

**FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOANA CÁSSIA FERNANDES DO AMARAL**

**ESTRUTURAS METÁLICAS – PROJETO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**EXTREMA**

**2018**

**JOANA CÁSSIA FERNANDES DO AMARAL**

**ESTRUTURAS METÁLICAS – PROJETO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Faculdade de Ciências Sociais  
Aplicadas de Extrema, como requisito  
parcial para obtenção do grau Bacharel  
em Engenharia civil sob orientação do  
Prof. Afonso Henrique Vilela**

**EXTREMA**

**2018**

**JOANA CÁSSIA FERNANDES DO AMARAL**

**ESTRUTURAS METÁLICAS – PROJETO DE UMA USINA DE  
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Ciências Sociais Aplicadas de Extrema, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**PROF.**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS DE EXTREMA**

**ORIENTADOR**

---

**PROF.**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS DE EXTREMA**

**PROF.**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS DE EXTREMA**

À minha família, por estar junto a mim durante toda minha trajetória.

A Deus, por ter me dado forças quando eu sentia que não tinha mais nada.

Ao meu namorado, Wesley Y. de Oliveira Suzuki, por todo o auxílio desde a escrita até a apresentação.

E aos meus amigos que estiveram ao meu lado me dando motivos para não desistir.

Agradeço ao meu orientador e a minha  
coorientadora pelos ensinamentos,  
paciência e oportunidades.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”

*Madre Teresa de Calcutá*

## RESUMO

Projeto estrutural de um galpão de estrutura metálica, utilizando o *software* Cypecad, desenvolvido pela empresa Multiplus, onde os recursos de detalhamento e dimensionamento seguem as normas brasileiras. Projetado para a instalação de uma usina de reciclagem buscando uma forma de sustentabilidade na área da construção civil, fazendo desses resíduos, que antes eram desperdiçados, materiais reutilizáveis. Através do *software* foi possível realizar os cálculos lançando a estrutura, escolhendo os perfis, acrescentando as cargas atuantes na estrutura e através disso obtendo os resultados, que geraram tabelas, que estão anexadas para análise, que demonstram os resultados obtidos através do *software*.

**Palavras-Chaves:** Estruturas Metálicas; Reciclagem de Resíduos da Construção Civil; Sustentabilidade; Galpão; Entulho.

## ABSTRACT

Structural design of a metal frame shed using Cypecad software, developed by Multiplus, where detailing and sizing capabilities follow Brazilian standards. Designed for the installation of a recycling plant seeking a form of sustainability in the construction sector, making these waste, which were previously wasted, reusable materials. Through the software, it was possible to carry out the calculations by launching the structure, choosing the profiles, adding the loads acting on the structure and through this obtaining the results, which generated tables, which are attached for analysis, which demonstrate the results obtained through the software.

**Keywords:** metallic structures; recycling of construction waste; sustainability; shed; rubble.



## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;

NBR: Normas Brasileiras;

PT: Português;

RCC: Resíduos da Construção Civil;

ABRECON: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição;

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente;

E.L.U: Estado Limite Último;

E.L.S: Estado Limite de Serviço;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ponte de Coalbrookdale, Inglaterra, 1779. ....	14
Figura 2. Materiais gerados em usinas. ....	15
Figura 3. Dimensões da estrutura. ....	16
Figura 4. Exemplo de lanternim em galpão. ....	17
Figura 5. Galpão com uma água. ....	20
Figura 6. Galpão com duas águas. ....	20
Figura 7. Galpão com cobertura em Shed. ....	21
Figura 8. Galpão em Arco. ....	21
Figura 9. Tipos de perfis estruturais ....	23
Figura 10. Exemplo de ligações parafusadas. ....	24
Figura 11. Tipos de contraventamento. ....	25
Figura 12. Definições básicas do vento. ....	27
Figura 13. Mapa isopletras do Brasil (m/s). ....	28
Figura 14. CypeCAD aba de normas. ....	36
Figura 15. Estados Limites CypeCAD. ....	37
Figura 16. Estrutura. ....	38
Figura 17. Exemplo de erro em estrutura. ....	39
Figura 18. Estrutura com resistência e flechas com limites ultrapassados ....	40
Figura 19. Estrutura com o dimensionamento correto. ....	41
Figura 20. Dimensões da telha. ....	42
Figura 21. Demonstração dos deslocamentos na estrutura. ....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de aços mais utilizados no Brasil. <b>Erro!</b> <b>definido.</b>	<b>Indicador</b>	<b>não</b>
Tabela 2. Valores mínimos do fator estatístico S3.....		29
Tabela 3. Coeficientes de pressão externos, para paredes de edificações de planta retangular. ....		31
Tabela 4. Coeficientes de pressão externos, para telhados com duas águas, simétricos. ....		31
Tabela 5. Coeficiente $C_e$ das superfícies.....		32
Tabela 6. Coeficiente de pressão externa no telhado.....		32
Tabela 7. Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas. ....		35
Tabela 8. Resumo de cargas atuantes. ....		38
Tabela 9. E.L.U. aço dobrado. ....		45
Tabela 10. E.L.U. aço laminado.....		47
Tabela 11. Deslocamentos. ....		50
Tabela 12. Tabela de resumo de perfis utilizados. ....		50
Tabela 13. Reações nos nós. ....		51

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.3. Justificativa.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Aço na construção civil .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Reciclagem de resíduos da construção civil .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1 Estrutura Metálica .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2 A Usina e a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ESTRUTURAS METÁLICAS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.1 Vantagens do aço .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2 Desvantagens .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2.5 Tipologia de construções industriais .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.1 Galpão com uma ou duas águas. ....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.2 Galpão em Shed .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.3 Galpão em Arco .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6. PERFIS METÁLICOS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.1 Perfis para colunas .....</b>	<b>22</b>
<b>7. MEIOS DE FIXAÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>7.1 Ligações parafusadas.....</b>	<b>23</b>
<b>7.2 Contraventamento.....</b>	<b>24</b>
<b>3. PREMISSAS DE CÁLCULO.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Ações atuantes na estrutura. ....</b>	<b>26</b>

<b>4. FORÇAS DEVIDAS AO VENTO .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Cálculo de forças devidas ao vento.....</b>	<b>28</b>
<b>5. CÁLCULO ESTRUTURAL.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 CYPECAD.....</b>	<b>36</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>6.1. Discussão .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2. Resultados .....</b>	<b>40</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>44</b>
<b>1.- DADOS DE OBRA.....</b>	<b>44</b>
<b>1.1.- NORMAS CONSIDERADAS.....</b>	<b>44</b>
<b>1.2.- ESTADOS LIMITES .....</b>	<b>44</b>
<b>Deslocamentos.....</b>	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As estruturas metálicas constituem-se por elementos metálicos como chapas e perfis ligados por parafusos ou soldas. As primeiras obras em aço ocorreram em 1750, quando se descobriu como produzi-lo industrialmente. Entre 1780 e 1820, era comum construções de pontes treliçadas ou em forma de arco, com elementos em ferro fundido trabalhando em compressão. No Brasil a fabricação de ferro foi iniciada por volta de 1812 e o que acredita ser a primeira obra, em ferro fundido no Brasil, foi a ponte de Paraíba do Sul, localizada em Niterói, Rio de Janeiro, construída em 1857 a ponte continha 5 vãos de 30 metros. Uma das edificações mais comuns feitas de estruturas metálicas são os galpões, que normalmente são construções em aço com apenas um pavimento possuindo um grande vão destinado ao uso comercial, industrial, agrícola e outros. Em outras palavras, galpões são estruturas versáteis, podendo ser utilizadas para diversos fins.

Esse trabalho de conclusão de curso abordará um projeto estrutural de uma edificação industrial em aço para o funcionamento de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos os RCC são: “os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”. Nas usinas realizam-se atividades como a moagem do entulho, a separação em brita, areia e rachão. Após essas atividades, o material obtido pode ser vendido, proporcionando um nicho de mercado para a venda de material reciclado com a mesma utilização, porém com preços mais competitivos.

Não se sabe ao certo quando surgiram as usinas de reciclagem de RCC, porém, de acordo com Hummel e Wedler (1946) a primeira aplicação significativa do entulho reciclado, só foi registrada após a segunda guerra mundial, na reconstrução das cidades Europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e o escombro ou entulho resultante, foi britado para a produção de agregados visando atender a demanda na época.

## **1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho propõe o projeto de um galpão de estrutura metálica para a instalação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Elaborar um projeto estrutural empregando prescrições das normas utilizadas e a utilização de software para o cálculo estrutural.

### **1.2.3. Justificativa**

Busca-se demonstrar nesse trabalho final, os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia civil, onde o projeto de estrutura metálica, utilizando o software Cypecad, avaliará, através das cargas atuantes na estrutura, o comportamento de colunas, vigas e terças, seguindo as exigências das normas brasileiras.

O edifício estrutural foi projetado para uma usina de reciclagem de entulho, procurando ter área de atuação no sul de minas, onde o entulho é descartado de maneira totalmente incorreta em aterros, sendo assim, procura-se estabelecer a usina nessa região para diminuir esse desperdício.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

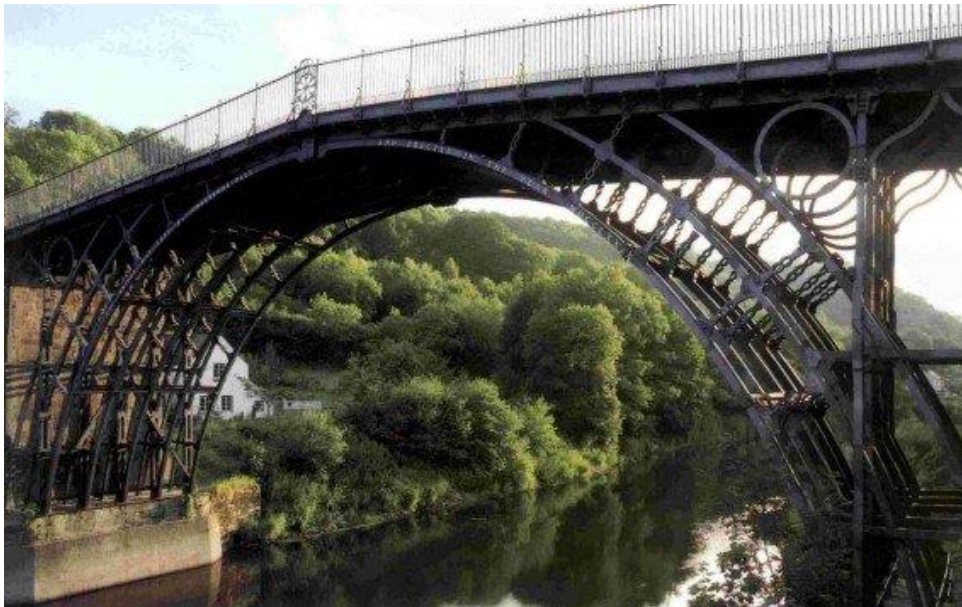
### 2.1 Aço na construção civil

“Não se sabe exatamente quando começou na humanidade o uso dos metais” (DIAS, 2002), mas procurando em outros livros de outros autores, encontra-se diferentes histórias sobre, “Os primeiros usos do ferro aconteceram, aproximadamente, 8000 anos atrás, em civilizações tais como as do Egito, da Babilônia e da Índia. Essas civilizações usaram o ferro apenas para adorno nas construções ou com fins militares” (CHAMBERLAIN, 2013). A ponte sobre o rio Severn, em Coalbrookdale, na Inglaterra em 1779, foi a primeira obra importante construída em ferro.

No Brasil o início do uso do aço, por volta do século XIX, na primeira fase, foi voltado para a parte ferroviária. Como no país não existia siderúrgicas o material era importado em grandes quantidades. Já na segunda fase que ocorreu entre as duas guerras mundiais, quando sua importação não era possível, teve que se iniciar a sua fabricação.

“Hoje, a siderurgia brasileira tem um lugar de destaque internacional (sétimo produtor de aço do mundo).” (CHAMBERLAIN, 2013).

**Figura 1. Ponte de Coalbrookdale, Inglaterra, 1779.**



Fonte: Structurae, 2018.



## 2.2 Reciclagem de resíduos da construção civil

Sabemos que a reciclagem do entulho teve início logo após o final da 2ª guerra mundial, sendo utilizado para a reconstrução das cidades Europeias afetadas.

Apesar da melhoria dos estudos e aplicações dos resíduos reciclados, não tem como dizer que a reciclagem e reuso do entulho seja bem vista, apesar de ter um valor mais acessível e ter o mesmo uso dos materiais convencionais, os materiais gerados a partir dos resíduos da construção civil são vistos como menos confiáveis por serem reutilizados.

A Abrecon (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição) diz: “estima que o Brasil desperdiça cerca de R\$ 8 bilhões ao ano por não reciclar materiais de construção. Para se ter uma ideia do tamanho do desperdício, os resíduos de construção civil e demolições são responsáveis por 60% de todo o lixo sólido urbano e tem reaproveitamento de 70%.”

Especialistas da Abrecon ainda dizem que a reutilização desse material é altamente viável economicamente, o reuso do entulho dá origem a produtos como a areia, pedrisco, brita rachão e bica corrida. Esses materiais podem ser utilizados para produzir, blocos, tijolos e telhas. E também utilizados na pavimentação e terraplanagem.

Figura 2. Materiais gerados em usinas.



Fonte: Ecopav, 2018.

## 2.3. MATERIAIS E MÉTODOS

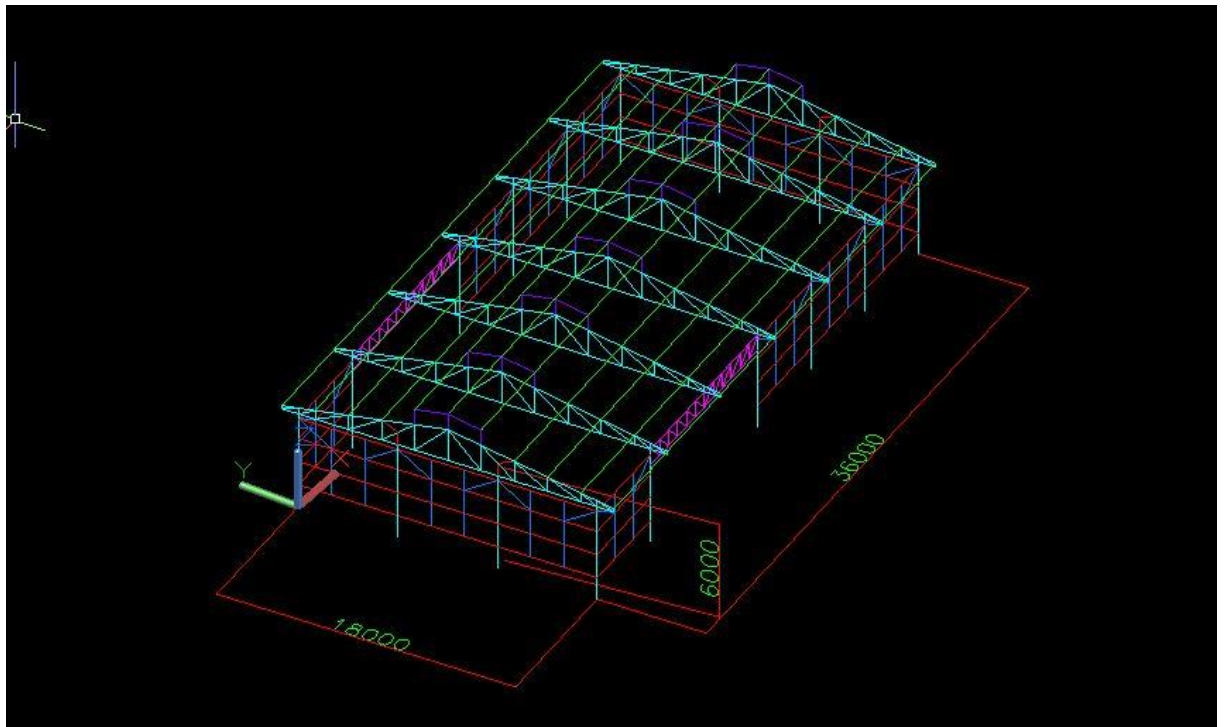
O interesse pelo tema surgiu após as aulas de cálculo estrutural estudadas durante o curso, mais especificamente o interesse por estruturas metálicas.

Procurando, então, unir um interesse profissional com um interesse pessoal e econômico, que é a reciclagem de RCC.

### 2.3.1 Estrutura Metálica

O projeto se baseia em um edifício industrial com as seguintes dimensões: pé direito de 6 (seis) metros, largura de 18 (dezoito) metros e comprimento de 36 (trinta e seis) metros. A estrutura conta também com um lanternim que auxilia na ventilação dentro da edificação, diminuindo as partículas de poeira que possam existir futuramente na usina.

Figura 3. Dimensões da estrutura.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 4. Exemplo de lanternim em galpão.**

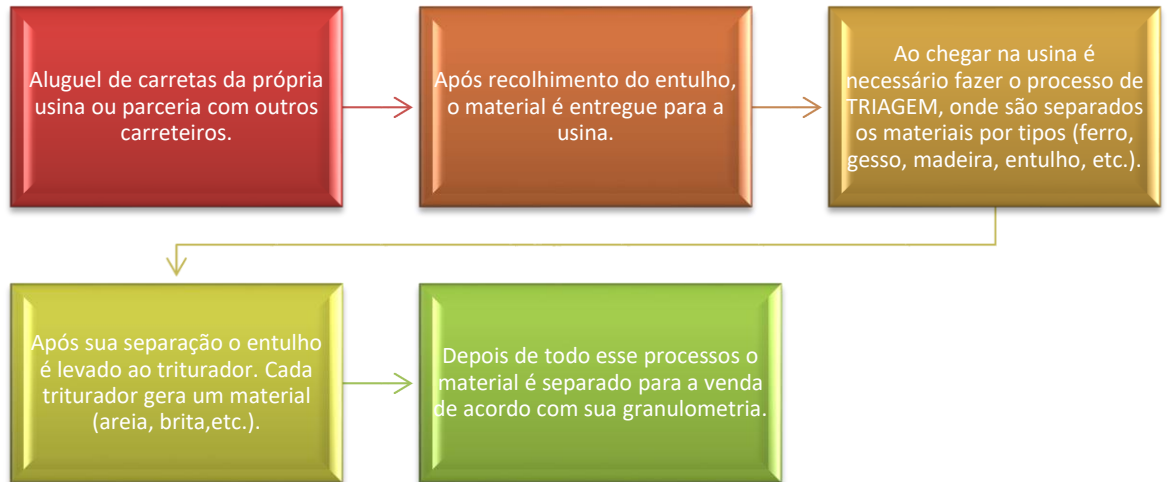


Fonte: Pré-moldados paraná, 2018.

Para o cáculo da estrutura utilizaremos o software Cypecad responsável pelo cáculo estrutural, memorial descritivo e quantitativo de materiais a serem utilizados na obra.

### **2.3.2 A Usina e a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil**

O principal meio de pesquisa sobre a usina de reciclagem deve-se a entrevistas a empresa Usina, localizada em Bragança Paulista, estado de São Paulo. Baseando em seu funcionamento, conseguimos obter um fluxograma para melhor entendimento de como funcionará a usina projetada.



## 2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ESTRUTURAS METÁLICAS

De acordo com Bellei (2006) as principais vantagens e desvantagens das estruturas metálicas são:

### 2.4.1 Vantagens do aço

Alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão etc.), o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços apesar da área relativamente pequena das suas seções; por isso, as estruturas de aço, apesar da sua grande densidade ( $7.850 \text{ kg/m}^3$ ), são mais leves do que elementos produzidos em concreto armado.

Os elementos de aço oferecem uma grande margem de segurança no trabalho, o que se deve ao fato de o material ser único e homogêneo, com limite de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.

Os elementos de aço são fabricados em oficinas, de preferência seriados, e sua montagem é bem mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final de construção.

Os elementos de aço podem ser desmontados e substituídos com facilidade, o que permite reforçar ou substituir facilmente diversos elementos da estrutura.

Possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção.

#### **2.4.2 Desvantagens**

Seu preço pode ser mais caro do que uma obra em alvenaria, pois, é necessária a utilização de mão de obra altamente especializada.

Pode ocorrer a dificuldade de encontrar determinados aços e perfis.

Sua utilização não é muito comum.

### **2.5 Tipologia de construções industriais**

No mercado há uma grande variedade em tipos de galpões, a seguir serão citados alguns deles.

A seguir estão alguns tipos de galpões existentes no mercado. De acordo com Zacarias M. Chamberlain (2010) no livro “Galpões para usos gerais”.

#### **2.5.1 Galpão com uma ou duas águas.**

Um dos tipos mais utilizados pela sua eficiência em cobrir grandes vãos, suas estruturas são geralmente compostas por pórticos com espaçamentos regulares, sustentados por um sistema de vigas, terças ou tesouras.

**Figura 5. Galpão com uma água.**



Fonte: Habitissimo, 2018.

**Figura 6. Galpão com duas águas.**



Fonte: Habitissimo, 2018.

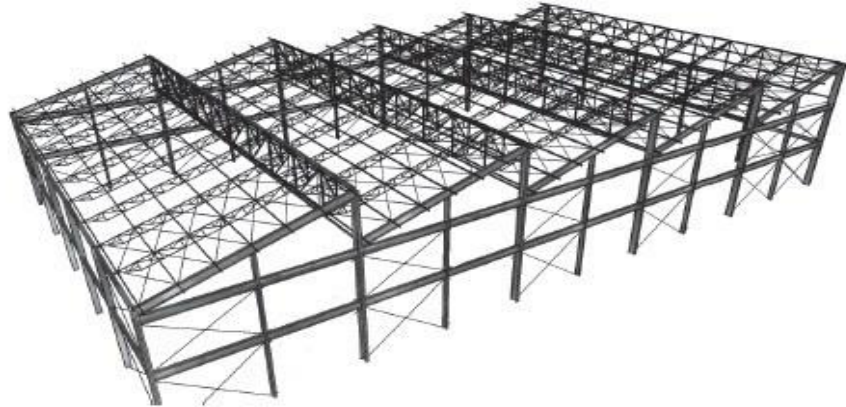
### **2.5.2 Galpão em Shed**

Conhecido por sua cobertura ser diferente das usuais os galpões em shed podem ser apresentados em vãos simples ou múltiplos, sua cobertura é montada como se houvessem degraus, oferecendo em suas conexões iluminação natural e ventilação para dentro da estrutura.

O galpão em shed consegue revestir grandes extensões, tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal.



**Figura 7. Galpão com cobertura em Shed.**



Fonte: Manual da Construção em Aço, 2018.

### **2.5.3 Galpão em Arco**

O galpão em arco é um excelente modelo para regiões onde há muitas chuvas ou precipitações atmosféricas, pois, elimina os riscos de infiltrações e possibilita o escoamento da água para suas laterais. E também para quem procura uma melhor acústica, climatização e condensação, na maior parte das vezes é feita com poliuretano em sua composição.

**Figura 8. Galpão em Arco.**



Fonte: Hpelizzier, 2018.

## 2.6. PERFIS METÁLICOS

Os perfis utilizados na indústria podem ser obtidos de duas maneiras, pelo processo siderúrgico (chapas, barras e perfis laminados) ou pelo processo metalúrgico (chapas dobradas ou perfis soldados).

A escolha do material e o tipo do aço podem depender de fatores como geometria e esforços solicitantes analisados, do ambiente onde se encontra a construção, assim como a verificação da atmosfera, se for agressiva, à estrutura deverá se tomar demais cuidados para evitar manutenção desnecessária segundo Bellei (2004).

Em geral os aços utilizados no Brasil são fabricados segundo normas como a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e a DIN (*Deutsche Industrie Normen*). Também podem ser fornecidos sob denominação dos próprios fabricantes.

<b>Aços de média resistência para uso geral</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Material</b>
Perfis, chapas e barras redondas acima de 50 mm	ASTM A- 36
Chapas finas	ASTM A-570 e SAE 1020
Barras redondas (6 a 50 mm)	SAE 1020
Tubos redondos sem costura	DIN 2448, ASTM A-53 grau B
Tubos quadrados e retangulares, com e sem costura	DIN 17100
<b>Aços estruturais, baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, média resistência mecânica</b>	
Chapas	USI-SAC 41 (USIMINAS)
Chapas	Aço estrutural com limite de escoamento de 245 MPa (COSIPA)
<b>Aços estruturais, baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, alta resistência mecânica</b>	
Chapas	ASTM A-242, ASTM A-588 COS-AR-COR (COSIPA), USI-SAC-50 (USIMINAS) e NIOCOR (CSN)
Perfis	ASTM A-242, A-588 (COFAVI)

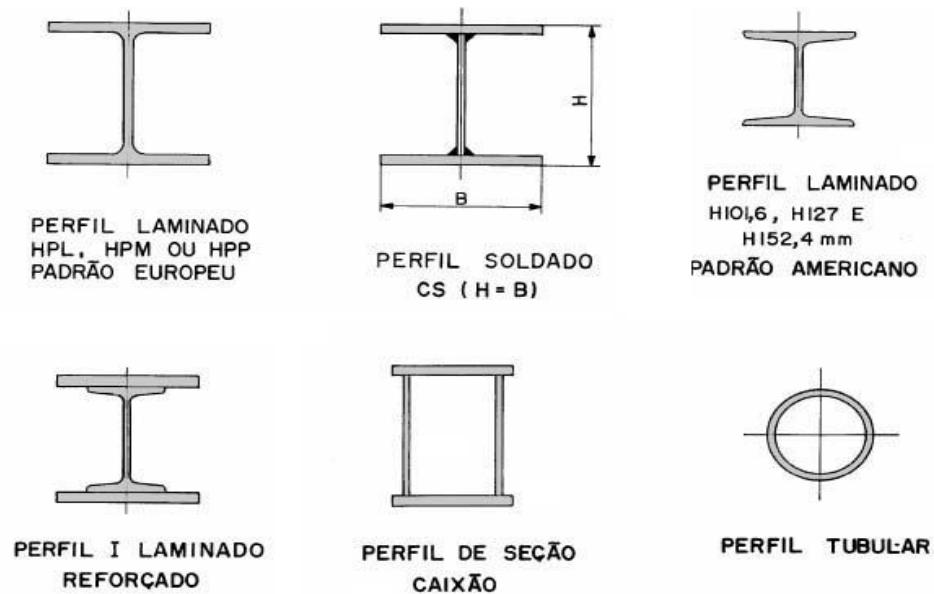
Fonte: Portal Metálica, 2018.

### 2.6.1 Perfis para colunas

Os perfis encontrados na construção são essencialmente dimensionados a compressão. A figura abaixo mostra alguns dos perfis mais utilizados.



**Figura 9. Tipos de perfis estruturais**



Fonte: Portal Metálica, 2018.

## 2.7 MEIOS DE FIXAÇÃO

Os meios de fixação nas estruturas metálicas são responsáveis pela união de diversos componentes, como pilares, contraventamentos e vigas.

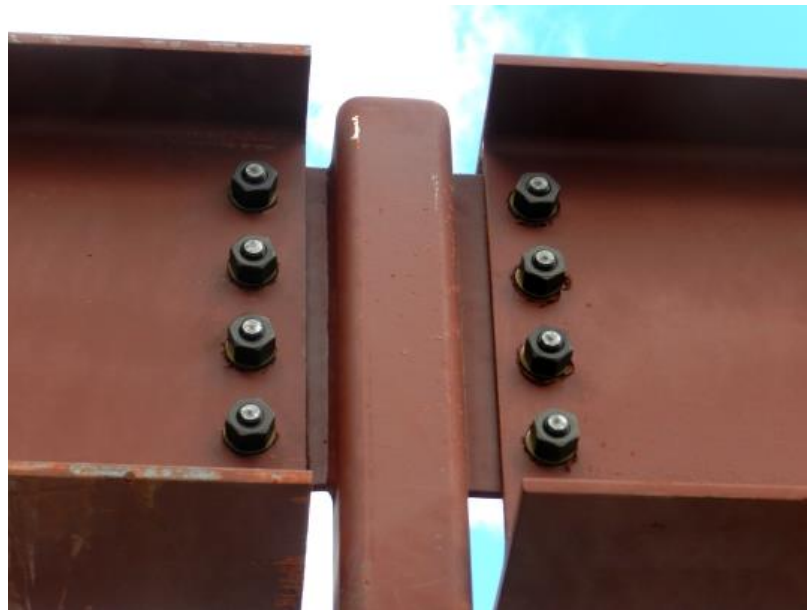
Os principais meios de ligação se dão por chapas, parafusos, soldas sendo necessário que eles apresentem resistência compatível com o aço utilizado na construção. Para melhor otimização da obra é necessário escolher criteriosamente o meio de ligação a se utilizar segundo as condições de montagem, grau de dificuldade para a fabricação da peça, assim como procurar uma padronização do sistema de ligações escolhido.

### 2.7.1 Ligações parafusadas

As ligações com parafusos possuem vantagens como fácil desmontagem e remontagem e garantem maior padronização, porém, necessitam de grandes cuidados, pois, geram distribuições de tensão não uniforme nas peças ligadas, além de uma grande concentração de tensão nas roscas dos parafusos.

Existem dois tipos de parafusos, os comuns que apresentam baixa resistência mecânica e são mais utilizados em peças sem muito esforço solicitado, como, por exemplo, corrimãos. Existem também, os parafusos de alta resistência que são utilizados geralmente quando se é exigido muito esforço ou quando há uma limitação de quantidade de parafusos, muitas vezes ocorrendo pela falta de espaço nas chapas e em outras ligações. Recomenda-se que os parafusos e porcas não sejam utilizados sem devida pintura em estruturas de aço carbono comum ou nas resistentes à corrosão atmosférica devido ao potencial eletroquímico que produz uma acelerada corrosão da camada de zinco.

**Figura 10. Exemplo de ligações parafusadas.**



Fonte: Engenharia Civil na Internet, 2018.

### **2.7.2 Contraventamento**

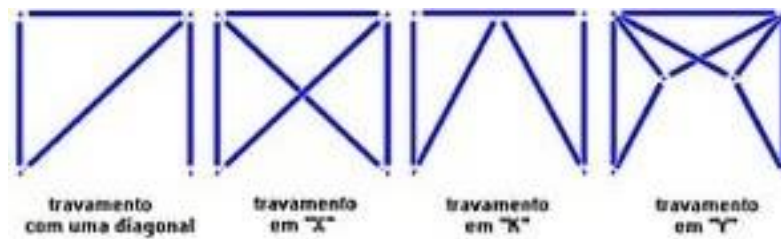
O contraventamento é o termo que se refere a um sistema de proteção contra a ação do vento em edificações de grande porte.

Em construções feitas de concreto se considera como contraventamento os próprios pilares, lajes, vigas e paredes, porém, nas estruturas metálicas se vê a necessidade de utilizar o contraventamento. “Nas estruturas de aço, por serem formadas na maioria por conexões flexíveis entre vigas e pilares e por apresentarem

peças estruturais muito esbeltas devido à elevada resistência do material, o efeito do vento sempre é significativo” (DIAS, 2004).

O contraventamento mais comum é o “X” e os com uma diagonal. Mas, deve-se avaliar a necessidade de abertura do vão, o que em muitos casos tornar-se-á viável a utilização de formatos que favorecem maior abertura, como as versões em “K” ou em “Y”, conforme mostra a figura abaixo.

**Figura 11. Tipos de contraventamento.**



Fonte: Dias, 2004.

### 3. PREMISSAS DE CÁLCULO

#### 3.1 Ações atuantes na estrutura.

O conjunto de ações que atuam na estrutura devem ser considerados com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança segundo a norma. Para as demais generalidades é utilizado como base a ABNT NBR 6120. Segundo a ABNT NBR 8621, item 4.7, as ações sob análise estrutural podem ser consideradas como:

- Ações permanentes: é todo o peso suportado pela estrutura, resumindo todo equipamento ou instalação que seja permanente à estrutura.

- Ações variáveis: Ações devidas às sobrecargas que podem ser consideradas variáveis ao longo da vida útil da estrutura, podendo ser novas instalações, ação do vento, variação de temperatura ou equipamentos não considerados permanentes.

- Ações excepcionais: Ações que tem um curto período de duração e que tem uma probabilidade de ocorrência muito baixa, como por exemplo, enchentes ou algum choque demasiado grande contra a estrutura.

- Ações de cálculo das ações, são os valores quantitativos devido às ações atuantes na estrutura, podendo elas serem: permanentes, variáveis ou uma combinação de ações.

- Combinações últimas normais: Segundo a ABNT NBR 8800:2008 são as combinações de ações que são previstas para a construção, durante todo o seu tempo de utilização. Deverão ser feitas as combinações tantas quanto forem necessárias para se verificar a segurança estrutural em estados- limites últimos.

## 4. FORÇAS DEVIDAS AO VENTO

Deve-se considerar além da tipologia do galpão, as forças devidas ao vento, pois é extremamente importante para edifícios de esbeltez elevada. Essas forças se diferem para cada região do Brasil, sendo assim, seguiremos de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 6123 / 1988.

Há diferenças de temperatura na atmosfera terrestre proporcionando o deslocamento das massas de ar, que são chamadas de vento.

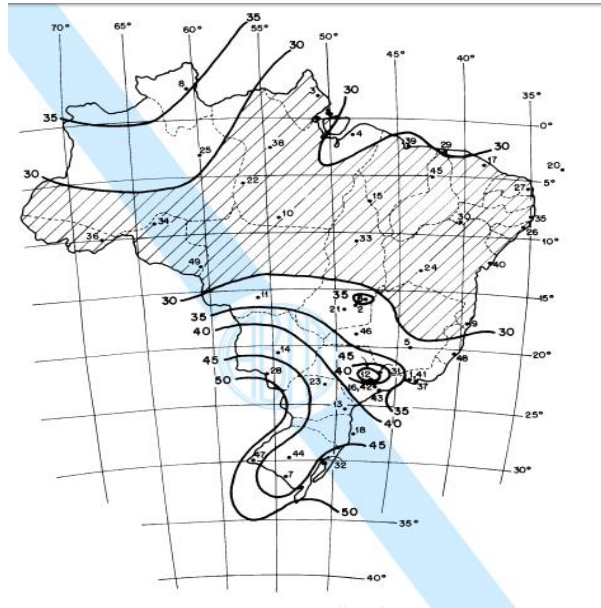
Existem dois termos para os ventos que atingem a edificação. O barlavento é o termo utilizado para a região que sopra o vento, já o sotavento é o tempo para a região oposta de onde sopra o vento. Quando o vento incide com a superfície do edifício (barlavento) os valores adotados são positivos, pois, gera sobrepressão na estrutura. Já quando o vento gera sucção (sotavento) considerada os valores negativos. As atuações dos ventos serão sempre perpendiculares à superfície.

**Figura 12. Definições básicas do vento.**



Fonte: PET Engenharia Civil UFJF.

**Figura 13. Mapa isopletas do Brasil (m/s).**



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

#### **4.1 Cálculo de forças devidas ao vento**

O cálculo das forças devidas ao vento foi baseado na norma NBR 6123:1988.

Ao analisar o mapa de isopletas do Brasil (Figura 12) verificamos que a velocidade básica do vento ( $V_0$ ) é de 40 m/s.

O fator topográfico determinado foi de um terreno francamente acidentado.

A rugosidade do terreno é composta por dois detalhes importante para sua definição, o primeiro é que deve-se analisar a descrição do ambiente onde se estabelecerá a edificação, e o segundo a classe da edificação que é determinada por sua dimensão.

$$S_2 = b \times Fr \times \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (1)$$

Onde:

$$b = 0,85$$

$$Fr = 0,98$$

$$p = 0,13$$

Então:

$$S_2 = b \times Fr \times \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

$$S_2 = 0,85 \times 0,96 \times \left(\frac{7,59}{10}\right)^{0,13}$$

$$S_2 = 0,80$$

Sendo assim, o terreno foi classificado em categoria “IV”, classe “B”. Que são denominadas por:

- Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos:
  - Zonas de parques e bosques com muitas árvores;
  - Cidades pequenas e seus arredores;
  - Subúrbios densamente construídos de grandes cidades;
  - Áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
  
- Classe B: Maior dimensão entre 20 e 50 metros.

O Fator estatístico é baseado nos conceitos estatísticos e considera a vida útil da edificação e o grau de segurança requerido.

**Tabela 1. Valores mínimos do fator estatístico S<sub>3</sub>**

Grupo	Descrição	S <sub>3</sub>
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

Fonte: Editado de NBR 6123:1988

O fator estático do galpão foi determinado visando que a usina utilizará mais maquinários do que pessoas, sendo assim foi decidido que o Grupo 3,  $S_3 = 0,95$ , é o que melhor representa o tipo de edificação.

A velocidade característica do vento que é definida por  $V_k$  é a velocidade usada em projeto considerando os fatores encontrados anteriormente ( $S_1, S_2, S_3$ ). Para encontrar essa velocidade será necessária a equação a seguir:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (2)$$

$$V_k = 40 \times 1 \times 0,80 \times 0,95$$

$$V_k = 30,4 \frac{m}{s}$$

O cálculo das pressões internas ( $C_{pi}$ ) e externas são dependentes das informações de projeto da estrutura. Para edificações onde as paredes internas são permeáveis, onde o vento consegue penetrar, a pressão interna pode ser considerada uniforme. Devendo então adotar os seguintes valores para o  $C_{pi}$ :

- a) Duas faces opostas igualmente permeáveis; outras faces impermeáveis:
- Vento perpendicular a uma face permeável:
  - Vento perpendicular a uma face impermeável:  $C_{pi} = -0,3$ ;

As seguintes opções ficam restritas a norma, pois será utilizado essa opção, já que ao visualizar o projeto percebe-se que são duas aberturas permeáveis, dois portões com 12 metros, e outras faces impermeáveis.

Para o coeficiente de pressão externo ( $C_{pe}$ ), é encontrado a partir de um cálculo levando em consideração as dimensões da estrutura.

Utilizando as dimensões do projeto obtemos:

$$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2} \quad (3)$$

Onde:

$h$  : altura da estrutura, estipulada 6 metros em nosso projeto.

$b$  : largura da estrutura, 18 metros.




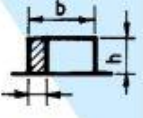
Então:

$$\frac{h}{b} = \frac{6}{18} = 0,3$$

Logo:





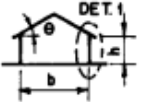
$$0,3 \leq \frac{1}{2}$$

**Tabela 2. Coeficientes de pressão externos, para paredes de edificações de planta retangular.**

Altura relativa	Valores de $C_e$ para								$c_{pe}$ médio 
	$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
	$A_1$ e $B_1$	$A_2$ e $B_2$	C	D	A	B	$C_1$ e $D_1$	$C_2$ e $D_2$	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
0,2 b ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0

Fonte: Adaptado de NBR 6123:1988

**Tabela 3. Coeficientes de pressão externos, para telhados com duas águas, simétricos.**

Altura relativa	$\theta$	Valores de $C_e$ para				$c_{pe}$ médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ 	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1

Fonte: Adaptado de NBR 6123:1988

Se  $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$  então, utilizaremos a Tabela 3 e 4. Porém para a utilização da Tabela 3, antes torna se necessário mais um cálculo para ver em qual tipo a estrutura se encaixa:

$$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2} \quad (4)$$

ou

$$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4 \quad (5)$$

Sendo:

$a$ : comprimento da edificação, 36 metros.

$b$ : largura da edificação, 18 metros.

Então:

$$\frac{a}{b} = \frac{36}{18} = 2,0$$

A partir desse valor conseguimos obter as informações para adicionar ao projeto os coeficientes de pressão externa.

**Tabela 4. Coeficiente  $C_{pe}$  das superfícies.**

$\alpha$	<b>A</b>	<b>B</b>	$C_1$ e $D_1$	$C_2$ e $D_2$	<u><math>C_{pe}</math> médio</u>
<b>90°</b>	+0,70	-0,40	-0,80	-0,40	<u>- 1, 40</u>
$\alpha$	$A_1$ e $B_1$	$A_2$ e $B_2$	<b>C</b>	<b>D</b>	
<b>0°</b>	-0,80	-0,40	+0,70	-0,30	

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 5. Coeficiente de pressão externa no telhado.**

	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$	
$\Theta$	<b>EF</b>	<b>GH</b>	<b>EG</b>	<b>FH</b>
10°	-1,20	-0,40	-0,80	-0,60

Fonte: Autoria própria.

Como a força do vento é dependente da diferença de pressão nas faces opostas da edificação, os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e superfícies internas. Para os fins desta Norma, entende-se por pressão efetiva,  $F$ , em um ponto da superfície de uma edificação, o valor definido por:

$$F = (C_{pe} - C_{pi}) \times q \quad (6)$$

Onde:

$C_{pe}$  : Coeficiente de pressão externa.

$C_{pi}$ : Coeficiente de pressão interna.

$q$ : Pressão dinâmica. Dada pela equação (7).

$$q = \frac{V_k^2}{16} \rightarrow q = \frac{30,4^2}{16} \rightarrow q = 57,76 \frac{kgf}{m^2} \rightarrow 0,5776 \frac{Kn}{m^2} \quad (7)$$

Sendo assim, calculamos para a edificação os valores das forças atuantes na estrutura:

$$F_{x+} = (0,2 - (-1,2)) \times 0,58 \rightarrow F_{x+} = 0,812$$

$$F_{x-} = (0,2 - (-0,4)) \times 0,58 \rightarrow F_{x-} = 0,35$$

$$F_{y+} = (0,2 - (-0,8)) \times 0,58 \rightarrow F_{y+} = 0,812$$

$$F_{y-} = (0,2 - (-0,6)) \times 0,58 \rightarrow F_{y-} = 0,46$$

A força de arrasto deve ser calculada em estruturas de seções constante ou francamente variável. A equação seguinte é a responsável pelo cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ).

$$F_a = C_a \times q \quad (8)$$

Onde:

$C_a$  : Coeficiente de arrasto, encontrado na tabela 7.

Antes é necessário calcular as dimensões para encontrar o coeficiente na tabela.

- Para vento a  $0^\circ$  :

$$\frac{h}{l_1} = \frac{6}{18} = 0,3$$

E

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{18}{36} = 0,5$$

Então: o Coeficiente de arrasto para vento a  $0^\circ$  é 0,75.

- Para vento a  $90^\circ$

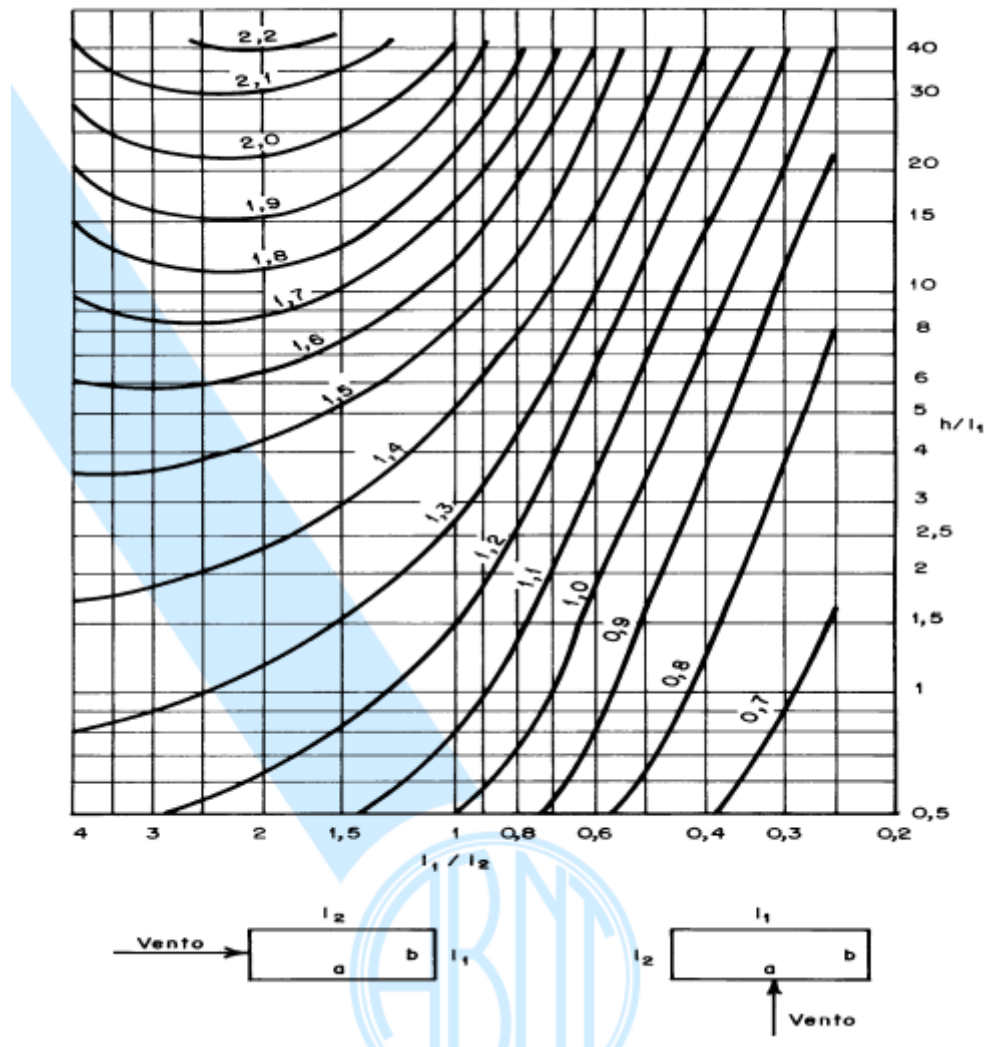
$$\frac{h}{l_1} = \frac{6}{36} = 0,17$$

E

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{36}{18} = 2,0$$

Então, o coeficiente de arrasto para vento a  $90^\circ$  é de 1,10.

Tabela 6. Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas.



Fonte: NBR 6123:1988.

Então:

- Para ventos a  $0^\circ$

$$F_a = C_a \times q \rightarrow F_a = 0,75 \times 0,58 \rightarrow F_a = 0,435 \frac{Kn}{m^2}$$

- Para vento a  $90^\circ$

$$F_a = C_a \times q \rightarrow F_a = 1,1 \times 0,58 \rightarrow F_a = 0,638 \frac{Kn}{m^2}$$

## 5. CÁLCULO ESTRUTURAL

### 5.1 CYPECAD

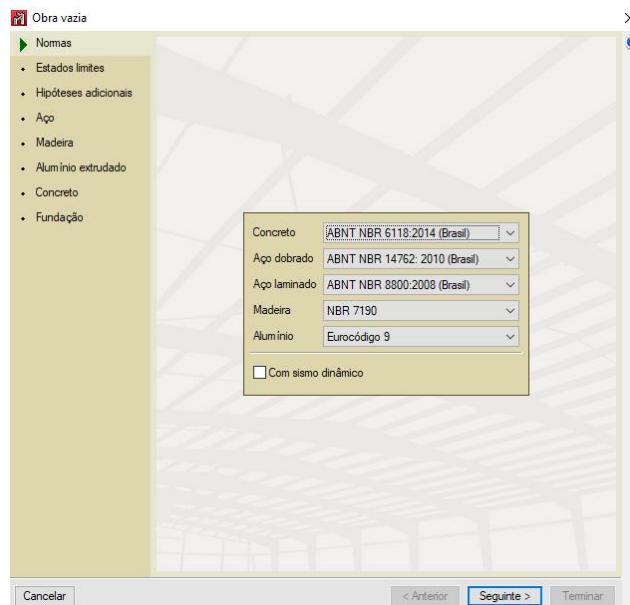
O CYPECAD é uma ferramenta computacional de fácil utilização, alta produtividade e bons recursos gráficos, tornando o software muito conceituado.

Segundo MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS, CYPECAD (2010), "o CYPECAD foi concebido para realizar o projeto de edifícios de concreto armado e mistos, com geração automática da discretização da estrutura, das ações verticais e horizontais e saída das peças escritas e desenhadas".

Ele utiliza o seu próprio ambiente CAD (dispensando assim a necessidade de uso de outros programas complementares) e tem fácil integração entre outros softwares CAD, importando ou gerando pranchas com armaduras e fôrmas para outros programas de edição de desenho.

Para o dimensionamento o *software* utiliza normas como base, logo na inicialização do programa conseguimos visualizar e escolher as normas que serão utilizadas.

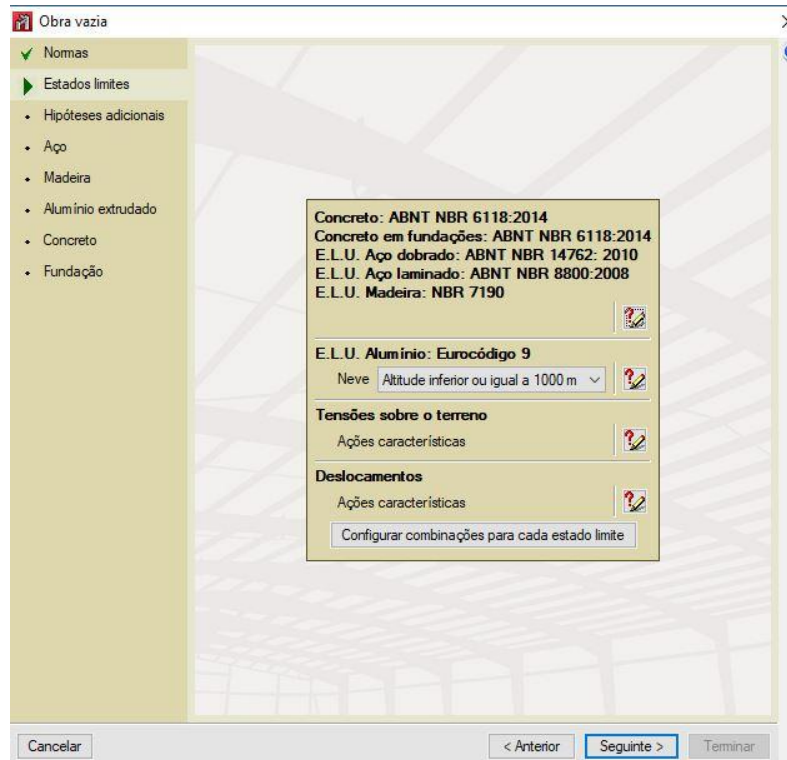
**Figura 14. CypeCAD aba de normas.**



Fonte: Cypecad 2018.

Em seguida é possível visualizar as considerações de cálculo de E.L.U e E.L.S. na aba "Estados Limites"

Figura 15. Estados Limites CypeCAD



Fonte: CypeCAD 2018.

A próxima etapa é especificar a categoria de uso e as ações que atuarão na edificação.

Para a edificação industrial em estudo a categoria selecionada será a opção “2. Edificações comerciais, de escritório e de acesso ao público”.

As ações a serem consideradas, devem ser a sobrecarga, as telhas e as ações do vento, que geram cargas tanto positivas quanto negativas, lembrando que por convenção, os valores com sinais negativos representam forças que estão no sentido de dentro para fora da edificação, e os sinais positivos representam forças de fora para dentro.

De acordo com a NBR 8800:2007 é recomendado uma sobrecarga mínima de  $25 \frac{kgf}{m^2}$ .

Para o dimensionamento foi adicionada a carga de forças devidas ao vento que foram calculadas no capítulo 9, sendo nomeadas de forma como:

VX : Vento a 90°.

VY : Vento a 0°.

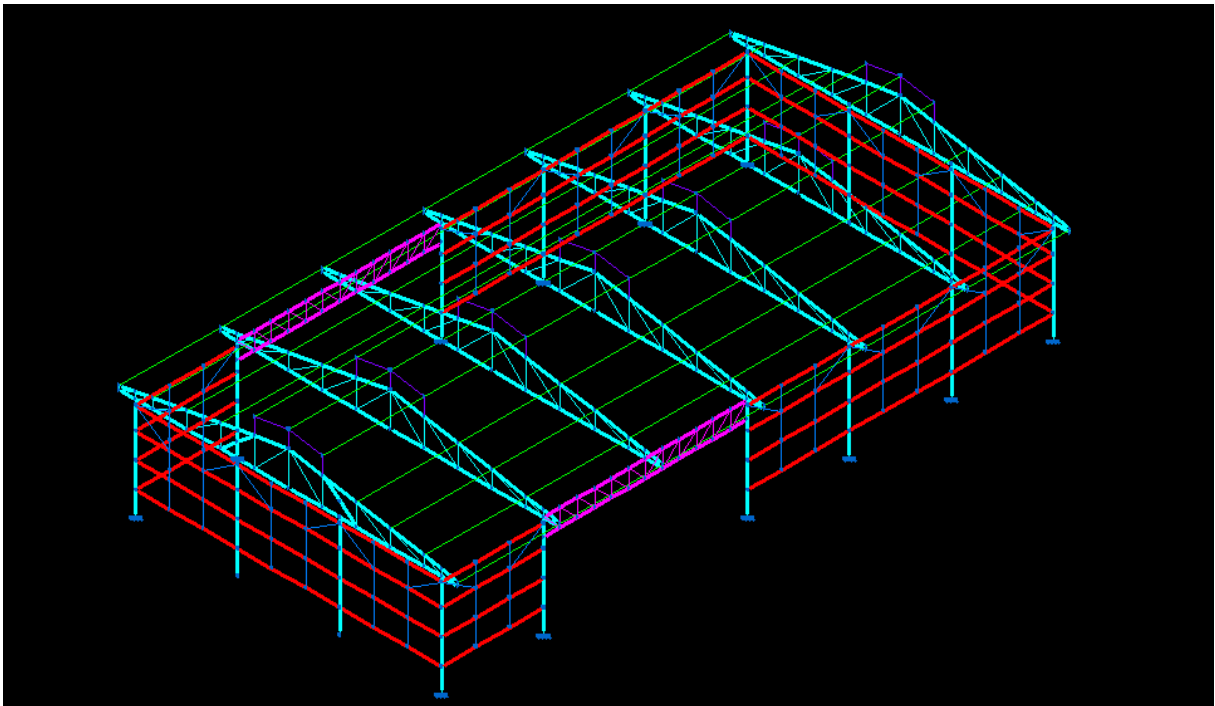
Quanto a telha e ao fechamento do galpão foi especificado uma carga de  $100 \frac{kgf}{m^2}$ .

Tabela 7. Resumo de cargas atuantes.

Nome	Carga ( $\frac{kN}{m}$ )
Telha	0,100
Sobrecarga da Norma (SCU norma)	0,250
Carga devida ao vento (VX+)	Valores obtidos no Capítulo 9
Carga devida ao vento (VX-)	Valores obtidos no Capítulo 9
Carga devida ao vento (VY+)	Valores obtidos no Capítulo 9
Carga devida ao vento (VY-)	Valores obtidos no Capítulo 9

Após as especificações e cargas incluídas no software lançamos a estrutura para a verificação.

Figura 16. Estrutura.



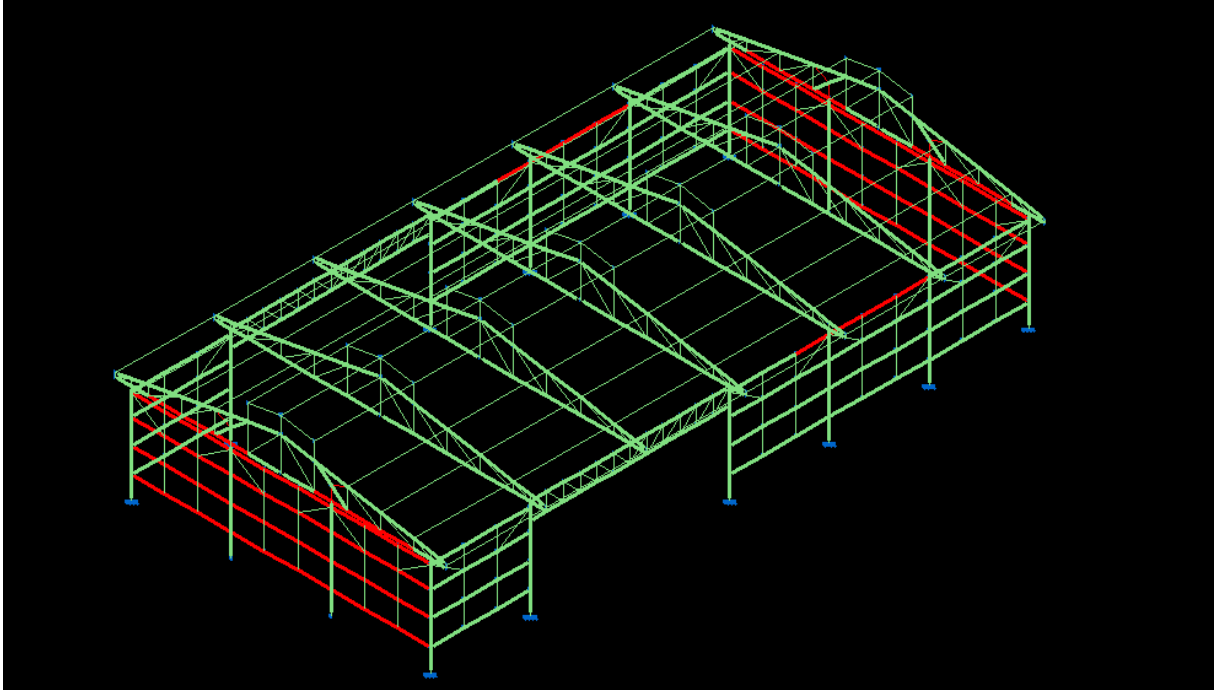
Fonte: Autoria própria.

O programa utiliza as especificações das normas escolhidas para o cálculo, sendo assim o software consegue identificar quaisquer erros ocorrendo na estrutura,



e quando houver erro emite uma mensagem e mostra onde está ocorrendo o erro na estrutura.

**Figura 17. Exemplo de erro em estrutura.**



Fonte: Autoria Própria.

O software contém uma ferramenta que, de acordo com os padrões da norma, escolhe o melhor perfil para a estrutura, auxiliando no tempo do cálculo, custo, peso da estrutura, etc.

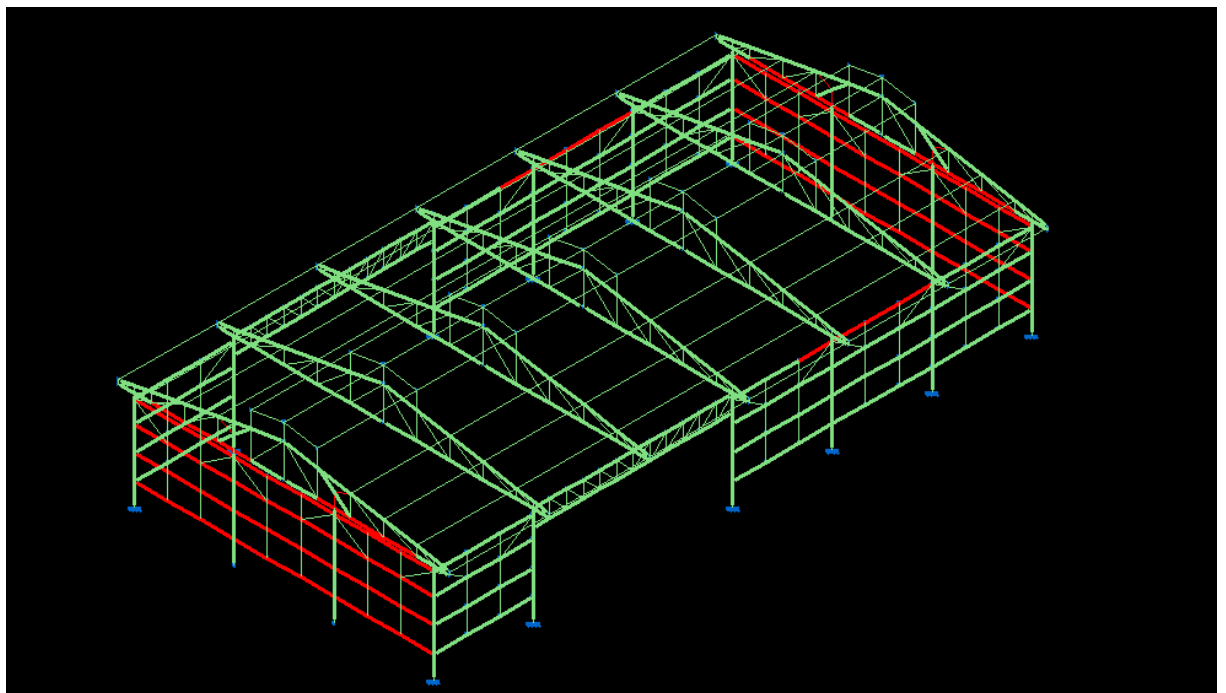
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Discussão

No início do projeto houveram algumas dificuldades em relação aos resultados do cálculo da estrutura, ocorrendo diversos erros que impossibilitavam tornar a edificação uma estrutura segura para a construção, tendo como principal motivo para a ocorrência dos erros a falta de experiência em dimensionamento. Mesmo o software facilitando a vida do engenheiro ainda há a necessidade de experiência e entendimento do dimensionamento. O processo de correção dos erros foi de total importância, pois tornaram o projeto melhor e o aprendizado mais rico.

Alguns dentre os erros ocorridos na estrutura estava os limites de flecha e esbeltez ultrapassados, sendo impossível a construção de uma edificação com erros graves como esse.

Figura 18. Estrutura com resistência e flechas com limites ultrapassados

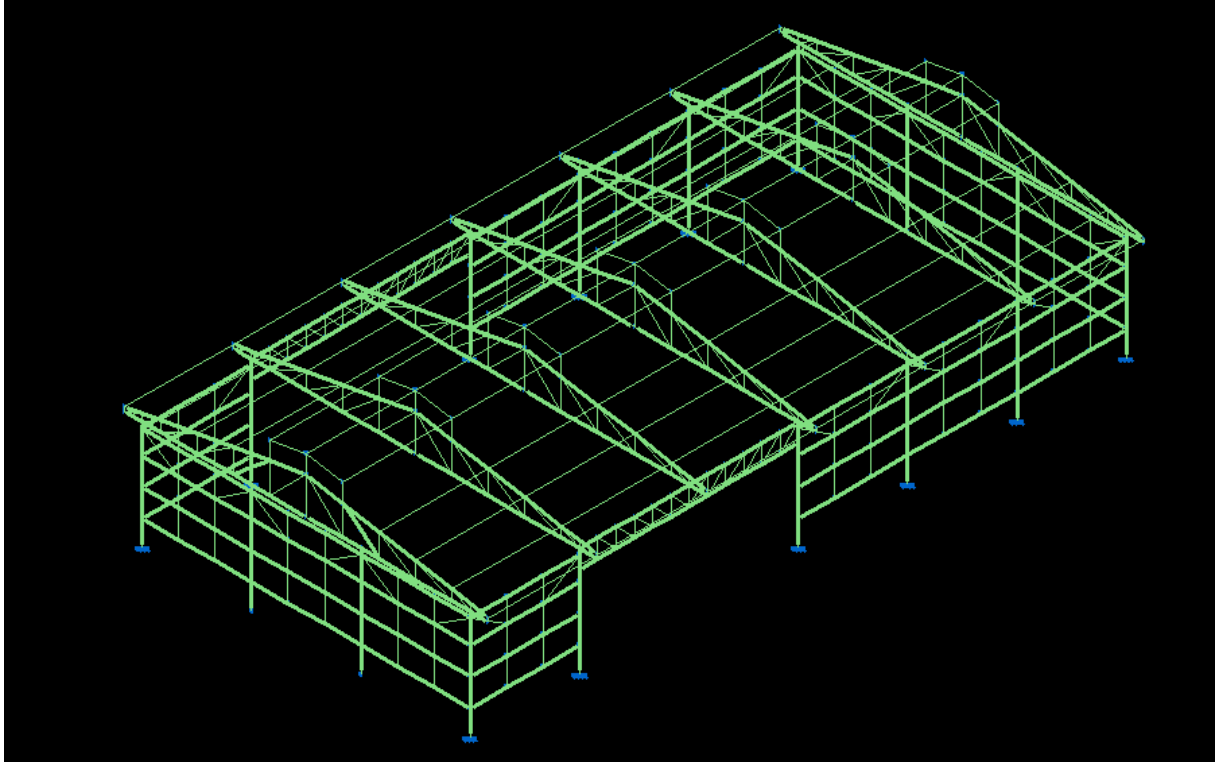


### 6.2. Resultados

Após a correção dos erros conseguimos obter resultados satisfatórios, a estrutura obedece a todas as normas e nos demonstra que está apta para ser construída.

Como resultado do cálculo da estrutura o software gera tabelas várias tabelas para demonstrar deslocamentos, resumo de todos os perfis utilizados, E.L.U., essas tabelas estão anexadas para a visualização.

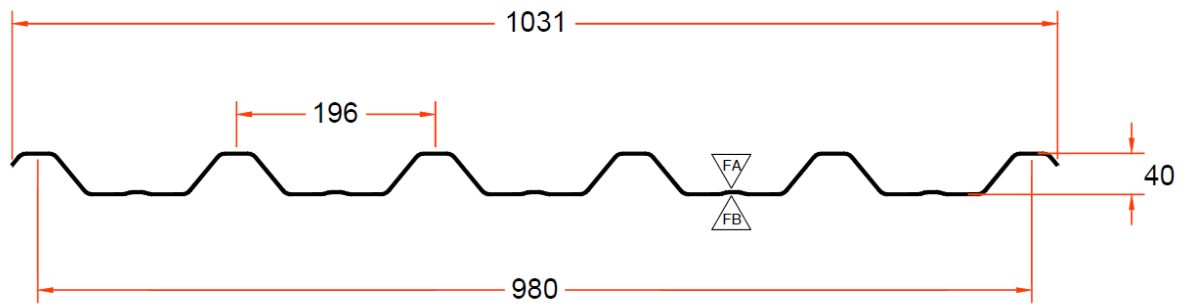
Figura 19. Estrutura com o dimensionamento correto.



Fonte: Autoria própria.

A estrutura metálica, diferente da alvenaria, é cotada por kg, sendo o preço médio do mercado hoje em torno de 10,00 reais o Kg de aço. Utilizando a tabela de resumo anexada, tabela 12, verificamos que o peso da estrutura é de 9008,89 Kg de aço laminado e de 19692,45 Kg de aço dobrado, dando um peso total de 28701,34 Kg. Esse peso calculado com o valor atual do Kg de aço ficará em um total de **R\$ 287.013,40**.

Para o telhado e o fechamento lateral do galpão foi escolhida a telha LR40 da Pefilor.

**Figura 20. Dimensões da telha.**

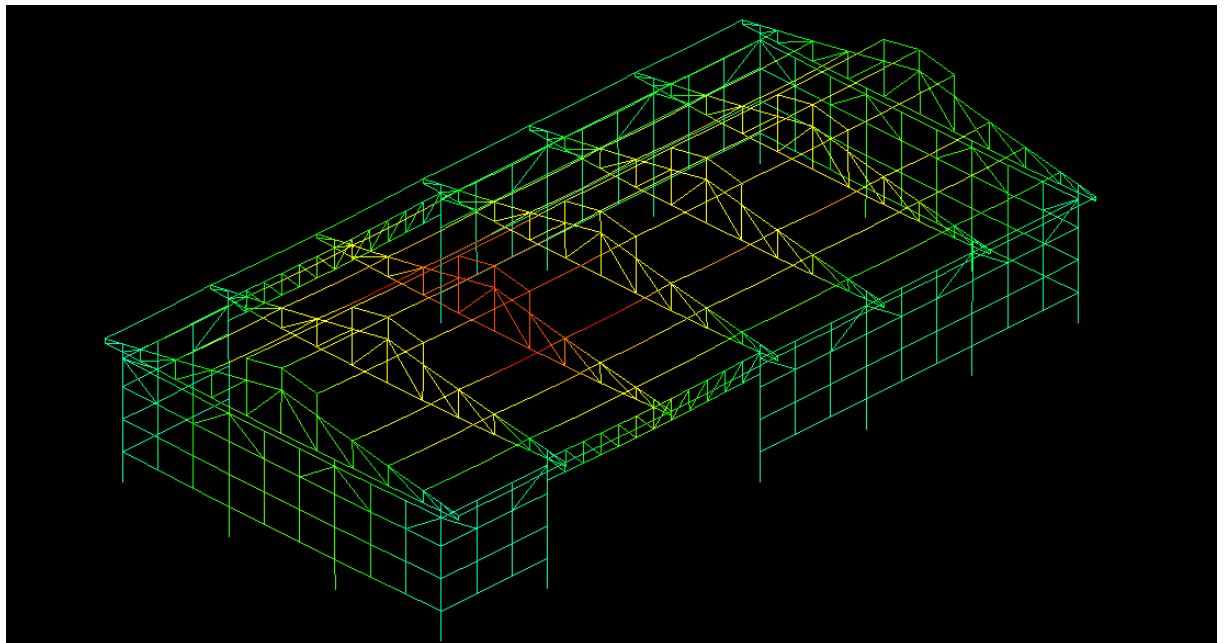
Fonte: Catálogo Pefilor.

## 7. CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto foi elaborado como proposto, utilizando as recomendações e restrições da norma de forma a instruir sobre a análise dos elementos estruturais da construção proposta, foi pensado e analisado perfis para o elemento mais crítico seguindo também a recomendação sobre a análise das deformações efetivas como critério de aceitação dos perfis adotados.

Foi orientado que para a escolha final do perfil deve ser feita com base nos cálculos e especificações que considerem não somente as análises dos elementos estruturais adotados, assim como a consideração sobre os esforços gerados por análises de combinações de esforços, considerando a situação mais crítica para a construção a partir de métodos especificados na ABNT NBR 8800:2008.

**Figura 21. Demonstração dos deslocamentos na estrutura.**



Fonte: Autoria própria.

## ANEXOS

### ÍNDICE

#### 1.- DADOS DE OBRA

##### 1.1.- Normas consideradas

##### 1.2.- Estados limites

##### 1.2.1.- Combinações

#### 2.- ESTRUTURA

##### 2.1.- Geometria

##### 2.1.1.- Barras

##### 2.2.- Resultados

##### 2.2.1.- Nós

#### 1.- DADOS DE OBRA

##### 1.1.- NORMAS CONSIDERADAS

Aço dobrado: ABNT NBR 14762: 2010

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2008

**Categoria de uso:** Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público

##### 1.2.- ESTADOS LIMITES

E.L.U. Aço dobrado	NBR 14762: 2010
E.L.U. Aço laminado	NBR 8800: 2008
Deslocamentos	Ações características

##### 1.2.1.- Combinações

##### ■ Nomes das ações

PP            Peso próprio

Telha      Telha  
 Utilidades Utilidades  
 SCU norma SCU norma  
 VX+        VX+  
 VX-        VX-  
 VY+        VY+  
 VY-        VY-

■ **E.L.U. Aço dobrado**

**Tabela 8. E.L.U. aço dobrado.**

Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
1	1.000	1.000	1.000					
2	1.250	1.000	1.000					
3	1.000	1.250	1.000					
4	1.250	1.250	1.000					
5	1.000	1.000	1.250					
6	1.250	1.000	1.250					
7	1.000	1.250	1.250					
8	1.250	1.250	1.250					
9	1.000	1.000	1.000	1.500				
10	1.250	1.000	1.000	1.500				
11	1.000	1.250	1.000	1.500				
12	1.250	1.250	1.000	1.500				
13	1.000	1.000	1.250	1.500				
14	1.250	1.000	1.250	1.500				
15	1.000	1.250	1.250	1.500				
16	1.250	1.250	1.250	1.500				
17	1.000	1.000	1.000		1.400			
18	1.250	1.000	1.000		1.400			
19	1.000	1.250	1.000		1.400			
20	1.250	1.250	1.000		1.400			
21	1.000	1.000	1.250		1.400			
22	1.250	1.000	1.250		1.400			
23	1.000	1.250	1.250		1.400			
24	1.250	1.250	1.250		1.400			
25	1.000	1.000	1.000	1.050	1.400			
26	1.250	1.000	1.000	1.050	1.400			
27	1.000	1.250	1.000	1.050	1.400			
28	1.250	1.250	1.000	1.050	1.400			
29	1.000	1.000	1.250	1.050	1.400			
30	1.250	1.000	1.250	1.050	1.400			
31	1.000	1.250	1.250	1.050	1.400			
32	1.250	1.250	1.250	1.050	1.400			
33	1.000	1.000	1.000	1.500	0.840			
34	1.250	1.000	1.000	1.500	0.840			
35	1.000	1.250	1.000	1.500	0.840			
36	1.250	1.250	1.000	1.500	0.840			

Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
37	1.000	1.000	1.250	1.500	0.840			
38	1.250	1.000	1.250	1.500	0.840			
39	1.000	1.250	1.250	1.500	0.840			
40	1.250	1.250	1.250	1.500	0.840			
41	1.000	1.000	1.000			1.400		
42	1.250	1.000	1.000			1.400		
43	1.000	1.250	1.000			1.400		
44	1.250	1.250	1.000			1.400		
45	1.000	1.000	1.250			1.400		
46	1.250	1.000	1.250			1.400		
47	1.000	1.250	1.250			1.400		
48	1.250	1.250	1.250			1.400		
49	1.000	1.000	1.000	1.050		1.400		
50	1.250	1.000	1.000	1.050		1.400		
51	1.000	1.250	1.000	1.050		1.400		
52	1.250	1.250	1.000	1.050		1.400		
53	1.000	1.000	1.250	1.050		1.400		
54	1.250	1.000	1.250	1.050		1.400		
55	1.000	1.250	1.250	1.050		1.400		
56	1.250	1.250	1.250	1.050		1.400		
57	1.000	1.000	1.000	1.500		0.840		
58	1.250	1.000	1.000	1.500		0.840		
59	1.000	1.250	1.000	1.500		0.840		
60	1.250	1.250	1.000	1.500		0.840		
61	1.000	1.000	1.250	1.500		0.840		
62	1.250	1.000	1.250	1.500		0.840		
63	1.000	1.250	1.250	1.500		0.840		
64	1.250	1.250	1.250	1.500		0.840		
65	1.000	1.000	1.000				1.400	
66	1.250	1.000	1.000				1.400	
67	1.000	1.250	1.000				1.400	
68	1.250	1.250	1.000				1.400	
69	1.000	1.000	1.250				1.400	
70	1.250	1.000	1.250				1.400	
71	1.000	1.250	1.250				1.400	
72	1.250	1.250	1.250				1.400	
73	1.000	1.000	1.000	1.050			1.400	
74	1.250	1.000	1.000	1.050			1.400	
75	1.000	1.250	1.000	1.050			1.400	
76	1.250	1.250	1.000	1.050			1.400	
77	1.000	1.000	1.250	1.050			1.400	
78	1.250	1.000	1.250	1.050			1.400	
79	1.000	1.250	1.250	1.050			1.400	
80	1.250	1.250	1.250	1.050			1.400	
81	1.000	1.000	1.000	1.500			0.840	
82	1.250	1.000	1.000	1.500			0.840	
83	1.000	1.250	1.000	1.500			0.840	
84	1.250	1.250	1.000	1.500			0.840	



Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
85	1.000	1.000	1.250	1.500			0.840	
86	1.250	1.000	1.250	1.500			0.840	
87	1.000	1.250	1.250	1.500			0.840	
88	1.250	1.250	1.250	1.500			0.840	
89	1.000	1.000	1.000					1.400
90	1.250	1.000	1.000					1.400
91	1.000	1.250	1.000					1.400
92	1.250	1.250	1.000					1.400
93	1.000	1.000	1.250					1.400
94	1.250	1.000	1.250					1.400
95	1.000	1.250	1.250					1.400
96	1.250	1.250	1.250					1.400
97	1.000	1.000	1.000	1.050				1.400
98	1.250	1.000	1.000	1.050				1.400
99	1.000	1.250	1.000	1.050				1.400
100	1.250	1.250	1.000	1.050				1.400
101	1.000	1.000	1.250	1.050				1.400
102	1.250	1.000	1.250	1.050				1.400
103	1.000	1.250	1.250	1.050				1.400
104	1.250	1.250	1.250	1.050				1.400
105	1.000	1.000	1.000	1.500				0.840
106	1.250	1.000	1.000	1.500				0.840
107	1.000	1.250	1.000	1.500				0.840
108	1.250	1.250	1.000	1.500				0.840
109	1.000	1.000	1.250	1.500				0.840
110	1.250	1.000	1.250	1.500				0.840
111	1.000	1.250	1.250	1.500				0.840
112	1.250	1.250	1.250	1.500				0.840

## ■ E.L.U. Aço laminado

Tabela 9. E.L.U. aço laminado.

Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
1	1.000	1.000	1.000					
2	1.500	1.000	1.000					
3	1.000	1.500	1.000					
4	1.500	1.500	1.000					
5	1.000	1.000	1.500					
6	1.500	1.000	1.500					
7	1.000	1.500	1.500					
8	1.500	1.500	1.500					
9	1.000	1.000	1.000	1.500				
10	1.500	1.000	1.000	1.500				
11	1.000	1.500	1.000	1.500				
12	1.500	1.500	1.000	1.500				
13	1.000	1.000	1.500	1.500				
14	1.500	1.000	1.500	1.500				
15	1.000	1.500	1.500	1.500				

Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
16	1.500	1.500	1.500	1.500				
17	1.000	1.000	1.000		1.400			
18	1.500	1.000	1.000		1.400			
19	1.000	1.500	1.000		1.400			
20	1.500	1.500	1.000		1.400			
21	1.000	1.000	1.500		1.400			
22	1.500	1.000	1.500		1.400			
23	1.000	1.500	1.500		1.400			
24	1.500	1.500	1.500		1.400			
25	1.000	1.000	1.000	1.050	1.400			
26	1.500	1.000	1.000	1.050	1.400			
27	1.000	1.500	1.000	1.050	1.400			
28	1.500	1.500	1.000	1.050	1.400			
29	1.000	1.000	1.500	1.050	1.400			
30	1.500	1.000	1.500	1.050	1.400			
31	1.000	1.500	1.500	1.050	1.400			
32	1.500	1.500	1.500	1.050	1.400			
33	1.000	1.000	1.000	1.500	0.840			
34	1.500	1.000	1.000	1.500	0.840			
35	1.000	1.500	1.000	1.500	0.840			
36	1.500	1.500	1.000	1.500	0.840			
37	1.000	1.000	1.500	1.500	0.840			
38	1.500	1.000	1.500	1.500	0.840			
39	1.000	1.500	1.500	1.500	0.840			
40	1.500	1.500	1.500	1.500	0.840			
41	1.000	1.000	1.000			1.400		
42	1.500	1.000	1.000			1.400		
43	1.000	1.500	1.000			1.400		
44	1.500	1.500	1.000			1.400		
45	1.000	1.000	1.500			1.400		
46	1.500	1.000	1.500			1.400		
47	1.000	1.500	1.500			1.400		
48	1.500	1.500	1.500			1.400		
49	1.000	1.000	1.000	1.050		1.400		
50	1.500	1.000	1.000	1.050		1.400		
51	1.000	1.500	1.000	1.050		1.400		
52	1.500	1.500	1.000	1.050		1.400		
53	1.000	1.000	1.500	1.050		1.400		
54	1.500	1.000	1.500	1.050		1.400		
55	1.000	1.500	1.500	1.050		1.400		
56	1.500	1.500	1.500	1.050		1.400		
57	1.000	1.000	1.000	1.500		0.840		
58	1.500	1.000	1.000	1.500		0.840		
59	1.000	1.500	1.000	1.500		0.840		
60	1.500	1.500	1.000	1.500		0.840		
61	1.000	1.000	1.500	1.500		0.840		
62	1.500	1.000	1.500	1.500		0.840		
63	1.000	1.500	1.500	1.500		0.840		

Comb.	PP	Telha	Utilidades	SCU norma	VX+	VX-	VY+	VY-
64	1.500	1.500	1.500	1.500		0.840		
65	1.000	1.000	1.000				1.400	
66	1.500	1.000	1.000				1.400	
67	1.000	1.500	1.000				1.400	
68	1.500	1.500	1.000				1.400	
69	1.000	1.000	1.500				1.400	
70	1.500	1.000	1.500				1.400	
71	1.000	1.500	1.500				1.400	
72	1.500	1.500	1.500				1.400	
73	1.000	1.000	1.000	1.050			1.400	
74	1.500	1.000	1.000	1.050			1.400	
75	1.000	1.500	1.000	1.050			1.400	
76	1.500	1.500	1.000	1.050			1.400	
77	1.000	1.000	1.500	1.050			1.400	
78	1.500	1.000	1.500	1.050			1.400	
79	1.000	1.500	1.500	1.050			1.400	
80	1.500	1.500	1.500	1.050			1.400	
81	1.000	1.000	1.000	1.500			0.840	
82	1.500	1.000	1.000	1.500			0.840	
83	1.000	1.500	1.000	1.500			0.840	
84	1.500	1.500	1.000	1.500			0.840	
85	1.000	1.000	1.500	1.500			0.840	
86	1.500	1.000	1.500	1.500			0.840	
87	1.000	1.500	1.500	1.500			0.840	
88	1.500	1.500	1.500	1.500			0.840	
89	1.000	1.000	1.000					1.400
90	1.500	1.000	1.000					1.400
91	1.000	1.500	1.000					1.400
92	1.500	1.500	1.000					1.400
93	1.000	1.000	1.500					1.400
94	1.500	1.000	1.500					1.400
95	1.000	1.500	1.500					1.400
96	1.500	1.500	1.500					1.400
97	1.000	1.000	1.000	1.050				1.400
98	1.500	1.000	1.000	1.050				1.400
99	1.000	1.500	1.000	1.050				1.400
100	1.500	1.500	1.000	1.050				1.400
101	1.000	1.000	1.500	1.050				1.400
102	1.500	1.000	1.500	1.050				1.400
103	1.000	1.500	1.500	1.050				1.400
104	1.500	1.500	1.500	1.050				1.400
105	1.000	1.000	1.000	1.500				0.840
106	1.500	1.000	1.000	1.500				0.840
107	1.000	1.500	1.000	1.500				0.840
108	1.500	1.500	1.000	1.500				0.840
109	1.000	1.000	1.500	1.500				0.840
110	1.500	1.000	1.500	1.500				0.840
111	1.000	1.500	1.500	1.500				0.840



Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço dobra do	AISI-SAE 1020 hardened	U ENRIJ	C250X85X25X3.75	445.45 0	883.3 91	329.1 90	0.744	2.230	0.279	17503.0 4	2189.41	
			C150X60X20X1.9, Caixa dupla soldada	24.000		0.027			212.91			
			C127X50X17X1.52, Caixa dupla soldada	12.000		0.009			71.85			
			C75X40X15X2.00, Caixa dupla soldada	65.941		0.045			355.57			
			C300X85X25X4.25, Caixa dupla soldada	336.00 0		1.405			11025.9 2			
					883.3 91			2.230		17503.0 4		
						1212. 582			2.509		19692.4 5	

## 2.2.- Resultados

### 2.2.1.- Nós

#### 2.2.1.1.- Reações

Referências:

Rx, Ry, Rz: Reações em nós com deslocamentos restringidos (forças).

Mx, My, Mz: Reações em nós com rotações restringidas (momentos).

#### 2.2.1.1.1.- Hipótese

Tabela 12. Reações nos nós.

Reações nos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
N1	Peso próprio	1.240	0.553	26.392	-0.35	0.55	0.00
	Telha	0.494	0.283	9.196	-0.19	0.22	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.148	0.367	5.956	-0.34	0.07	0.00
	VX+	-11.378	-1.047	-18.033	0.90	-14.25	0.01
	VX-	10.855	-0.638	-9.198	0.64	14.08	-0.02
	VY+	-0.519	-15.049	-19.812	16.14	0.31	-0.12

Reações nos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
	VY-	0.638	20.972	-6.473	-21.12	-0.02	0.23
N16	Peso próprio	-1.251	0.564	26.419	-0.36	-0.37	0.00
	Telha	-0.498	0.290	9.253	-0.20	-0.14	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.150	0.383	5.950	-0.36	-0.03	0.00
	VX+	-10.890	-0.668	-9.193	0.68	-14.21	0.02
	VX-	11.420	-1.092	-18.013	0.96	14.18	-0.01
	VY+	1.797	-15.075	-19.130	16.21	1.87	0.11
	VY-	-1.959	21.011	-7.069	-21.20	-2.42	-0.23
N29	Peso próprio	0.149	-0.063	23.538	-0.07	0.67	0.00
	Telha	0.093	-0.004	11.512	-0.06	0.43	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.212	0.389	24.400	-0.35	1.03	0.00
	VX+	-6.253	-1.113	-68.303	0.93	-10.98	-0.02
	VX-	7.029	-0.659	-43.329	0.66	8.63	0.03
	VY+	7.247	-14.075	-46.694	15.56	10.54	0.05
	VY-	-14.867	18.787	-51.406	-19.84	-23.63	-0.10
N44	Peso próprio	-0.138	-0.051	23.507	-0.08	-0.59	0.00
	telha	-0.089	0.003	11.517	-0.07	-0.40	0.00
	utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.210	0.407	24.414	-0.37	-1.02	0.00
	VX+	-7.030	-0.686	-43.352	0.69	-8.66	-0.03
	VX-	6.248	-1.166	-68.343	0.99	10.95	0.02
	VY+	-5.922	-14.092	-40.231	15.62	-4.20	-0.05
	VY-	13.584	18.816	-57.965	-19.92	17.42	0.10
N83	Peso próprio	0.099	0.166	23.126	-0.04	0.60	0.00
	Telha	0.067	0.067	11.316	-0.01	0.40	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.167	-0.216	24.116	0.17	1.01	0.00
	VX+	-6.987	0.868	-67.135	-0.79	-20.05	0.02
	VX-	7.789	0.118	-43.177	0.00	17.69	-0.03
	VY+	0.422	-12.277	-58.761	13.93	3.14	0.00
	VY-	-1.210	10.532	-39.138	-12.28	-7.28	0.00
N98	Peso próprio	-0.099	0.162	23.092	-0.03	-0.60	0.00
	Telha	-0.067	0.064	11.319	0.00	-0.40	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.167	-0.225	24.123	0.18	-1.01	0.00
	VX+	-7.789	0.132	-43.189	-0.02	-17.69	0.03
	VX-	6.987	0.892	-67.154	-0.82	20.05	-0.02
	VY+	1.566	-12.374	-52.582	14.03	7.55	0.00
	VY-	-0.778	10.696	-45.288	-12.46	-3.42	0.00
N111	Peso próprio	0.120	-0.117	20.024	0.09	0.62	0.00
	Telha	0.084	-0.070	9.312	0.06	0.42	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.212	-0.203	14.647	0.17	1.07	0.00
	VX+	-18.572	0.892	-40.830	-0.80	-43.07	0.00

Reações nos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)
	VX-	21.696	0.033	-26.174	0.04	43.69	0.00
	VY+	3.256	-15.619	-31.856	15.57	4.83	-0.01
	VY-	-2.606	13.300	-28.488	-13.61	-7.55	0.00
N126	Peso próprio	-0.120	-0.122	20.020	0.10	-0.62	0.00
	Telha	-0.084	-0.073	9.309	0.06	-0.42	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.212	-0.212	14.639	0.18	-1.07	0.00
	VX+	-21.696	0.048	-26.161	0.02	-43.69	0.00
	VX-	18.572	0.917	-40.807	-0.83	43.08	0.00
	VY+	-1.949	-15.730	-27.994	15.68	2.86	0.01
	VY-	1.300	13.492	-32.336	-13.80	-0.13	-0.01
N139	Peso próprio	0.098	-0.108	20.417	0.09	0.54	0.00
	Telha	0.057	-0.066	9.492	0.06	0.35	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.121	-0.183	14.938	0.16	0.85	0.00
	VX+	-16.654	0.840	-41.678	-0.78	-37.47	0.00
	VX-	19.932	-0.004	-26.673	0.06	38.67	0.00
	VY+	-19.416	-16.402	-32.099	16.18	-24.64	0.05
	VY-	9.320	13.645	-28.449	-13.90	8.93	-0.03
N154	Peso próprio	-0.098	-0.113	20.416	0.10	-0.54	0.00
	Telha	-0.057	-0.069	9.491	0.06	-0.35	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.121	-0.192	14.935	0.17	-0.85	0.00
	VX+	-19.932	0.010	-26.668	0.04	-38.67	0.00
	VX-	16.655	0.865	-41.670	-0.81	37.47	0.00
	VY+	20.097	-16.510	-28.184	16.28	28.96	-0.05
	VY-	-9.998	13.834	-32.357	-14.09	-13.24	0.03
N167	Peso próprio	1.267	-0.434	27.304	0.24	0.47	0.00
	Telha	0.502	-0.212	9.705	0.12	0.19	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	0.161	-0.154	7.387	0.15	0.06	0.00
	VX+	-12.742	0.750	-23.929	-0.75	-17.58	-0.02
	VX-	12.082	-0.038	-9.848	0.07	17.44	0.02
	VY+	2.324	-15.882	-9.170	16.33	2.55	-0.21
	VY-	-2.010	12.169	-22.050	-13.41	-1.99	0.11
N182	Peso próprio	-1.267	-0.437	27.305	0.25	-0.47	0.00
	Telha	-0.502	-0.214	9.705	0.13	-0.19	0.00
	Utilidades	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	SCU norma	-0.161	-0.161	7.388	0.15	-0.06	0.00
	VX+	-12.083	-0.026	-9.850	0.06	-17.44	-0.02
	VX-	12.741	0.770	-23.934	-0.77	17.58	0.02
	VY+	-1.128	-15.962	-7.888	16.42	-0.49	0.21
	VY-	0.810	12.313	-23.383	-13.59	-0.08	-0.11

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PFEIL, W. e PFEIL, M. *ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO PRÁTICO*. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LCT, 2009;

BELLEI, I. *EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS EM AÇO – PROJETO E CÁLCULO*. 6ª edição. São Paulo: PINI, 2010.

ABRECON, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. Disponível em: <<http://abrecon.org.br/>>

PINHEIRO, A. C. *ESTRUTURAS METÁLICAS – CÁLCULOS, DETALHES, EXERCÍCIO E PROJETOS*. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2005.

CHAMBERLAIN, Z. e FICANHA, R. e FABEANE, R. *PROJETO E CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE AÇO – EDIFÍCIO INDUSTRIAL DETALHADO*.