,1	705,1	-251,723
49	1,288	1,288	-883,382	941,958	1706,26	1706,26	-883,382

50	1,496	1,496	-4,299	4,51	4,216	4,51	-4,299
51	1,288	1,288	-879,678	938,074	1702,628	1702,628	-879,678
52	1,496	1,496	-4,299	4,51	4,247	4,51	-4,299
53	1,288	1,288	-879,678	938,074	58,168	938,074	-879,678
54	1,288	1,288	-883,382	941,958	61,826	941,958	-883,382
55	1,859	1,859	-251,723	286,708	-166,519	286,708	-251,723
56	1,738	1,738	-289,308	328,721	-179,371	328,721	-289,308
57	1,621	1,621	262,351	-237,289	-439,989	262,351	-439,989
58	1,507	1,507	294,841	-265,598	-502,086	294,841	-502,086
59	1,4	1,4	1000,942	-987,876	-855,48	1000,942	-987,876
60	1,298	1,298	1219,012	-1202,789	-1042,815	1219,012	-1202,789
61	1,206	1,206	2340,3	-2345,113	-1647,681	2340,3	-2345,113
62	1,124	1,124	3210,641	-3217,158	-2260,399	3210,641	-3217,158
MONTANTES							
63	0,6	0,6	-2376,47	2353,656	2842,209	2842,209	-2376,47
64	0,743	0,743	-1714,46	1717,94	2015,061	2015,061	-1714,46
65	0,885	0,885	-1441,77	1444,736	1694,615	1694,615	-1441,77
66	1,028	1,028	-830,917	819,86	826,567	826,567	-830,917
67	1,17	1,17	-735,111	725,516	732,196	732,196	-735,111
68	1,313	1,313	-228,89	206,188	-3,626	206,188	-228,89
69	1,455	1,455	-212,55	192,246	3,594	192,246	-212,55
70	1,598	1,598	242,245	-275,246	-667,226	242,245	-667,226
71	1,74	1,74	216,374	-246,447	-606,085	216,374	-606,085
72	1,013	1,013	5,822	-6,107	-5,709	5,822	-6,107
73	0,87	0,87	0	0	0	0	0
74	2,025	2,025	1188,222	-1267,099	-1189,194	1188,222	-1267,099
75	0,87	0,87	0	0	0	0	0
76	1,013	1,013	5,822	-6,107	-5,751	5,822	-6,107
77	1,74	1,74	216,374	-246,447	143,135	216,374	-246,447
78	1,598	1,598	242,245	-275,246	150,191	242,245	-275,246
79	1,455	1,455	-212,55	192,246	356,468	356,468	-212,55
80	1,313	1,313	-228,89	206,188	389,778	389,778	-228,89
81	1,17	1,17	-735,111	725,516	628,281	725,516	-735,111
82	1,028	1,028	-830,917	819,86	710,816	819,86	-830,917
83	0,885	0,885	-1441,77	1444,736	1015,074	1444,736	-1441,77
84	0,743	0,743	-1714,46	1717,94	1207,037	1717,94	-1714,46
85	0,6	0,6	-2376,47	2353,656	1570,215	2353,656	-2376,47

d) Esforços nodais para cálculo das ligações

Tabela 10: Esforços Nodais

Nó	Esforço	Ângulo	Esforço	Ângulo	Esforço	Ângulo	Esforço	Ângulo	Esforço	Ângulo
1	3289,08	8,56	-3773,57	-32,28	2842,21	-90				
2	-641,84	0	2842,21	90						
3	3289,08	-171,44	5479,38	8,5	-2750,72	-38,03	2015,06	-90		
4	-641,84	180	-3832,35	0	-3773,57	147,72	2015,06	90		
5	5479,38	-171,5	6502,74	8,56	1219,01	-42,97	1694,61	-90		
6	-3832,35	180	-5999,09	0	-2750,72	141,97	1694,61	90		
7	6502,74	-171,44	7185,9	8,5	1000,94	-47,26	-830,92	-90		
8	-5999,09	180	-6886,36	0	1219,01	137,03	-830,92	90		
9	7185,9	-171,5	7309,28	8,56	294,84	-50,92	-735,11	-90		
10	-6886,36	180	-7563	0	1000,94	132,74	-735,11	90		
11	7309,28	-171,44	7310,78	8,5	262,35	-54,11	-228,89	-90		
12	-7563	180	-7560,06	0	294,84	129,08	-228,89	90		
13	7310,78	-171,5	6996,6	8,56	796,85	-56,86	-212,55	-90		
14	-7560,06	180	-7562,66	0	262,35	125,89	-212,55	90		
15	6996,6	-171,44	6631,21	8,5	705,1	-59,27	-667,23	-90		
16	-7562,66	180	-7127,01	0	796,85	123,14	-667,23	90		
17	6631,21	-171,5	5866,93	8,56	1706,26	-42,48	-606,09	-90		
18	-7127,01	180	-6766,7	0	705,1	120,73	-606,09	90		
19	5866,93	-171,44	5866,02	8,5	-6,11	-90				
20	1706,26	137,52	4,51	50,56	1702,63	-42,48	-6,11	90	0	-90
21	-6766,7	180	-6766,7	0	0	90				
22	5866,02	-171,5	5866,02	-8,5	4,51	-129,44	4,51	-50,56	-1267,1	-90
23	-6766,7	180	6145,75	0	1702,63	137,52	938,07	42,48	-1267,1	90
24	6145,75	180	6145,75	0	0	90				
25	4,51	129,44	938,07	-137,52	941,96	42,48	0	-90	-6,11	90
26	5866,02	171,5	5866,93	-8,56	-6,11	-90				
27	6145,75	180	6274,39	0	286,71	59,27	-246,45	90		
28	5866,93	171,44	6478,96	-8,5	941,96	-137,52	-246,45	-90		
29	6274,39	180	6432,55	0	328,72	56,86	-275,25	90		
30	6478,96	171,5	6628,12	-8,56	286,71	-120,73	-275,25	-90		
31	6432,55	180	6278,76	0	-439,99	54,11	356,47	90		
32	6628,12	171,44	6719,36	-8,5	328,72	-123,14	356,47	-90		
33	6278,76	180	6092,91	0	-502,09	50,92	389,78	90		
34	6719,36	171,5	6579,74	-8,56	-439,99	-125,89	389,78	-90		
35	6092,91	180	5413,58	0	1000,94	47,26	-735,11	90		
36	6579,74	171,44	6319,99	-8,5	-502,09	-129,08	-735,11	-90		
37	5413,58	180	-4531,16	0	1219,01	42,97	-830,92	90		
38	6319,99	171,5	5642,95	-8,56	1000,94	-132,74	-830,92	-90		
39	-4531,16	180	-2683,92	0	-2345,11	38,03	1444,74	90		
40	5642,95	171,44	4662,78	-8,5	1219,01	-137,03	1444,74	-90		
41	-2683,92	180	-243,74	0	-3217,16	32,28	1717,94	90		
42	4662,78	171,5	2795,45	-8,56	-2345,11	-141,97	1717,94	-90		

43	-243,74	180	-2376,47	90						
44	2795,45	171,44	-3217,16	-147,72	-2376,47	-90				

e) Reações de Apoio

Tabela 11: Cálculo das Reações de Apoio

		Permanente	Sobrecarga	Vento 1	Vento 2	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3	Positivo	Negativo
Pilar 1	Normal	-425,16	-1187,5	2106,34	2455,31	-2376,47	2353,66	2842,21	2842,21	-2376,47
(Nó 2)	V(x = 0)	-6,36	-18,31	32,19	-452,09	-36,38	36,16	-641,84	36,16	-641,84
	V(x = 6,0)	-6,36	-18,31	-1298,13	711,94	-36,38	-1826,29	987,8	987,8	-1826,29
	M(x = 0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M(x = 6,0)	38,18	109,87	3797,84	-779,53	218,26	5370,42	-1037,89	5370,42	-1037,89
	Max(M)	38,16	109,86	3797,82	526,51	218,28	5370,4	758,19	5370,4	0
	Min(M)	0	0	-2,27	-779,55	0	-2,1	-1037,87	0	-1037,87
Pilar 2	Normal	-425,16	-1187,5	2106,34	1546,74	-2376,47	2353,66	1570,22	2353,66	-2376,47
(Nó 43)	V(x = 0)	6,36	18,31	-32,19	167,74	36,38	-36,15	243,74	243,74	-36,15
	V(x = 6,0)	6,36	18,31	-1362,51	-497,42	36,38	-1898,6	-687,48	36,38	-1898,6
	M(x = 0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M(x = 6,0)	-38,18	-109,87	4184,08	989,05	-218,26	5804,26	1331,22	5804,26	-218,26
	Max(M)	0	0	4184,1	989,04	0	5804,26	1331,21	5804,26	0
	Min(M)	-38,16	-109,86	0	-126,78	-218,28	0	-191,39	0	-218,28

4.2.17 Dimensionamento das Barras

a) Banzo Superior

Será adotado como perfil de todo o banzo a cantoneira de abas iguais. Para o dimensionamento do banzo adota-se o maior valor que a peça está sendo solicitada tanto para a compressão, quanto para tração. Pois usa um só perfil para toda a peça, não sendo necessária a verificação dos esforços de resultados menos expressivos.

- **Dados:**

$$N_{d,t} = 7.310,779 \text{ kgf (tração)}$$

$$N_{d,c} = 6.540,79 \text{ kgf (compressão)}$$

$$L = 0,961 \text{ m}$$

Para o cálculo do banzo superior será adotado o perfil 2 L 50,80 × 4,76

- $P = 3,63 \text{ kg/m}$
- $A = 4,58 \text{ cm}^2$
- $r_x = r_y = 1,58 \text{ cm}$
- $r_z = 1,02 \text{ cm}$

- Compressão

$$1. \quad \lambda = \frac{k \times L}{r_{min}} = \frac{1,0 \times 96,1}{1,58} = 60,82 < \lambda_{max} = 200$$

$$2. \quad \frac{b}{t} = \frac{50,80}{4,76} \cong 10,67 < \left(\frac{b}{t}\right)_{max} = 13 \rightarrow Q = 1,0$$

$$3. \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{Q \times f_{cs}}{E}} \quad \bar{\lambda} = \frac{60,82}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 0,67$$

$$\bar{\lambda} = \frac{60,82}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 0,67$$

$$4. \quad \beta = \frac{1 + \alpha \times \sqrt{\bar{\lambda} - 0,04 + \bar{\lambda}^2}}{2 \times \bar{\lambda}^2}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,384 \times \sqrt{0,67^2 - 0,04 + 0,67^2}}{2 \times 0,67^2} \cong 1,89$$

$$5. \quad \rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2}\right)}$$

$$\rho = 1,89 - \sqrt{1,89^2 - \left(\frac{1}{0,67^2}\right)} = 0,73$$

Verificação da Resistência a compressão

$$N_{r,c} = Q \times A_g \times \rho \times f_y$$

$$N_{r,c} = 1,0 \times 4,58 \times 0,73 \times 2500 = 8.358,50 \text{ kgf}$$

$$N_{R,C} > N_{D,C} \rightarrow OK$$

- Tração

Verificação da Resistência a tração

$$N_{r,t} = \phi \times A_g \times f_y$$

$$N_{r,t} = 0,9 \times 4,58 \times 2500 = 10.305 \text{ kgf}$$

$$N_{R,T} > N_{D,T} \rightarrow OK$$

Espaçamento dos calços

$$\frac{l}{r_{min}} \leq \frac{\lambda}{2} \rightarrow l \leq \frac{\lambda}{2} r_{min}$$

$$l \leq \frac{60,82 \times 1,02}{2} \cong 31,02 \text{ cm} \cong 310 \text{ mm}$$

$$l = \frac{192}{4} = 48 \text{ cm} = 480 \text{ mm}$$

$$l \text{ adotado} = 31 \text{ cm}$$

b) Banzo Inferior

Será adotado o mesmo perfil para o cálculo do banzo inferior 2 L 50,80 x 4,76.

- **Dados**

$$N_{d,t} = 6.432,552 \text{ kgf (tração)}$$

$$N_{d,c} = 7.562,66 \text{ kgf (compressão)}$$

$$L = 0,95 \text{ m}$$

$$1. \quad \lambda = \frac{k \times L}{r_{min}} = \frac{1,0 \times 95}{1,58} \cong 60,13 < \lambda_{max} = 200$$

$$2. \frac{b}{t} = \frac{50,80}{4,76} \cong 10,67 < \left(\frac{b}{t}\right)_{max} = 13 \rightarrow Q = 1,0$$

$$3. \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{Q \times f_y}{E}} \quad \bar{\lambda} = \frac{60,13}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 0,66$$

$$4. \beta = \frac{1 + \alpha \times \sqrt{\bar{\lambda} - 0,04} + \bar{\lambda}^2}{2 \times \bar{\lambda}^2}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,384 \times \sqrt{0,66^2 - 0,04} + 0,66^2}{2 \times 0,66^2} \cong 1,93$$

$$5. \rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2}\right)}$$

$$\rho = 1,93 - \sqrt{1,93^2 - \left(\frac{1}{0,66^2}\right)} = 0,73$$

Verificação da Resistência a compressão

$$N_{r,c} = Q \times A_g \times \rho \times f_y$$

$$N_{r,c} = 1,0 \times 4,58 \times 0,73 \times 2500 = 8.358,50 \text{ kgf}$$

$$N_{R,C} > N_{D,C} \rightarrow OK$$

- Tração

Verificação da Resistência a tração

$$N_{r,t} = \phi \times A_g \times f_y$$

$$N_{r,t} = 0,9 \times 4,58 \times 2500 = 10.305 \text{ kgf}$$

$$N_{R,T} > N_{D,T} \rightarrow OK$$

Espaçamento dos calços

$$\frac{l}{r_{min}} \leq \frac{\lambda}{2} \rightarrow l \leq \frac{\lambda}{2} r_{min}$$

$$l \leq \frac{60,13 \times 1,02}{2} \cong 30,67 \text{ cm} \cong 307 \text{ mm}$$

$$l = \frac{190}{4} = 47,5 \text{ cm} = 475 \text{ mm}$$

$$l \text{ adotado} = 31 \text{ cm}$$

c) Montantes

Para o cálculo dos montantes selecionamos os valores de maior expressão tanto para compressão, quanto para tração. Como no cálculo dos montantes.

- Dados

$$N_{d,T} = 2.842,209 \text{ kgf}$$

$$N_{d,C} = 2.376,47 \text{ kgf}$$

$$L = 0,6 \text{ m}$$

Para o cálculo dos montantes será adotado o perfil 2 L 31,75 x 3,17.

- $P = 1,50 \text{ kg/m}$
- $A = 1,93 \text{ cm}^2$
- $r_x = r_y = 0,97 \text{ cm}$
- $r_z = 0,64 \text{ cm}$

$$1. \quad \lambda = \frac{k \times L}{r_{min}} = \frac{1,0 \times 60}{0,97} \cong 61,86 < \lambda_{max} = 200$$

$$2. \quad \frac{b}{t} = \frac{31,75}{3,17} \cong 10,01 < \left(\frac{b}{t}\right)_{max} = 13 \rightarrow Q = 1,0$$

$$3. \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{Q \times f_y}{E}} \quad \bar{\lambda} = \frac{61,86}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 0,68$$

$$4. \quad \beta = \frac{1 + \alpha \times \sqrt{\bar{\lambda} - 0,04} + \bar{\lambda}^2}{2 \times \bar{\lambda}^2}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,384 \times \sqrt{0,68^2 - 0,04} + 0,68^2}{2 \times 0,68^2} \cong 1,85$$

$$5. \quad \rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2}\right)}$$

$$\rho = 1,85 - \sqrt{1,85^2 - \left(\frac{1}{0,68^2}\right)} = 0,69$$

Verificação da Resistência a Compressão

$$N_{r,c} = Q \times A_g \times \rho \times f_y$$

$$N_{r,c} = 1,0 \times 1,93 \times 0,69 \times 2500 = 3.329,25 \text{ kgf}$$

$$N_{R,C} > N_{D,C} \rightarrow OK$$

Verificação da Resistência a Tração

$$N_{r,t} = \phi \times A_g \times f_y$$

$$N_{r,t} = 0,9 \times 1,93 \times 2500 = 4.342,50 \text{ kgf}$$

$$N_{R,T} > N_{D,T} \rightarrow OK$$

Espaçamento dos calços

$$\frac{l}{r_{min}} \leq \frac{\lambda}{2} \rightarrow l \leq \frac{\lambda}{2} r_{min}$$

$$l \leq \frac{60,13 \times 1,02}{2} \cong 30,67 \text{ cm} \cong 307 \text{ mm}$$

$$l = \frac{60}{4} = 15,00 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

l adotado = 15 cm

d) Diagonais

- Dados

$$N_{d,T} = 3.210,641 \text{ kgf}$$

$$N_{d,C} = 3.773,57$$

Para o cálculo dos montantes será adotado o perfil 2 L 38,10 × 4,76.

- $P = 2,68 \text{ kg/m}$
- $A = 3,42 \text{ cm}^2$
- $r_x = r_y = 1,17 \text{ cm}$
- $r_z = 0,76 \text{ cm}$

$$1. \quad \lambda = \frac{k \times L}{r_{\min}} = \frac{1,0 \times 112,4}{1,17} \cong 96,07 < \lambda_{\max} = 200$$

$$2. \quad \frac{b}{t} = \frac{38,10}{4,76} \cong 8,00 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} = 13 \rightarrow Q = 1,0$$

$$3. \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{Q \times f_y}{E}} \quad \bar{\lambda} = \frac{96,07}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 1,06$$

$$4. \quad \beta = \frac{1 + \alpha \times \sqrt{\bar{\lambda} - 0,04} + \bar{\lambda}^2}{2 \times \bar{\lambda}^2}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,384 \times \sqrt{1,06^2 - 0,04} + 1,06^2}{2 \times 1,06^2} \cong 1,12$$

$$5. \quad \rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2}\right)}$$

$$\rho = 1,12 - \sqrt{1,12^2 - \left(\frac{1}{1,06^2}\right)} = 0,52$$

Verificação da Resistência a Compressão

$$N_{r,c} = Q \times A_g \times \rho \times f_y$$

$$N_{r,c} = 1,0 \times 3,42 \times 0,52 \times 2500 = 4.446,00 \text{ kgf}$$

Verificação da Resistência a Tração

$$N_{r,t} = \phi \times A_g \times f_y$$

$$N_{r,t} = 0,9 \times 3,42 \times 2500 = 7.695,00 \text{ kgf}$$

$$N_{R,T} > N_{D,T} \rightarrow OK$$

Espaçamento dos calços

$$\frac{l}{r_{min}} \leq \frac{\lambda}{2} \rightarrow l \leq \frac{\lambda}{2} r_{min}$$

$$l = \frac{112,4}{4} = 28,10 \text{ cm} = 281 \text{ mm}$$

$$l \text{ adotado} = 28 \text{ cm}$$

4.2.18 Dimensionamento das ligações nas Chapas

Perfil 2 L 50,80 x 4,76

a) Banzo Superior

Para o cálculo da solda no banzo superior irá considerar o maior valor de tração e compressão existente na tabela dos esforços nas barras.

$$N_{d,T} = 7.310,779 \text{ kgf}$$

$$N_{d,C} = 6.540,794 \text{ kgf}$$

C = largura da aba: 50,80 mm

X = distância do CG até a aba: 14,50 mm

L = comprimento do cordão de solda: $L = a + b$

Solda de filete

$s = 5 \text{ mm}$ Comprimento mínimo = 4 s ou 40 mm

Extremidade = contornar o canto 2 s

$$4 s = 4 \times r = 20 \text{ mm}$$

$$2 s = 2 \times 5 = 10 \text{ mm}$$

$$A_w = t \times L \longrightarrow t = 0,707 s$$

$$t = 0,707 \times 5 = 3,53 \text{ mm}$$

Resistência de cálculo do metal solda

$$R_n = (0,6fw) \times A_w \quad A_w = t\Delta L \quad \phi = 0,75$$

$$N_d = \frac{7.310,779}{2} \cong 3.655,40 \text{ kgf}$$

$$N_d \leq \phi R_n$$

$$3.655,40 \leq 0,75 \times (0,6 \times 485 \times 10^6) \times (3,53 \times \Delta L \times 10^{-6})$$

$$\Delta L \cong 4,74 \text{ mm}$$

Será adotado comprimento mínimo: $a = 50 \text{ mm}$

$b = 50 \text{ mm}$, também contorno total

Resistencia de cálculo metal base

$$R_n = (0,6fy) \times A_{MB} \quad A_{MB} = s\Delta L \quad \phi = 0,9$$

$$\phi R_n = 0,9 \times (0,6 \times 2500) \times [5 \times (50 + 50 + 50,80) \times 10^{-2}] \cong 10.179 \text{ kgf}$$

$$N_d = \frac{6.540,794}{2} \cong 3.225,40 \text{ kgf}$$

$$10.179 \text{ kgf} \leq N_d$$

Resistência do metal solda

$$\phi R_n = \phi (0,6fw) A_w$$

$$\phi Rn = \phi(0,6fw) t \Delta L$$

$$\phi Rn = \phi(0,6fw) 0,707 s \Delta L$$

fazendo: $\Delta L = 1 \text{ mm e } s = 1 \text{ mm}$

$$\phi Rn = 0,75 \times (0,6 \times 4850) \times 0,707 \times (1 \times 1 \times 10^{-2})$$

$$\phi Rn \cong 15,43 \text{ kgf/mm}$$

como: $\Delta L = 1 \times 1 = 1 \text{ mm}^2$

Tem - se: $\frac{\phi Rn}{\Delta L s} = 15,43 \text{ kgf/mm}^2$

Para: $s = 5 \text{ mm} \rightarrow \frac{\phi Rn}{\Delta L s} = 5 \times 15,43 = 77,15 \text{ kgf/mm}$

$$Nd \leq \frac{\phi Rn}{\Delta L} \times \Delta L$$

$$\Delta L \geq \frac{Nd}{\frac{\phi Rn}{\Delta L}} = \frac{3.225,40}{77,15} = 42 \text{ mm}$$

$$b = \frac{LX}{c} = \frac{42 \times 14,50}{50,80} = 12 \text{ mm}$$

Resistência do cálculo metal base

$$Rn = (0,6fy) \times A_{MB} \quad A_{MB} = s\Delta L \quad \phi = 0,9$$

fazendo: $\Delta L = 1 \text{ mm e } s = 1 \text{ mm}$

$$\phi Rn = 0,9 \times (0,6 \times 2500) \times (1 \times 1 \times 10^{-2})$$

$$\phi Rn \cong 13,50 \text{ kgf/mm}$$

como: $\Delta L = 1 \times 1 = 1 \text{ mm}^2$

Tem - se: $\frac{\phi Rn}{\Delta L s} = 13,50 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \leq \frac{\phi Rn}{\Delta L s_{\text{Metal Solda}}}$

$$\phi Rn = 0,9 \times (0,6 \times 2500) \times [5 \times (\Delta L) \times 10^{-2}]$$

$$10.179 = 67,50\Delta L$$

$$\Delta L = 150,80 \text{ mm}$$

$$\phi Rn = 77,15 \times (75,40 \times 75,40) = 11.634,22 \text{ kgf}$$

$$Nd \leq \phi Rn$$

$$Nd = 10.179 \text{ kgf} \leq \phi Rn = 11.634,22 \text{ kgf}$$

b) Banzo Inferior

Perfil 2 L 50,80 × 4,76

$$N_{d,T} = 6432,552 \text{ kgf}$$

$$Nd = 1,4 \times \left(\frac{6432,552}{77,15} \right) \cong 116,72, \text{ adotado } 120 \text{ mm}$$

$$Nd = 1,4 \times \left(\frac{6432,552}{2} \right) \cong 4.502,79 \text{ kgf}$$

$$\Delta L \leq \frac{4.502,79}{77,15} \cong 58,36 \text{ mm, adotado } 60 \text{ mm}$$

$$b = \frac{LX}{c} = \frac{116,72 \times 14,50}{50,8} \cong 33,31 \text{ mm, adotado } 40 \text{ mm}$$

c) Montante

$$N_{d,T} = 2376,47 \text{ kgf}$$

$$\Delta L \leq \frac{1.663,53}{77,15} \cong 21,56 \text{ mm, adotado } 25 \text{ mm}$$

d) Diagonais

$$N_{d,T} = 2376,47 \text{ kgf}$$

$$\Delta L \leq \frac{2.641,50}{77,15} \cong 34,24 \text{ mm, adotado } 40 \text{ mm}$$

4.2.19 Dimensionamento das Colunas

Será adotado o Perfil 2 C 203,2 × 17,10'

- Dados

$$\begin{aligned}
 A &= 21,68 \text{ cm}^2 & I_y &= 54,9 \text{ cm}^4 \\
 I_x &= 1.356,00 \text{ cm}^4 & W_y &= 12,80 \text{ cm}^3 \\
 W_x &= 133,4 \text{ cm}^3 & r_y &= 1,59 \text{ cm} \\
 r_x &= 7,89 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Reações de Apoio

$$\begin{aligned}
 N_{\max} &= 2.376,00 \text{ kgf} \\
 M_{\max} &= 5.804,00 \text{ kgf.m} \times 100 = 580.400 \text{ kgf.cm}
 \end{aligned}$$

- Verificação a Compressão

$$1. \quad \lambda = \frac{k \times L}{r_{\min}} = \frac{1,0 \times 600}{7,89} \cong 76,04 < \lambda_{\max} = 200$$

$$2. \quad \frac{b}{t} = \frac{57,4}{5,59} \cong 10,27 < \left(\frac{b}{t}\right)_{\max} = 13 \rightarrow Q = 1,0$$

$$3. \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{Q \times f_y}{E}} \quad \bar{\lambda} = \frac{76,04}{\pi} \times \sqrt{\frac{1 \times 2500}{2,1 \times 10^6}} \cong 0,84$$

$$4. \quad \beta = \frac{1 + \alpha \times \sqrt{\bar{\lambda} - 0,04} + \bar{\lambda}^2}{2 \times \bar{\lambda}^2}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,384 \times \sqrt{0,84^2 - 0,04} + 0,84^2}{2 \times 0,84^2} \cong 1,43$$

$$5. \quad \rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2}\right)}$$

$$\rho = 1,43 - \sqrt{1,43^2 - \left(\frac{1}{0,84^2}\right)} = 0,64$$

$$N_{r,c} = Q \times A_g \times \rho \times f_y$$

$$N_{r,c} = 1,0 \times 21,80 \times 0,64 \times 2500 = 34.880,00 \text{ kgf}$$

Verificação a Tração

$$N_{r,t} = \phi \times A_g \times f_y$$

$$N_{r,t} = 0,9 \times 21,80 \times 2500 = 49050 \text{ kgf}$$

- Resistência a Flexão

- Flambagem local da alma (FLA)

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{203,2}{5,59} = 36,35$$

$$\lambda_{pa} = 1,75 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,5 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 50,72$$

$\lambda_a < \lambda_{pa}$ a coluna é compacta quanto a alma

- Flambagem no local da mesa (FLM)

$$\lambda_m = \frac{b}{t} = \frac{57,40}{9,52} = 6,02$$

$$\lambda_{pm} = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 11,01$$

$\lambda_m < \lambda_{pm}$ a coluna é compacta quanto a mesa

- Flambagem lateral com torção (FLT)

Para o cálculo de FLT utiliza-se formulas para perfil com dois eixos de simetria, tendo em vista que existem dois outros cálculos.

$$\lambda_{Lt} = \frac{Lb}{ry} = \frac{50}{1,59} = 31,45 \rightarrow \text{travada com diagonais}$$

$$\lambda_{Lt} = \frac{Lb}{rx} = \frac{500}{7,89} = 63,37$$

$$\lambda_{PLt} = 1,75 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,75 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 50,72$$

$$\lambda_{rLt} = \frac{0,707Cb\beta_1}{Mr_{LT}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4\beta_2}{C_b^{2\beta_1^2}}\right) Mr_{LT}^2}}$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{I_T A}$$

$$\beta_2 = \frac{E Cw}{GI_T} \times \left(\frac{\pi}{ry}\right)^2$$

$$G = 0,385 E$$

$$I_T = \sum \left(\frac{bt^3}{3}\right) = 2 \times \left(5,74 \times \frac{0,99^3}{3}\right) + 18,34 \times \frac{0,559^3}{3} = 4,78 \text{ cm}^4$$

$$\beta_1 = \pi \times \sqrt{0,385} \times 2,1 \times 10^6 \times \sqrt{4,78 \times 10^{-4} \times 21,68 \times 10^{-2}} \cong 41.787,05 \text{ kgf.cm}$$

$$\beta_2 = \frac{2,1 \times 10^6 \times 10^{-8}}{0,385 \times 2,1 \times 10^6 \times 4,78 \times 10^{-8}} \times \left(\frac{\pi}{1,42 \times 10^{-2}}\right)^2 \cong 26.597,11$$

$$Mr_{LT} = (fy - fr)W: \quad fr = 115 \text{ MPa}$$

$$Mr_{LT} = (2500 - 1150) \times 133,4 \times 10^{-2} \cong 1.791,45 \text{ kgf.cm}$$

$$Cb = 1,0$$

$$\lambda_{rLt} = \frac{0,707 \times 1,0 \times 41.787,05}{1.791,45} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4 \times 26.597,11}{1,0^2 \times 41.787,05}\right) \times 1.791,45}} \cong 136,53$$

$\lambda_{PLT} < \lambda_{LT} < \lambda_{rLT}$ – coluna com elementos semi compactos

$$M_{n_{LT}} = M_{PI} - (M_{PI} - M_{r_{LT}}) \times \frac{\lambda_{LT} - \lambda_{PLT}}{\lambda_{r_{LT}} - \lambda_{PLT}}$$

$$M_{PL} = Z f_y = 74.312 \text{ Nm}$$

$$M_{r_{LT}} = 17.914 \text{ Nm}$$

$$M_{n_{LT}} = M_{PI} - (M_{PI} - M_{r_{LT}}) \times \frac{\lambda_{LT} - \lambda_{PLT}}{\lambda_{r_{LT}} - \lambda_{PLT}}$$

$$M_{n_{LT}} = 7.431,2 - (7.431,2 - 1.791,45) \times \frac{63,53 - 50,72}{136,53 - 50,72} \cong 6.589,27 \text{ kgf.cm}$$

$$M_{PI} = Z f_y = 7.431,2 \text{ kgf.cm}$$

$$M_{r_{LT}} = 1.791,45 \text{ kgf.cm}$$

Portanto a resistência ao momento fletor será:

$$\phi M_n = 0,9 \times 6.589,27 \times 2 \cong 11.860,68 \text{ kgf.cm}$$

↓
2 peças

- **Resistência ao Cisalhamento**

$$\lambda_a = \frac{h}{tw} = \frac{203,2}{5,59} = 36,35$$

$$\lambda_{pv} = 1,08 \times \sqrt{\frac{k \cdot E}{f_y}} = 1,08 \times \sqrt{\frac{5,34 \times 2,1 \times 10^6}{2500}} \cong 72,33$$

$\lambda_a < \lambda_{pv}$ a coluna é compacta quanto ao cisalhamento

$$V_n = V_{PI} = 0,6 \times A_w \times f_y$$

$$A_w = d \cdot tw = 20,32 \times 0,559 \times 2 \cong 22,72 \text{ cm}^2$$

↑
2 barras

$$V_n = 0,6 \times 22,72 \times 10^{-2} \times 2500 \cong 340,80 \text{ kgf}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 \times 340,80 = 306,72 \text{ kgf}$$

- **Travejamento**

$$\frac{l}{r_{\text{mim}}} \leq \frac{\lambda}{2}$$

$$l \leq \frac{76,04}{2} \times 1,45 \cong 55,13$$

4.2.20 Cálculo da placa de base

Hipótese 1 \longrightarrow $N_c = 2.376,47 \text{ kgf}$

$$M = 218,28 \text{ kgf.m} \times 100 = 21.828 \text{ kgf.cm}$$

Hipótese 2 \longrightarrow $N_c = 0$

$$M = 5.804,26 \text{ kgf.m} \times 100 = 580.426 \text{ kgf.cm}$$

- **Calculo da Hipótese 1**

$$1) \quad f_c = \frac{N_c}{A \times B} + \frac{6 \times M}{B \times A^2}$$

$$f_c = \frac{2.376,47}{40 \times 40} + \frac{6 \times 21.828}{40 \times 40^2} = 1,4853 + 2,0464 \cong 3,53$$

$$2) \quad f_t = \frac{N_c}{A \times B} - \frac{6 \times M}{B \times A^2}$$

$$f_t = \frac{2.376,47}{40 \times 40} - \frac{6 \times 21.828}{40 \times 40^2} = 1,4853 - 2,0464 = -0,561 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3) \quad A \geq \frac{2.376,47}{2 \times 40 \times 3,53} + \sqrt{\frac{2.376,47}{2 \times 40 \times 3,53} + \frac{6 \times 21.828}{(40 \times 3,53)}} \cong 39 \text{ cm}$$

$$4) \quad t \geq 2 \times a \times \sqrt{\frac{f_c}{f_y}}$$

$$t \geq 2 \times 10 \times \sqrt{\frac{3,53}{2500}} \cong 0,752 \text{ cm}$$

$$t = 7,52 \text{ mm}$$

400 x 400 x 7,94 mm (5/16")

- **Calculo Hipótese 2**

$$1) f_c = \frac{Nc}{A \times B} + \frac{6 \times M}{B \times A^2}$$

$$f_c = \frac{0}{40 \times 40} + \frac{6 \times 580.426}{40 \times 40^2} \cong 54,41 \text{ kgf/cm}^2$$

$$2) f_t = \frac{Nc}{A \times B} - \frac{6 \times M}{B \times A^2}$$

$$f_t = \frac{0}{40 \times 40} - \frac{6 \times 580.426}{40 \times 40^2} \cong -54,41 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3) A \geq \frac{N}{2 \times B \times f_c} + \sqrt{\frac{N}{2 \times B \times f_c} + \frac{6 \times M}{B \times f_c}}$$

$$A \geq \frac{0}{2 \times 40 \times 3,53} + \sqrt{\frac{0}{2 \times 40 \times 3,53} + \frac{6 \times 580.426}{(40 \times 3,53)}} \cong 47 \text{ cm}$$

$$4) t \geq 2 \times a \times \sqrt{\frac{f_c}{f_y}}$$

$$t \geq 2 \times 10 \times \sqrt{\frac{54,41}{2500}} \cong 2,95 \text{ cm}$$

$$t = 29,5 \text{ mm}$$

Adotar placa de base de 400 x 400 x 30,16 mm (1.3/16")

4.2.21 Chumbadores

- **Chumbadores Hipótese 1**

$$1) \quad C = \frac{fc \times A}{fc + ft}$$

$$C = \frac{3,53 \times 40}{3,53 + 0,561} \cong 34,51 \text{ cm}$$

$$2) \quad y = A - \frac{C}{3} - e$$

$$y = 40 - \left(\frac{34,51}{3}\right) - 5 \cong 23,50 \text{ cm}$$

$$3) \quad x = \frac{A}{2} - \frac{C}{3} = \frac{40}{2} - \frac{34,51}{3} \cong 8,50 \text{ cm}$$

$$4) \quad T = \frac{M - N \cdot x}{y} = \frac{21.828 - 2.376,47 \times 8,50}{23,5} \cong 69,28$$

$$5) \quad A_{nec} = \frac{T}{n \cdot 0,33fu} = \frac{69,28}{3 \times 0,33 \times 4000} \cong 0,017$$

$$6) \quad D_{nec} = \sqrt{\frac{A_{nec}}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,017}{0,785}} \cong 0,147 \text{ cm} = 1,47 \text{ mm}$$

1,59 mm (1/16")

- **Chumbadores Hipótese 2**

$$1) \quad C = \frac{fc \times A}{fc + ft}$$

$$C = \frac{54,41 \times 40}{54,41 + 54,41} \cong 20 \text{ cm}$$

$$2) \quad y = A - \frac{C}{3} - e$$

$$y = 40 - \left(\frac{54,41}{3}\right) - 5 \cong 16,86 \text{ cm}$$

$$3) \quad x = \frac{A}{2} - \frac{C}{3} = \frac{40}{2} - \frac{54,41}{3} \cong 1,86 \text{ cm}$$

$$4) \quad T = \frac{M - N \cdot x}{y} = \frac{580.426 - 0 \times 1,86}{16,86} \cong 34.426,21$$

$$5) \quad A_{nec} = \frac{T}{n \cdot 0,33 f_u} = \frac{34.426,21}{3 \times 0,33 \times 4000} \cong 8,69 \text{ cm}^2$$

$$6) \quad D_{nec} = \sqrt{\frac{A_{nec}}{0,785}} = \sqrt{\frac{8,69}{0,785}} \cong 3,327 \text{ cm} = 33,27 \text{ mm}$$

Adotar chumbador de # 33,34 mm (1.5/16")

4.2.22 Contraventamento

Nesse projeto haverá somente o travamento da cobertura, pois o galpão será fechado dos quatros lados por alvenaria.

a) Plano de Contraventamento

Figura 16: Plano de Contraventamento

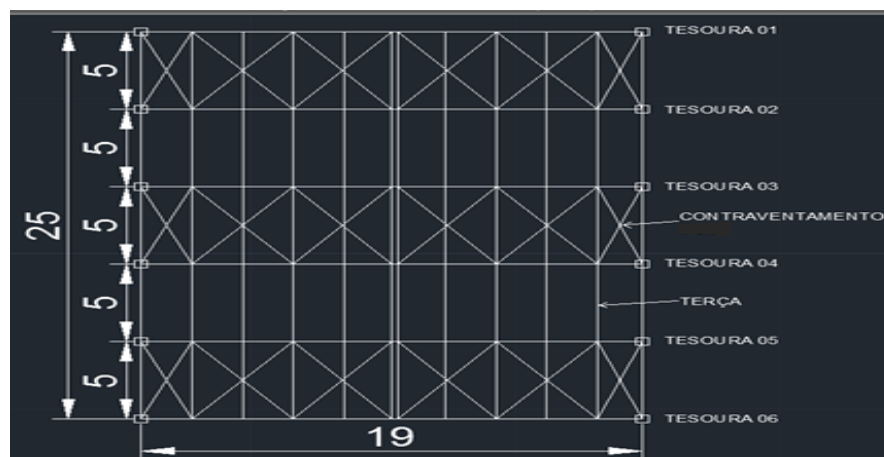
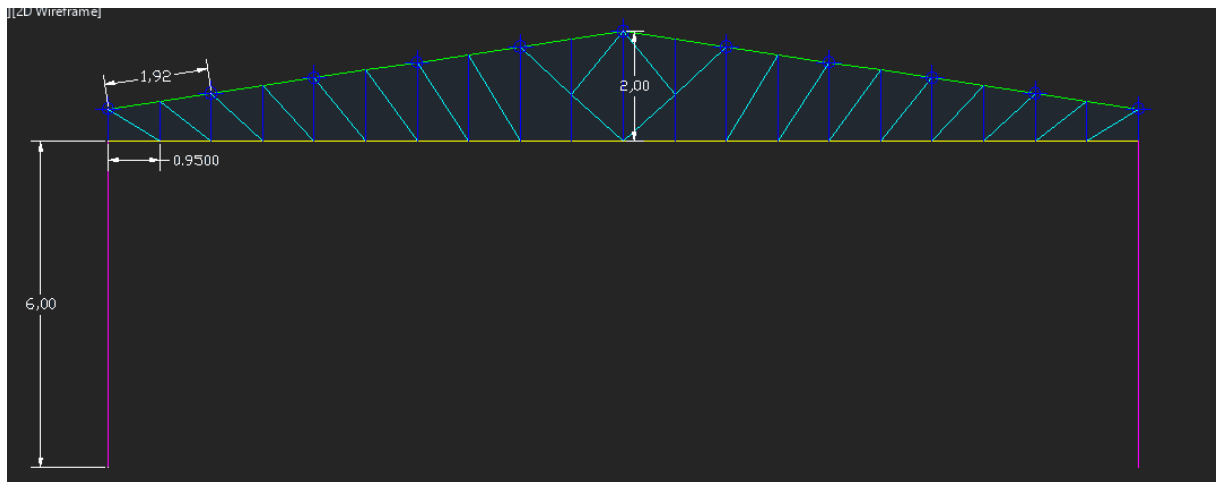
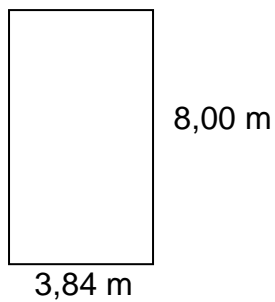


Figura 17: Estrutura da Tesoura e Pilar



a) Área de Influência



$$A_{inf} = 3,84 \times 8 = 30,72 \text{ cm}^2$$

b) N_t

$$A_{inf} = 3,84 \times 8 = 30,72 \text{ cm}^2$$

$$N_t = 1,4 \times q_v \times A_{inf} = 1,4 \times 59 \times 30,72 \cong 2.537,47 \text{ kgf}$$

c) N_{ctv}

$$L_{ctv} = \sqrt{6^2 + 3,84^2} \cong 7,12 \text{ m}$$

$$N_{ctv} = N_t \times \left(\frac{L_{ctv}}{Dist_{Trelças}} \right) = 2.537,47 \times \left(\frac{7,12}{5} \right) \cong 3.613,36 \text{ kgf}$$

d) Área Mínima

$$A_{Gmin} = \frac{N_{ctv}}{0,9 \cdot f_y} = \frac{3.613,36}{0,9 \times 2500} \cong 1,6059 \text{ cm}^2$$

$$A = 0,785 \cdot d^2$$

$$1,6059 = 0,785 \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{1,6059}{0,785}} \cong 1,43 \text{ cm ou}$$

Adotar barras com # 16 mm ou 5/8"

5 RELAÇÃO DOS PERFIS

Tabela 12: Relação dos Perfis

Elemento da estrutura = Tesoura	Perfil	Quant. (Mt) + 10%	Quant. em barras	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Banzo Inferior	2 L 50,80 × 4,76.	125,4	21	4,92	619,92
Banzo superior	2 L 50,80 × 4,76	126,852	22	4,92	649,44
Montantes	2 L 31,75 × 3,17.	177,243	30	3,66	658,8
Diagonais	2 L 38,10 × 4,76.	208,89	35	5,36	1125,6

Elemento da estrutura = Terça	Perfil	Quant. (Mt) + 10%	Quant. em barras	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Terça	C 101,6 × 10,80 kg/m	330	55	10,8	3564

Elemento da estrutura = Pilar	Perfil	Quant. (Mt) + 10%	Quant. em barras	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Pilar	2 C 203,2 × 17,10	79,2	14	17,1	1436,4

Elemento da estrutura = Placa de Base	Perfil	Quant. (Pç)	Quant (m³)	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Placa de Base	400x400x30,16 mm (1.3/16")	12	0,058	37,88096	454,5715

Elemento da estrutura = Chumbador	Perfil	Quant. (Mt) + 10%	Quant. em barras	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Chumbador	33,34 mm		0		

Elemento da estrutura = Contraventamento	Perfil	Quant. (Mt) + 10%	Quant. em barras	Peso	
				Unit. (kg)	Total (Kg)
Contaventamento	Barra de 16 mm	215,58	36	1,58	341,28

6 CONCLUSÃO

Com base no estudo proposto podemos perceber que em virtude de uma demanda variada no mercado da construção civil, devemos nos atentar para as diferentes possibilidades de materiais e métodos de execução disponíveis para a obtenção de uma edificação que atenda a todas as imposições da finalidade da edificação.

Focados na utilização do aço laminado ASTM A36, atentando para suas propriedades específicas de ductibilidade, fragilidade, resiliência, dureza, fadiga, elasticidade e principalmente à sua capacidade de resistência aos esforços de tração, compressão, flexão e torção impostos pelas reações geradas pelas ações de peso próprio, vento, sobrecarga, cargas acidentais, dentre outras da estrutura, com a finalidade de absorver a todas as imposições sem sofrer deformações como a flambagem, escoamento ou ruptura, fatos que ocasionariam no comprometimento da estabilidade, segurança e função da edificação.

Para que se tenha uma segurança comprovada dos dimensionamentos e execução da obra foram adotadas como base nas imposições normativas da NBR 8800/08, com foco nas suas imposições e dados referentes à localização, altitude, tipologia de terreno onde será situada a estrutura, bem como a função quanto a utilização da estrutura, suas dimensões, a pré-imposição de tipos e formas de materiais a serem utilizados.

Assim após a execução de todos os cálculos, verificação de hipóteses, para todas as peças que compõem a estrutura metálica se tem por fim a relação de especificação de todos os componentes necessários para a execução da estrutura, visando atender todas as imposições arquitetônicas, estruturais e de segurança necessárias.

REFERÊNCIAS

- 1 DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Edificações de aço no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2002. 203 p.
- 2 TÉSIO, Patrícia Rina. **A Evolução da Engenharia Civil no Brasil, nos últimos 100 anos, na Construção e Restauração de Edificações Históricas: o caso da Estação da Luz**. 2007. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-07/civil-31.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.
- 3 ITO, Márcia Lie. **Estruturas Metálicas Estudo da Viabilidade em Edifícios Comerciais**. 2005. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-21.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.
- 4 PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain; DREHMER, Gilnei Artur. **Análise e Experimentação de Estruturas Metálicas e de Madeira**. 2004. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Est_Aco_2004.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.
- 5 PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora Ltc, 2009. 336 p.
- 6 PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas: Cálculos, Detalhes, Exercícios e Projetos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2005. 301 p
- 7 FRANTZ, Josiane Luiza. **Dimensionamento de Pavilhão Industrial com Estrutura em Aço**. 2011. 173 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011. Disponível em: <http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/tcc_final_josiane_15_12_11.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.
- 8 BELLEI, Ildony H.. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo**. 6. ed. São Paulo: Pini, 2003. 493 p.
- 9 SIMEÃO, Carlos Alberto. **Principais Fases na Construção de Uma Obra**. 2015. Disponível em: <<http://premonta.com.br/principais-fases-na-construcao-de-uma-obra/>>. Acesso em: 08 mar. 2016

10 CANTUSIO NETO, Augusto. **Estruturas Metálicas I**: Notas de Aula. 2008. Disponível em: <http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM I.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2016.

11 FERRAZ, Henrique. **O Aço na Construção Civil**. 2003. Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_22/aco.html>. Acesso em: 02 nov. 2015.

12 ATAÍDE, César Alexandre Varela; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. **Estudo Comparativo entre o Método das Tensões Admissíveis e o Método dos Estados Limites para Alvenaria Estrutural**. 2006. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee34_105.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2015.

13 SÁLES, J. J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R. M. (2004). **Segurança nas estruturas. São Carlos**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Notas de aula da disciplina “SET-403 – Sistemas Estruturais”).

14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças Devido ao Vento em Edificações. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1988. 66 p.

15 CANTUSIO NETO, Augusto. **Estruturas Metálicas II**: Notas de Aula. 2007. Disponível em: <http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM II.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2016.

16 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 237 p.

17 PANNONI, Fabio Domingos. **Aços estruturais**. 2015. Disponível em: <<http://www.denversa.com.br/site/files/produtos/ba34aa7ebb8e04f694a76c816cee0afc.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

18 CATTANI, Daniela Tonial; VAN RIEL, Marli. **Perfil I**: Tipos de aços estruturais. 2009. Zacarias Martin Chamberlain Pravia. Disponível em: <<http://perfil-i-santateresinha.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

19 BRASIL, Instituto Aço et al. **Galpões para Usos Gerais**: Manual de Construção em Aço. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2010. 76 p.