



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ GUILHERME MOTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA  
ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E METÁLICA: ESTUDO DE CASO NA  
CIDADE DE PALMAS/TO**

Palmas – TO  
2020

**ANDRÉ GUILHERME MOTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA  
ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E METÁLICA: ESTUDO DE CASO NA  
CIDADE DE PALMAS/TO**

Monografia apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo

Palmas – TO  
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

M917a Mota, André Guilherme.  
ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA  
ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E METÁLICA ESTUDO DE CASO  
NA CIDADE DE PALMAS/TO. / André Guilherme Mota. – Palmas, TO, 2020.  
76 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2020.

Orientadora : Orieta Soto Izquierdo

1. Estrutura. 2. Concreto Armado. 3. Estrutura Metálica. 4. Custo. I. Título

**CDD 624**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

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

**ANDRÉ GUILHERME MOTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA  
ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E METÁLICA: ESTUDO DE CASO  
NA CIDADE DE PALMAS/TO**

Monografia apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação 25 / 11 / 2020

Banca examinadora:



Prof.ª Dr.ª Orieta Soto Izquierdo  
Matrícula: 220040  
Eng. Civil / UFT

---

Prof.ª Dr.ª Orieta Soto Izquierdo



---

Prof.ª Msc. Rafael Alves Amorim



---

Prof.ª Msc. Daniel Iglesias de Carvalho

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte de Coalbrookdale .....	12
Figura 2 - Edifício Casa do Comércio da Bahia em Salvador.....	13
Figura 3 - Diagrama tensão-deformação em aços dúcteis.....	15
Figura 4 - Perfis laminados de padrão americano .....	17
Figura 5 - Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu.....	17
Figura 6 - Perfis de chama dobrada .....	17
Figura 7 - Perfis soldados compostos de chapas ou de perfis laminados .....	18
Figura 8 - Ligação parafusada .....	19
Figura 9 - Ligação Soldada.....	19
Figura 10 - História do concreto.....	21
Figura 11 - Isopletas da velocidade básica (m/s) NBR 6123:1988 .....	24
Figura 12 - Componentes estruturais típicos de um edifício .....	27
Figura 13 - Sistema de edifícios com vigas em balanço .....	28
Figura 14 - Sistema de edifícios com vigas em balanço .....	29
Figura 15 - Tipos de pilares em um edifício.....	30
Figura 16 - História do SINAPI.....	31
Figura 17 - Fluxograma das atividades a serem desenvolvidas.....	34
Figura 18 - Planta baixa térrea.....	36
Figura 19 - Planta baixa dos pavimentos tipo .....	37
Figura 20 - Estrutura em concreto armado .....	38
Figura 21 - Estrutura metálica dimensionada .....	39
Figura 22 - Escadas do projeto .....	40
Figura 23 - Primeira concepção.....	41
Figura 24 - Reações de apoio nas escadas .....	45
Figura 25 - Quadro resumo da primeira opção.....	48
Figura 26 – Quadro resumo da segunda opção .....	49
Figura 27 – Divisão de custos no concreto armado.....	51
Figura 28 - Divisão de custos na estrutura metálica.....	52
Figura 29 – Comparação de custos.....	53
Figura 30 - Comparação de massa entre as estruturas.....	55
Figura 31 - Comparação de consumo de aço.....	56

Figura 32 - Comparação do consumo de concreto .....	57
Figura 33 - Comparação das áreas de formas.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade Mecânicas do Aço-carbono.....	14
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Aços de Baixa Liga .....	14
Tabela 3 - Pesos específicos da NBR 6120:2019 .....	23
Tabela 4 - Cargas acidentais da NBR 6120:2019.....	23
Tabela 5 - Deslocamento máximo para edifícios .....	26
Tabela 6 - Carga de vento.....	42
Tabela 7 - Cargas da norma NBR 6120:2019 .....	42
Tabela 8 - Carga dos componentes das lajes .....	43
Tabela 9 - Resumo de materiais das fundações.....	49
Tabela 10 - Aço das escadas.....	50
Tabela 11 - Comparação das fundações .....	56

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Problema de pesquisa.....</b>	<b>9</b>
1.1.1. <i>Delimitação de escopo.....</i>	9
<b>1.2. Hipóteses.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>9</b>
1.3.1. <i>Objetivo geral .....</i>	9
1.3.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	9
<b>1.4. Justificativas.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Aço .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. <i>Histórico .....</i>	11
2.1.2. <i>Tipos de aço estruturais.....</i>	13
2.1.3. <i>Propriedades mecânicas do aço .....</i>	14
2.1.3.1 <i>Ductilidade.....</i>	15
2.1.3.2 <i>Fragilidade.....</i>	15
2.1.3.3 <i>Resiliência e Tenacidade.....</i>	16
2.1.3.4 <i>Corrosão.....</i>	16
2.1.4. <i>Perfis metálicos.....</i>	16
2.1.4.1 <i>Perfis Laminados.....</i>	16
2.1.4.2 <i>Perfis de Chapa Dobrada .....</i>	17
2.1.4.1 <i>Perfis Soldados.....</i>	18
2.1.5. <i>Ligações de Peças Metálicas .....</i>	18
2.1.6. <i>Vantagens e desvantagens .....</i>	19
<b>2.2. Concreto armado .....</b>	<b>20</b>
2.2.1. <i>Histórico do concreto armado .....</i>	20
2.2.2. <i>Composição do concreto armado .....</i>	21
2.2.3. <i>Vantagens e desvantagens do concreto armado.....</i>	21
<b>2.3. Cargas e ações nas estruturas.....</b>	<b>22</b>
2.3.1. <i>Cargas permanentes .....</i>	22
2.3.2. <i>Cargas acidentais .....</i>	23
2.3.3. <i>Cargas devido ao vento .....</i>	24

2.3.4.	<i>Cargas excepcionais</i> .....	25
<b>2.4.</b>	<b>Estados limites</b> .....	<b>25</b>
2.4.1.	<i>ELU</i> .....	25
2.4.2.	<i>ELS</i> .....	25
<b>2.5.</b>	<b>Sistemas estruturais gerais</b> .....	<b>26</b>
2.5.1.	<i>Contraventamentos</i> .....	27
2.5.2.	<i>Vigas</i> .....	27
2.5.3.	<i>Lajes</i> .....	28
2.5.4.	<i>Pilares</i> .....	29
<b>2.6.</b>	<b>Software CYPE 3D</b> .....	<b>30</b>
<b>2.7.</b>	<b>Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)</b> .....	<b>31</b>
<b>2.8.</b>	<b>Trabalhos relacionados com o tema</b> .....	<b>32</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1.</b>	<b>Caracterização do edifício de estudo</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.</b>	<b>Concepção e dimensionamento da estrutura metálica</b> .....	<b>38</b>
3.2.1.	<i>Dimensionamento no CYPE 3D</i> .....	39
3.2.2.	<i>Levantamento de dados</i> .....	40
3.2.3.	<i>Carga de vento</i> .....	41
3.2.4.	<i>Carga de uso e cargas permanentes</i> .....	42
3.2.5.	<i>Definição e carga das lajes</i> .....	43
3.2.6.	<i>Cálculo da estrutura</i> .....	44
3.2.7.	<i>Cálculo das escadas</i> .....	44
<b>3.3.</b>	<b>Análise dos resultados</b> .....	<b>45</b>
<b>3.4.</b>	<b>Comparação dos sistemas estruturais</b> .....	<b>46</b>
3.4.1.	<i>Custos da estrutura de concreto armado</i> .....	46
3.4.2.	<i>Custos da estrutura metálica</i> .....	47
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1.</b>	<b>Cálculo da estrutura</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.</b>	<b>Levantamento de custo</b> .....	<b>50</b>
4.2.1.	<i>Custos da estrutura de concreto armado</i> .....	50
4.2.2.	<i>Custos da estrutura metálica</i> .....	51
<b>4.3.</b>	<b>Comparação entre os sistemas estruturais</b> .....	<b>52</b>
4.3.1.	<i>Comparação de custos</i> .....	52

4.3.2. <i>Comparação entre os elementos de fundações</i> .....	54
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>
<b>APÊNDICE A: LEVANTAMENTO DE CUSTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO</b> .....	<b>64</b>
<b>APÊNDICE B: LEVANTAMENTO DE CUSTO DA ESTRUTURA METÁLICA</b> .....	<b>67</b>
<b>APÊNDICE C: LOCAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA.</b> .....	<b>69</b>
<b>APÊNDICE D: FORMA DO TÉRREO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO</b> .....	<b>71</b>
<b>APÊNDICE E: CATÁLOGO DA EMPRESA GERDAU</b> .....	<b>73</b>
<b>APÊNDICE F: CATÁLOGO DA EMPRESA METFORM S. A.</b> .....	<b>75</b>

## RESUMO

Constantemente há avanços na tecnologia, e com isso, diversos segmentos do mercado industrial são beneficiados. Nesse contexto, uma área que obtém influência é a da construção civil. Novidades em tecnologias que podem ser aplicadas, materiais inovadores, ferramentas cada vez mais úteis, tudo influencia diretamente na construção civil atualmente. Essa gama de possibilidade de atuação, levanta o questionamento a respeito da eficiência e eficácia dessas variabilidades tecnológicas no âmbito da engenharia e é neste contexto que este trabalho se apoia. A presente pesquisa propôs uma comparação de custos de materiais considerando dois sistemas construtivos distintos (estrutura em concreto armado e estrutura metálica), em que se tem como base de estudo um edifício localizado na cidade de Palmas/TO. Partindo de uma estrutura já existente em concreto armado, com a finalidade de propor uma estrutura metálica, foi utilizado o *software* CYPE 3D, além de catálogos de empresas que atuam no fornecimento dos materiais necessários. Para o levantamento de custos, considerou-se as composições e insumos do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) além de levantamento no mercado. Nesse contexto contatou-se que os custos da estrutura metálica foram superiores em aproximadamente 61% em relação aos custos do concreto armado, pois a precisão de produção das peças metálicas, associadas a agilidade de construção e da mão de obra especializada podem influenciar diretamente no custo da obra.

Palavras-chave: Estrutura. Concreto armado. Estrutura Metálica. Custo. Peso da Estrutura.

## ABSTRACT

There are constantly advances in technology, and with that, several segments of the industrial market are benefited. In this context, one area that is gaining influence is that of civil construction. New technologies that can be applied, innovative materials, increasingly useful tools, all directly influence civil construction today. This range of action possibilities raises questions about the efficiency and effectiveness of these technological variability in the field of engineering and it is in this context that this work is supported. This research proposes a comparison of material costs considering two different construction systems (reinforced concrete structure and metallic structure), in which a building located in the city of Palmas / TO is based on the study. Starting from an existing structure in reinforced concrete, with the purpose of proposing a metallic structure, the CYPE 3D software was used, in addition to catalogs of companies that operate in the supply of the necessary materials. For the survey of costs, the compositions and inputs of the National System of Research on Costs and Indices of Civil Construction (SINAPI) were considered, in addition to surveying the market. In this context, it was found that the costs of the metallic structure were approximately 61% higher than the costs of reinforced concrete, since the precision of production of the metallic parts, associated with the agility of construction and the specialized labor directly influence the cost of the construction. constructions.

Keyword: Structure. Reinforced concrete. Metal structure. Cost. Structure Weight

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que historicamente apresenta uma crescente migração da população do meio rural para o meio urbano, e isto, juntamente com o crescente aumento da densidade populacional, induz que haja um constante processo de verticalização dos edifícios e aumento da urbanização. Diante disso, cria-se uma necessidade de sempre evoluir e aprimorar a infraestrutura das regiões de maiores tendências a serem habitadas, e, com isso, deve-se evoluir os sistemas construtivos e estruturais, conciliando a durabilidade, economia velocidade de construção e segurança, a fim de atender esta constante demanda (MARTINS, 1998).

A utilização do concreto armado permitiu a criação de estruturas cada vez maiores, e mais imponentes, com a ampliação da gama de possibilidades de atender às criações arquitetônicas. Segundo Ambrozewicz (2012), o concreto armado é o método estrutural mais utilizado no Brasil. Fica ainda mais evidente no que tange a obras de residências e de pequeno porte (BOTELHO et al., 2017). É um sistema composto por pilares, vigas e lajes que utiliza concreto e barras de aço em seu interior como armadura a fim de combater esforços de tração e dar maior sustentação a todas as cargas provenientes da estrutura para sua constante dissipação nas fundações.

O uso de estruturas metálicas na construção civil está ganhando cada vez mais espaço no cenário brasileiro, justificado por vários fatores, dentre eles, o tempo de execução, que costuma ser menor ao do concreto armado. Utilizar o aço juntamente com outros materiais, sendo ele concreto ou outros, torna-se uma alternativa ágil e inovadora, uma vez que sua execução é mais rápida, assim agiliza a etapa estrutural acelerando o cronograma geral da obra (BELLEI, PINHO, PINHO, 2008).

O estudo de diferentes tipos de materiais e de estruturas que possam ser empregados é de suma importância para a constante evolução da construção civil, e para isso, é necessária uma normatização para os métodos de utilização dos materiais propostos. A ABNT NBR 6118:2014 é a norma que regulamenta projetos de estrutura de concreto armado e protendido, já a ABNT NBR 8800:2008 regulamenta os projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Diante desse escopo, o presente trabalho busca verificar a viabilidade econômica na substituição de projeto de uma estrutura em concreto armado para uma estrutura metálica, analisando o custo de materiais.

## **1.1. Problema de pesquisa**

Um edifício, tendo a possibilidade de ter sua concepção estrutural projetada e executada em concreto armado ou estrutura em aço, analisando custos diretos de materiais e de mão de obra de implantação, obedecendo à mesma arquitetura, tende a ser mais barata na estrutura metálica?

### *1.1.1. Delimitação de escopo*

O presente trabalho busca analisar apenas o custo dos materiais envolvidos para a execução e implantação da estrutura, comparando assim as estruturas em concreto armado e em aço, analisando também a melhor concepção possível para a estrutura em aço.

## **1.2. Hipóteses**

- A execução de uma estrutura utilizando perfil metálico pode ser mais vantajosa que utilizando concreto armado, economicamente analisando.
- A carga que a estrutura gera nas fundações é menor em estrutura metálica do que em estrutura de concreto armado, assim tendo a possibilidade de economia nas fundações.

## **1.3. Objetivos**

### *1.3.1. Objetivo geral*

Este trabalho tem por objetivo geral comparar custo de implantação de uma estrutura de um edifício comercial na cidade de Palmas, utilizando perfis metálicos e concreto armado.

### *1.3.2. Objetivos específicos*

- Projetar e analisar os resultados do dimensionamento em estrutura metálica, do mesmo edifício, utilizando o *software* CYPE 3D;

- Fazer análise comparativa de custos, envolvendo todos os componentes estruturais com base nos resultados obtidos nos dimensionamentos realizados nos *softwares*, utilizando como referência, as tabelas de custos e composições SINAPI, e custo a mercado;
- Fazer análise comparativa da influência das estruturas nas fundações;
- Determinar, de acordo com os resultados obtidos, qual opção, dentre as estudadas, é a mais economicamente viável, para a edificação em questão.

#### **1.4. Justificativas**

Segundo Oliveira (2018), para que haja uma boa escolha de qual sistema estrutural deve ser empregado em uma obra, devem-se analisar alguns fatores, dentre eles as propriedades dos materiais utilizados, o método construtivo que envolve a utilização de determinado material, o prazo disponível para a conclusão da obra, as exigências do projeto arquitetônico e os custos. Afirma ainda que o resultado obtido em um estudo para verificar qual sistema estrutural é mais economicamente viável, nem sempre é mais vantajoso em todos os edifícios, assim deve-se sempre fazer uma análise comparando as possibilidades de sistemas que podem ser adotados.

Com a possibilidade de se escolher dentre mais de um sistema estrutural para ser implementado em um edifício, faz-se necessário um estudo, mesmo que preliminar, para que se escolha a alternativa mais viável. Seguindo este princípio definido, será comparado para um mesmo edifício um sistema composto por concreto armado, que já foi projetado e está em construção, com a alternativa de fazer o mesmo edifício, porém com o sistema estrutural sendo metálico.

Diante deste panorama, é importante ter conhecimento de qual dos sistemas estruturais e construtivos é mais econômico para esta edificação. Este trabalho vai contribuir para saber se utilizando outro sistema estrutural, não sendo o de concreto armado, como o de estrutura metálica, a edificação tem seu orçamento reduzido, com relação exclusiva ao custo de implantação da estrutura.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com o passar do tempo, novas tecnologias e novos conceitos de materiais construtivos vão sendo criados e aperfeiçoados com a finalidade de aumentar o desempenho de estruturas das edificações, diante disso, é de suma importância conhecer as características e propriedades dos elementos que serão usados e trabalhados, a fim de se ter grandes eficiência com sua utilização.

### 2.1. Aço

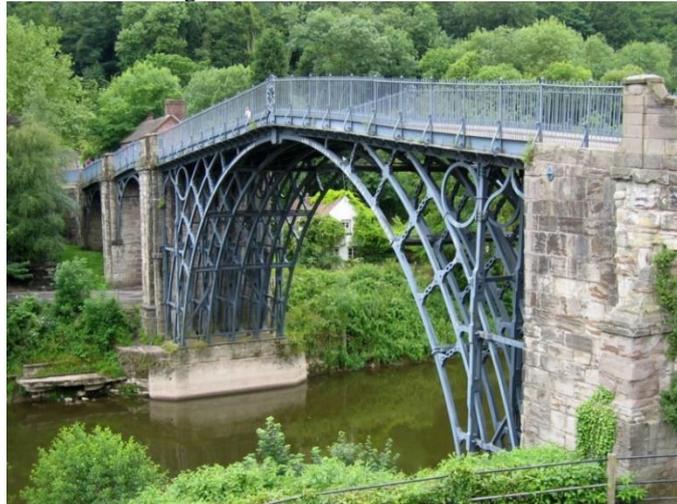
#### 2.1.1. Histórico

A definição do aço pode se dar como sendo uma liga metálica composta de ferro, em conjunto com porções pequenas de carbono, que possui propriedades e qualidades bastante apreciadas nas obras de engenharia civil, como resistência e ductilidade (LIMA, 2017).

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), as primeiras aparições do ferro aconteceram em civilizações antigas, como no antigo Egito, Babilônia e Índia, que o consideravam um material nobre, por volta de 6 mil anos a.C. Durante o processo de industrialização, nos países mais desenvolvidos, como a Inglaterra, França e Alemanha, em meados do século XIX, o ferro teve sua utilização em larga escala. Juntamente com o aumento da produção, houve também o aumento da gama de variedades para a utilização desse produto, como trilhos para estradas de ferro.

A ponte sobre o Rio Severn (Figura 1), em Coalbrookdale, Inglaterra, foi construída em 1779 e ficou marcada como a primeira obra importante construída em ferro, onde apresenta um vão maior do que 40 metros.

Figura 1 - Ponte de Coalbrookdale



Fonte: Estórias da História, 2013.

A fabricação de estruturas metálicas no Brasil teve início no ano de 1812, onde o avanço da produção em larga escala aconteceu diante da criação de grandes siderúrgicas. Na década de 20 houve a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, que em conjunto com outras pequenas siderúrgicas, atingiu-se no Brasil a marca de 35 mil toneladas de produção. Já na década de 40, foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional que produzira chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas. Entrou em operação na década de 60 a Usiminas e a Cosipa que faziam a produção de chapas e posteriormente entrou em funcionamento a Gerdau Açominas, que produz perfis laminados de abas paralelas. Diante de tamanho crescimento, o Brasil passou de ser um importador para exportador, diante do baixo consumo existente no país. Com o crescimento da estrutura metálica, grandes obras foram executadas, como o Edifício da Casa do Comércio da Bahia, que fica na capital do estado, Salvador (Figura 2) (PINHEIRO, 2005; BELLEI, PINHO e PINHO 2008).

Figura 2 - Edifício Casa do Comércio da Bahia em Salvador



Fonte: Bellei, Pinho e Pinho, 2008.

### 2.1.2. Tipos de aço estruturais

Segundo o Instituto Aço Brasil através do Manual de construção em Aço (2011) os aços estruturais são os aços que possuem características adequadas para suportar forças e cargas, e, devido a isso, serem utilizados em estruturas.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os tipos de aço mais utilizados, são os de aços-carbono, no qual em suas características, seu aumento de resistência se dá pelo teor de carbono em sua composição, por outro lado, ao aumentar a quantidade de carbono, ocorre a diminuição da ductilidade, podendo causar problemas na soldagem, diante disso, em estruturas mais comuns, utiliza-se peças na classificação de baixo carbono (abaixo de 0,29%). Teores de carbono entre 0,3% e 0,59% consideram-se dentro da classificação de médio carbono, e entre 0,6% a 2,0%, classifica-se como alto carbono. Os principais tipos de aço utilizados nas estruturas, seguindo os padrões da Associação Brasileira Normas Técnicas (ABNT), *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e das normas europeias (EN), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade Mecânicas do Aço-carbono

Especificação	Teor de carbono	Limite de escoamento (MPa)	Resistencia à ruptura (Mpa)
ABNT MR250	Baixo	250	400
ASTM A7	Baixo	240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	Baixo	-	415
ASTM A325 (parafuso)	Médio	635 (min)	825 (min)
EM S235	baixo	235	360

Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009.

Alguns elementos de liga podem influenciar nas características mecânicas do aço, aumentando sua resistência, assim, os aços de baixa liga, são aços-carbono com a adição de elementos de liga, como o cobre, manganês, níquel, fósforo, entre outros. Esses elementos modificam a microestrutura para grãos finos, assim conseguem altas resistências com teores de carbono baixos, assim a Tabela 2 mostra as propriedades desses aços com essas adições. Assim como o aço-carbono, os aços de baixa liga podem ter suas resistências aumentadas através de tratamentos térmicos. (PFEIL E PFEIL, 2009).

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Aços de Baixa Liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento (MPa)	Resistencia à ruptura (MPa)
ASTM 572 Gr. 50	C<0,23% Mn<1,35%	345	450
ASTM A588	C<0,17% Mn<1,25% Cu< 0,50%	345	485
ASTM A992	C<0,23% Mn<1,5%	345	450

Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009.

Lima (2017) divide os aços estruturais de liga como os aços de baixa liga sem tratamento térmico e com tratamento térmico, diferenciando apenas entre eles o tratamento recebido após a laminação, o que garante uma alta resistência mecânica.

### 2.1.3. Propriedades mecânicas do aço

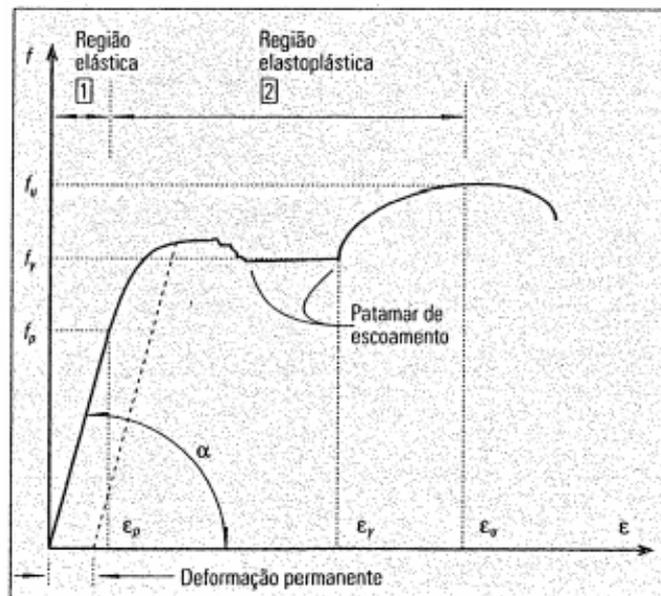
Segundo Rossatto (2015) o comportamento do aço referente a sua capacidade de recebimento e distribuição de esforços sem sofrer grandes deformações ou romper, são

definidas pelas suas propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas que pode se destacar são:

### 2.1.3.1 Ductilidade

A ductilidade está relacionada com a capacidade do material se deformar plasticamente, mediante as cargas aplicadas a ele, sem acontecer sua ruptura, isso quer dizer que o material dúctil é aquele que apresenta grandes deformações antes de seu rompimento, sofrendo alongamento, e essa característica pode ser representadas pelo diagrama tensão deformação (Figura 3), e essa característica é bastante importante, pois com a deformação da estrutura, é possível prever seu futuro rompimento (LIMA, 2017).

Figura 3 - Diagrama tensão-deformação em aços dúcteis



Fonte: Pinheiro, 2005.

Como mostrado no diagrama acima, há uma deformação proporcional ao carregamento aplicado ao aço, dentro da chamada fase elástica, até que se chegue um certo limite, o chamado limite de escoamento  $e$ , a partir deste ponto, entra-se na fase plástica, com deformações não reversíveis até atingir a ruptura (LIMA, 2017).

### 2.1.3.2 Fragilidade

A fragilidade do aço é a característica oposta a ductilidade, ou seja, são peças que não sofrem deformações e seu rompimento se dá de forma brusca, sem aviso prévio. O aço pode se tornar frágil por diversos motivos, entre eles estão as baixas temperaturas ambientes, efeitos

térmicos, estado triaxial de tensões, efeito de encruamento, entre outros. Esse comportamento é analisado sob duas formas: a iniciação e a propagação. A iniciação acontece quando a tensão localiza-se num ponto onde não tem ductilidade (PFEIL E PFEIL, 2009).

#### *2.1.3.3 Resiliência e Tenacidade*

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), a resiliência se define como a capacidade do material em absorver energia mecânica em seu regime plástico, é a quantidade de energia que pode ser absorvida por volume tracionado do aço.

Complementando, Lima (2017) afirma que tenacidade, é a energia total, elástica e plástica que o material absorve até sua ruptura, ela pode ser representada como a área total do gráfico tensão-deformação do aço.

#### *2.1.3.4 Corrosão*

É o processo de reação do aço com algum elemento no ambiente onde ele se encontra exposto, promovendo a perda da seção do aço, podendo ser causa principal de um colapso. Diante disso é de suma importância a necessidade de proteger as estruturas contra a corrosão, na qual pode ser feita com pintura ou por galvanização, no qual consiste em adição de camada de zinco na superfície do aço (PFEIL E PFEIL, 2009).

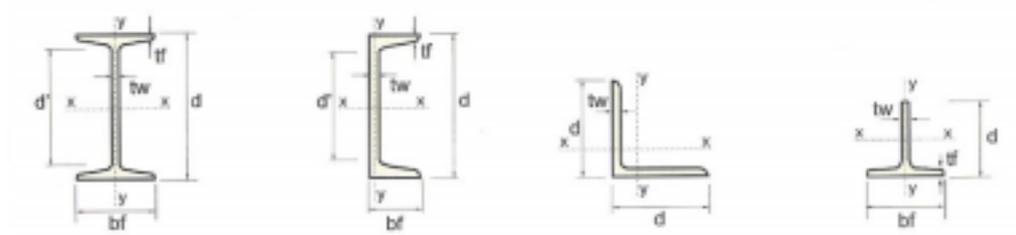
#### *2.1.4. Perfis metálicos*

De acordo com Rossatto (2015) existem alguns perfis metálicos que são mais utilizados na construção civil, que são os que possuem seção transversal em I, H, U e Z, e as cantoneiras utilizando seções transversais em L. esses perfis podem ser obtidos através de processos distintos tendo perfis laminados, perfis formados a frio e perfis soldados.

##### *2.1.4.1 Perfis Laminados*

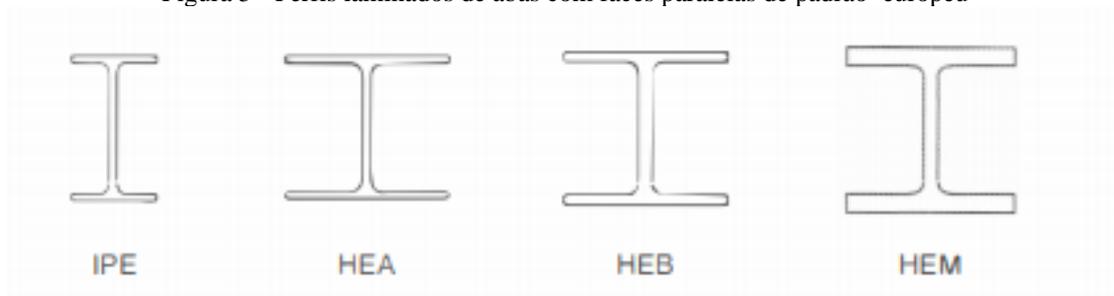
Os perfis laminados (Figura 4 e 5) têm como característica serem peças únicas, sendo produzidas através de deformação a quente, possuem grande eficiência estrutural devido a uniformidade, apresentando baixas tensões localizadas nas peças (Dias, 2006, apud Rossatto, 2015).

Figura 4 - Perfis laminados de padrão americano



Fonte: Dias, 2006 apud Rossato, 2015.

Figura 5 - Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu



Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009.

#### 2.1.4.2 Perfis de Chapa Dobrada

Também chamados de perfis formados a frio, são aços dúcteis dobradas a frio com o uso de equipamentos especiais, onde se tem gabaritos para que a dobragem se dê de forma correta. Existe uma gama de variedades de perfis que podem ser criados a partir desse processo (Figura 6). Existem normas específicas para projetos utilizando esses tipos de perfis, como a NBR 14762 (2001), Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas de Perfis Formados a Frio (Pfeil, Pfeil, 2009).

Figura 6 - Perfis de chama dobrada



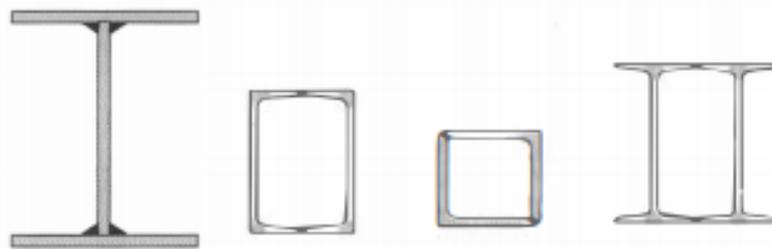
Fonte: Miguel e Carqueja, 2012.

#### 2.1.4.1 Perfis Soldados

Segundo Rossatto (2015), trata-se de perfis onde são formados por associação de chapas ou perfis laminados através do processo de solda, permitindo uma variedade nas formas e dimensões. A ABNT NBR 5884:1980 padronizou três séries de perfis soldados:

- Perfis CS: Utilizadas para colunas e pilares soldadas
- Perfis VS: Utilizadas para vigas soldadas
- Perfis CVS: Utilizadas para colunas e para vigas soldadas.

Figura 7 - Perfis soldados compostos de chapas ou de perfis laminados



Fonte: Pfeil, Pfeil, 2009.

#### 2.1.5. Ligações de Peças Metálicas

De acordo com Pfeil, Pfeil (2009) as peças metálicas, são produzidas em tamanhos e dimensões padrões, devido a capacidades das máquinas e dos veículos para transporte, diante disso, faz-se necessários cortes e conexões para a estrutura trabalhar como um todo, fazendo-se necessária a utilização de peças metálicas. Podem ser divididas em dois tipos de ligação: Conectores ou solda. Os conectores podem ser através de rebites ou parafusos (Figura 8), e a solda trata-se de unir peças através da solda (Figura 9).

Figura 8 - Ligação parafusada



Fonte: Dias 2006 apud Rossatto, 2015.

Figura 9 - Ligação Soldada



Fonte: Dias, 2006 apud Rossatto, 2015.

#### 2.1.6. *Vantagens e desvantagens*

O aço para fins estruturais possui muitas características que o fazem ser escolhido em diversas ocasiões como matéria principal para o dimensionamento estrutural. Uma de suas vantagens é que em sua fabricação, tem-se uma precisão milimétrica e conseqüentemente, é homogêneo, assim tem-se garantia das dimensões e pode-se ter um alto controle de qualidade da obra. Outra característica desses materiais é a sua resistência à vibração e a choques, e também são mais resistentes em comparação com outros materiais. São estruturas que possibilitam a execução de obras de forma mais rápidas e limpas, além de, se precisar, tem a

possibilidade de desmontar para substituição de alguma peça ou montagem da estrutura em outro local. Além de, levando sempre em consideração a economia, é possível o reaproveitamento desses materiais em estoque, ou mesmo das sobras da obra, que não seja mais necessário à construção. Como desvantagem é possível citar a limitação de execução nas fábricas, uma vez que isso depende do maquinário e do meio de transporte até a obra, além também de necessitar de tratamentos superficiais adequados para evitar a oxidação, necessitam-se também de mão de obra qualificada e equipamentos especiais para sua montagem. (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008; PINHEIRO, 2005).

## **2.2. Concreto armado**

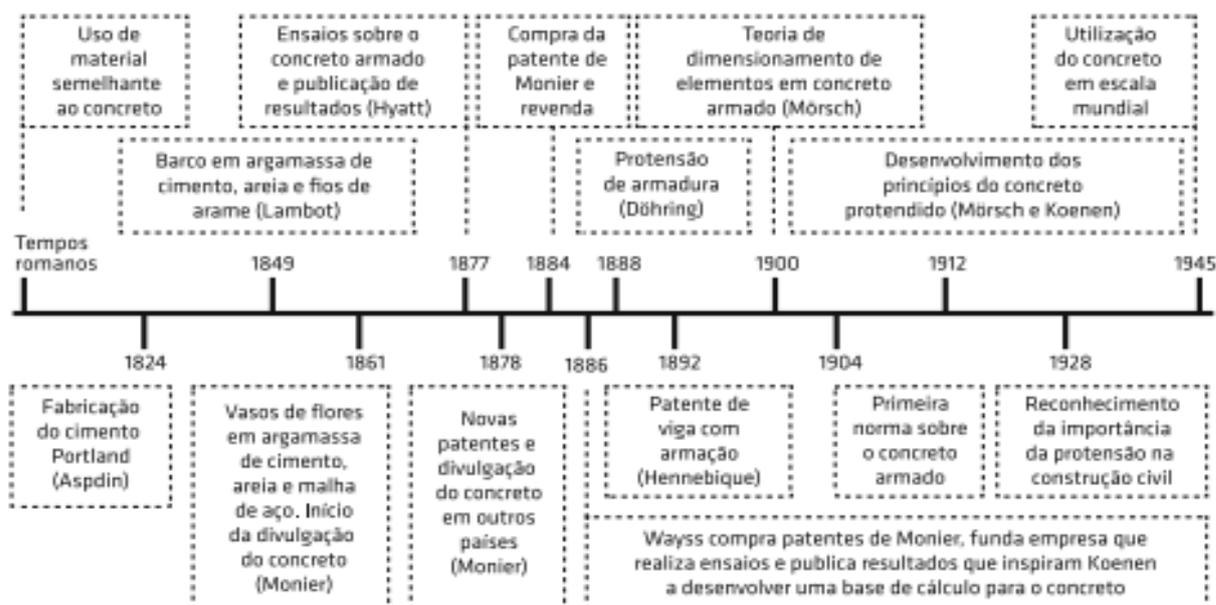
Como característica principal, o concreto possui uma alta resistência a compressão e baixa resistência a tração, e para se tornar viável a sua utilização em estruturas, faz-se necessário a inserção de barras de aço afim de combater esforços de tração que possam ser gerados nesse elemento (SANTOS, 2014).

### *2.2.1. Histórico do concreto armado*

O material construtivo mais utilizado no mundo é o concreto armado, que tem por destaque o desempenho elevado, a facilidade na execução e economia. E pode-se considerar o uso do concreto armado como algo recente na história. O homem começou a abandonar suas moradias em árvores e cavernas e buscar materiais para edificar suas residências, como a madeira e a pedra (PORTO E FERNANDES, 2015).

O início do concreto armado, pode se remontar à época romana, assim como mostra a Figura 10, onde houve a primeira associação de um metal à argamassa pozolânica. Posteriormente, em 1770, para a criação de vigas, em Paris foi feita uma associação de pedra com ferro, usando barras longitudinais pra tração e barras transversais para a cortante. Porém só em 1849 que se pode dizer que o cimento armado surgiu, para a construção de um barco com telas de fios de ferro com argamassa (BASTOS, 2006).

Figura 10 - História do concreto



Fonte: Porto e Fernandes, 2015.

### 2.2.2. Composição do concreto armado

Assim como afirma Bastos (2006) para o material ser adotado na construção civil, ele deve apresentar resistência e durabilidade. Diversos materiais possuem características que contemplem esses aspectos, podendo citar a pedra natural e o aço. O concreto armado surgiu diante da necessidade de juntar às características de resistência a compressão e de durabilidade da pedra com as resistências mecânicas do aço.

Coêlho (2008) afirma que a combinação entre o concreto e do aço, tem boas características devido ao fato de que ambos os materiais possuem coeficientes de dilatação térmica com valores parecidos, e também devido a aderência entre os materiais. Essas condições fazem que ambas trabalhem em conjunto, permitindo uma excelente associação.

Trata-se do concreto como um material composto, onde é formado pela mistura de cimento, água e agregados miúdos e graúdos. Em sua composição, para se incorporar ou elevar alguma característica específica, pode ter adições, como cinza volante ou aditivos químicos. (BASTOS, 2006).

### 2.2.3. Vantagens e desvantagens do concreto armado

Assim como afirma Almeida (2002), o concreto armado possui varias vantagens, que o fazem serem amplamente empregado, dentre elas, pode-se citar a facilidade de adaptação às

formas construtivas, economia de construção e manutenção, boa resistência a choques e vibrações, segurança contra o fogo, e monolitismo. Bastos (2006) complementa afirmando a respeito da impermeabilidade, se for executada da forma correta, e da economia, uma vez que seus materiais são encontrados facilmente no Brasil.

Almeida (2002) também afirma que o concreto armado possui desvantagens, entre elas, cita a respeito do peso próprio, que é bastante elevado,  $2.500 \text{ kgf/m}^3$ . Outra desvantagem encontrada é a respeito da fissuração das peças, que deve ser controlada. E completando, outro viés de sua utilização é a necessidade de formas e escoramento, o que eleva bastante o custo da construção.

### **2.3. Cargas e ações nas estruturas**

Desde a concepção inicial de qualquer projeto de estrutura, deve-se estudar e determinar as cargas e ações que atuarão na estrutura, para que no dimensionamento as peças trabalhadas em conjunto e isoladamente sejam capazes de resistir a tais esforços, de forma a não comprometer a vida útil da estrutura, sendo capaz de também, manter suas deformações elásticas dentro dos limites aceitáveis. As cargas podem se dividir em ações permanentes, ações acidentais, ações devido ao vento e ações de formas excepcionais (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

#### *2.3.1. Cargas permanentes*

As cargas permanentes são aquelas cargas e ações no qual acompanharão a estrutura por toda sua vida, são as cargas que, de forma permanente, estarão atuando sobre a estrutura. A norma brasileira de cargas para o cálculo de estrutura de edificações define as cargas permanentes como sendo as cargas de “ações que atuam com valores constantes, ou com pequena variação em torno de sua média, durante a vida da edificação ou que aumentam com o tempo, tendendo a um valor-limite constante” (ABNT NBR 6120:2019, 2019, p. 3).

Miguel e Carqueja (2012) afirmam que as cargas permanentes englobam as cargas de paredes, pisos, coberturas, forros, escadas, revestimentos, além das instalações como as de água, sanitárias, pluviais, elétricas, entre outras (Tabela 3).

Tabela 3 - Pesos específicos da NBR 6120:2019

Material	Peso Específico (t/m <sup>3</sup> )	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )
Concreto simples	2,40	24,0
Concreto armado	2,50	25,0
Argamassa de cimento e areia	2,10	21,0
Argamassa de gesso	1,5	15,0
Tijolos furados	1,40	14,0
Tijolos macios	1,80	18,0
Rocha granito	2,85	28,5
Mármore	2,80	28,0
Madeira (pinho, cedro)	0,50	5,0
Aço	7,85	78,5
Alumínio e ligas	2,80	28,0

Fonte: adaptado da NBR 6120, 2019.

### 2.3.2. Cargas acidentais

A norma brasileira de cargas para estruturas (ABNT NBR 6120:2019) diz que as cargas acidentais são todas aquelas que irão atuar na edificação em função da sua utilização. Miguel e Carqueja (2012) complementam dizendo que essas cargas são provenientes do peso das pessoas, dos objetos e materiais que ocuparão a edificação, peso de paredes removíveis, empuxos de terra e pressões hidrostáticas (Tabela 4). Essas cargas também são chamadas de cargas variáveis.

Tabela 4 - Cargas acidentais da NBR 6120:2019

Tipo	Local	Valores mínimos kgf/m <sup>2</sup>	Valores mínimos kN/m <sup>2</sup>
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha, banheiro.	150	1,5
	Despensa, área de serviço, lavanderia.	200	2,0
Escadas	Com acesso ao público	300	3,0
	Sem acesso ao público	250	2,5
Escritórios	Salas de uso geral e banheiros	250	2,5
Lojas	Cinema e teatro	400	4,0
	Lojas em geral	400	4,0
	Com mezaninos	750	7,5
Restaurantes	Valor mínimo	300	3,0
Escolas	Salas de aula, corredor	300	3,0
	Auditórios	400	4,0
Bibliotecas	Salas de leitura	300	3,0
	Depósito de livros	600	6,0

Terraços	Sem acesso ao público	200	2,0
	Com acesso ao público	300	3,0
Forros	Apenas manutenção	10	0,1

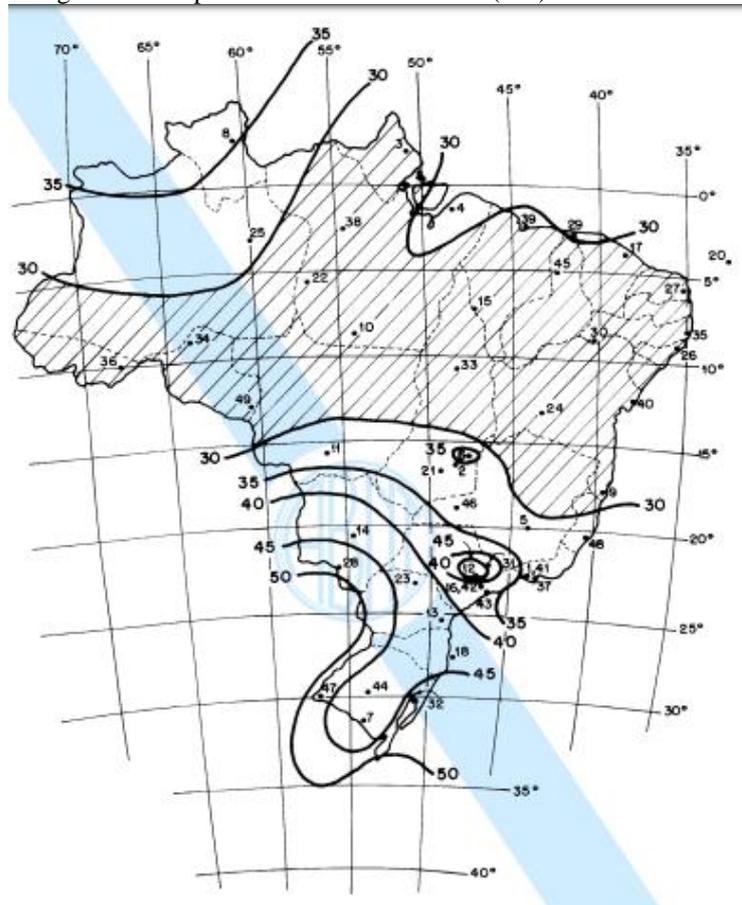
Fonte: adaptado da NBR 6120, 2019.

### 2.3.3. Cargas devido ao vento

De forma simplificada, Bellei, Pinho e Pinho (2008), afirma que essas cargas são provenientes de pressões ou sucção de rajadas de vento.

Devido a essa ser uma carga bastante importante em edificações, principalmente as que possuem grandes alturas, ela possui uma norma própria, a ABNT NBR 6123:1988, Forças devido ao vento em edificações, na qual é uma norma bastante completa e traz informações a respeito da velocidade básica dos ventos que é utilizada como parâmetro para dimensionamento. Na Figura 11 representa-se a velocidade básica do vento que pode ser considerada em projeto.

Figura 11 - Isopletas da velocidade básica (m/s) NBR 6123:1988



Fonte: ABNT NBR 6123, 1988.

#### 2.3.4. Cargas excepcionais

São outras cargas nas quais não se englobam nas características anteriores, porém devem ser consideradas e estudadas, conforme necessidade. Dentre essas cargas estão consideradas as cargas sísmicas, enchentes, incêndios, explosões, choques de veículos, entre outras. Ou seja, são situações onde não podem ser controladas (SANTOS, 2014).

### 2.4. Estados limites

Segundo Miguel e Carqueja (2012), para o dimensionamento estrutural, existe o método dos estados Limites, na qual consiste na forma que o sistema estrutural responde quando é aplicado uma carga sobre ele, e isso depende do tipo e magnitude das cargas, assim como a resistência e rigidez da estrutura. Para que a estrutura seja satisfatória, um limite de esforços, tensões, deformações ou deslocamentos não pode ser ultrapassado, e esses limites são conhecidos como estados limites e pertencem a duas classificações: Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS).

#### 2.4.1. ELU

De acordo com Lima (2017), ELU se diz respeito a máxima capacidade da estrutura, é o limite máximo da resistência antes da estrutura entrar em colapso.

Miguel e Carqueja (2012) complementam afirmando que esse limite está associado a cargas excessivas e para estruturas metálicas, pode ser originados pela perda de equilíbrio estático da estrutura ou de parte dela, ruptura de uma ligação, instabilidade, flambagem local ou de barras como um todo.

#### 2.4.2. ELS

ELS é um limite no qual a estrutura perde eficiência em sua utilização, quando é atingida e está associada a eventos frequentes e se refere ao desempenho da estrutura. Esse estado limite pode ser originado através de danos ligeiros ou localizado na estrutura, deformações, deslocamentos ou vibrações excessivos que afetam a utilização normal da estrutura. O deslocamento máximo é dado pela letra grega  $\delta$ , e dependendo do elemento estrutural, está em função do vão teórico entre apoios ou o dobro do balanço (L) ou da altura

total do pilar (H) (Tabela 5) (MIGUEL E CARQUEJA, 2012; BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

Tabela 5 - Deslocamento máximo para edifícios

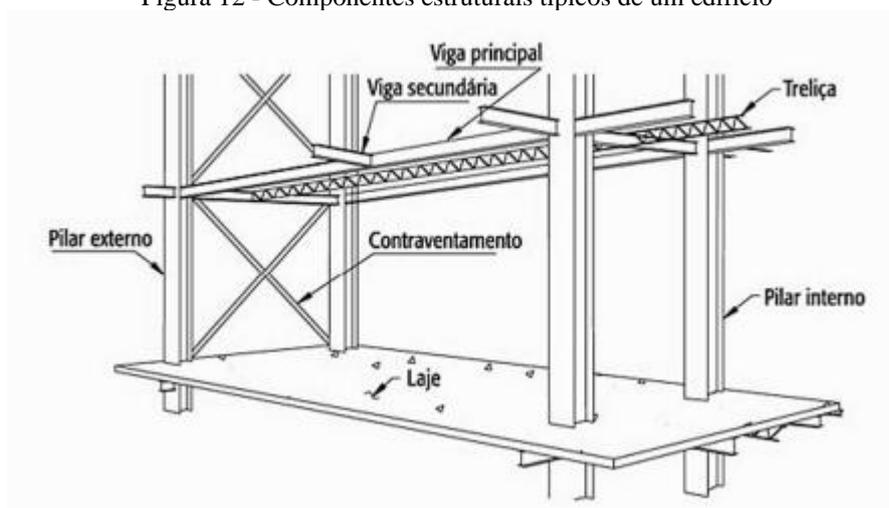
Descrição	$\delta$
Travessas de fechamento:	
- entre linhas de tirantes e paralelos ao plano fechamento	L/80
- apenas o vento nominal perpendicular ao plano de fechamento	L/120
Terças de cobertura:	
-combinações raras, com ações variáveis no sentido da permanente	L/180
-apenas ações variáveis, no sentido oposto da ação permanente	L/120
Vigas de cobertura	L/250
Vigas de piso	L/350
Vigas que suportam pilares	L/500
Edifícios de um pavimento:	
-deslocamento horizontal do topo em relação à base	H/300
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
-deslocamento horizontal do topo em relação à base	H/400
-deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	H/500

Fonte: Bellei, Pinho e Pinho 2008.

## 2.5. Sistemas estruturais gerais

Segundo Instituto aço Brasil (2011), é de suma importância a adoção correta do sistema estrutural que será necessária na edificação para ter um resultado satisfatório no final da obra, uma vez que entram variáveis que podem influenciar na escolha que são a respeito de peso da estrutura, facilidade de acesso e fabricação dos materiais empregados, rapidez das montagens e do custo final esperado da obra. A Figura 12 apresenta os componentes estruturais típicos de uma estrutura de aço, onde geralmente são os sistemas mais empregados.

Figura 12 - Componentes estruturais típicos de um edifício



Fonte: Instituto aço Brasil, 2011.

### 2.5.1. Contraventamentos

Quando de faz necessário, podem-se usar sistemas de contraventamentos verticais para dar mais estabilidade as estruturas, permitindo assim que a estrutura tenha mais ligações flexíveis, tornando todo o sistema mais leve e mais pratico. Por outro lado, não utilizado o sistema de contraventamento, deve-se tornar a estrutura um pórtico espacial, com ligações rígidas, tornando a estrutura mais cara. Ainda é possível ter um sistema misto, dependendo da arquitetura em questão, sendo aporticada em um lado da edificação e contraventada do outro. Pode-se ter também um sistema onde se tem um núcleo rígido, onde se costuma ter as escadas e elevadores, porém, para edifícios muito elevados, a núcleo não tem grande eficiência para absorver as cargas verticais (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

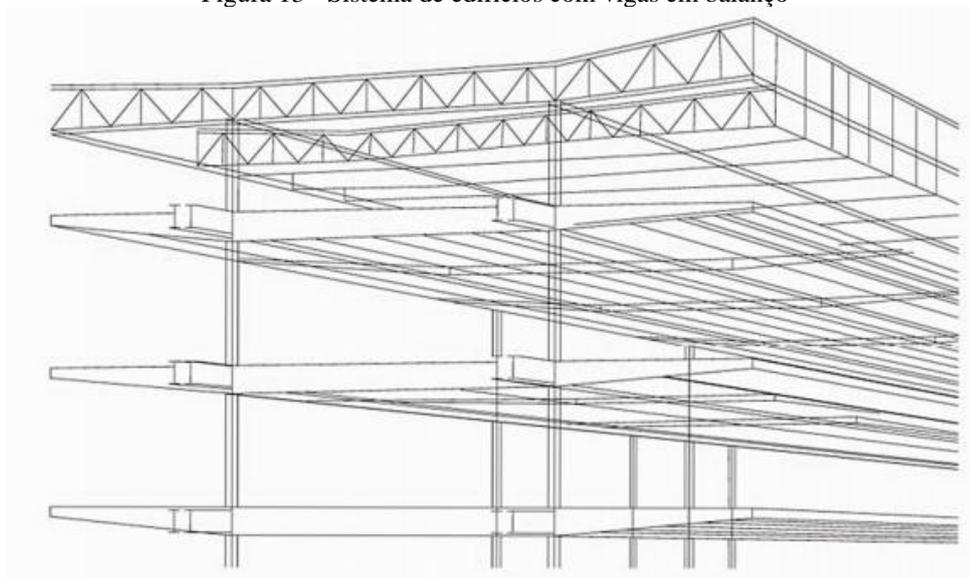
### 2.5.2. Vigas

As vigas são elementos estruturais considerados lineares, onde como reação preponderante, tem-se a flexão. As vigas podem ser dispostas de varias formas, estando apoiadas em pilares, ou como um sistema de vigas em balanço, ou em vigas primaria e secundaria (COELHO, 2008; MARTINS, 1998).

Ainda de acordo com Bellei, Pinho e Pinho (2008), as vigas em balanço (Figura 13) é um sistema bastante utilizado para atender fins arquitetônicos. O aço presente nas vigas, tanto no concreto armado quanto em estruturas metálicas, conseguem suportar as cargas geradas através da tração. Trata-se de um sistema que suporta os pisos a partir de um núcleo central,

permitindo também que ao redor do edifício fique livre, sem pilares. Pode-se ter também um sistema com vigas principais e secundárias, onde, de modo geral, a viga secundária são as que se apoiam nas vigas primárias, e essas por sua vez, descarregam as cargas nos pilares.

Figura 13 - Sistema de edifícios com vigas em balanço



Fonte: Bellei, Pinho e Pinho 2008

### 2.5.3. Lajes

Segundo Santos (2014) as lajes são elementos horizontais e planos, onde sua espessura é inúmeras vezes menores que suas outras dimensões, e tem por principais cargas, receber carregamentos que atuam no pavimento, seja eles permanentes ou variáveis, descarregando-as sobre as vigas. Bellei, Pinho e Pinho (2008) cita algumas possibilidades de lajes que podem acompanhar a estrutura, que são elas:

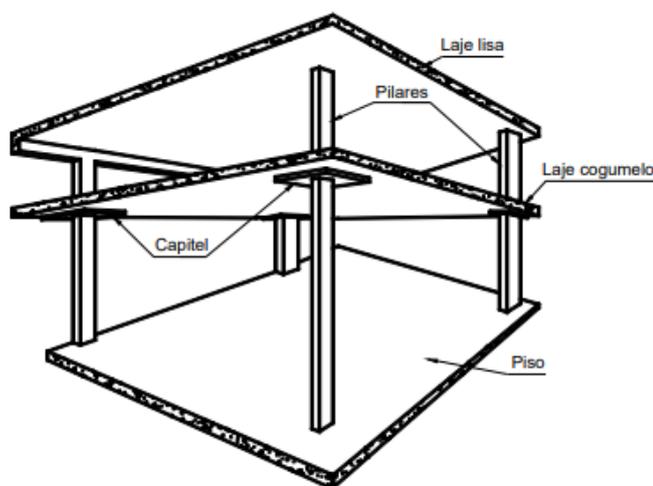
- Lajes moldadas no local
- Lajes pré-moldadas de vigotas de concreto com lajotas
- Pré-lajes
- Fôrma-laje

Segundo o autor, a primeira precisa de fôrma, permite que se usem vigas mistas, porém tem uma execução mais demorada e necessita de escoramento. As lajes pré-moldadas, não necessitam de formas, costumam ter custos mais baixos, porém não permite a utilização de vigas mistas, precisa de escoramento e precisa de revestimento inferior. As pré-lajes, ou treliçadas, não precisa de forma, pode ser utilizadas vigas mistas, quase sempre precisam de

escoramento, depende da espessura e do vão. As fôrma-laje, também chamadas de “Steel Deck”, também é um sistema de lajes na qual não precisa de formas, servem como plataforma para ser usadas na obra, funciona também como armadura das lajes, permite a utilização de vigas mistas.

Bastos (2006) complementa afirmando que os tipos mais comuns de lajes são as maciças apoiadas nas bordas, as nervuradas, lisa e as cogumelos (Figura 14). Onde as lajes maciças são as que não possuem vazios e que se apoiam em vigas. Conforme a ABNT NBR 6118:2014 as lajes cogumelo são aquelas que são apoiadas diretamente em pilares com capitéis, já as lajes lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis. Ambas são conhecidas como lajes sem vigas, porém necessitam maiores espessuras. A ABNT NBR 6118:2014 também define as lajes nervuradas como sendo as lajes moldadas *in situ* ou com nervuras pré moldadas, onde sua zona de tração para o momento positivo localiza-se nas nervuras.

Figura 14 - Sistema de edifícios com vigas em balanço

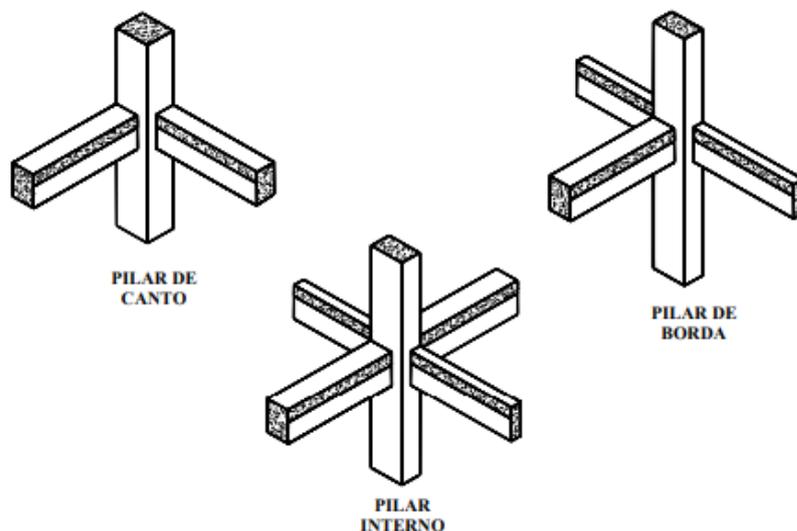


Fonte: Bastos 2006

#### 2.5.4. Pilares

Segundo Scadelai e Pinheiro (2007), os pilares são elementos lineares comumente posicionados de forma vertical onde deve resistir de forma principal a compressão e tem como função principal receber as cargas provenientes de toda a estrutura e dissipa-las até as fundações. As cargas que atuam nos pilares são provenientes de toda a estrutura e envolve todos os sistemas compostos, como as lajes, as vigas, os pilares de níveis superiores, e quaisquer outro elemento situado na estrutura. Os pilares podem ser classificados quanto a sua posição (Figura 15) na qual podem ser pilares de canto, pilares de borda ou pilares internos.

Figura 15 - Tipos de pilares em um edifício



Fonte: Scadelai e Pinheiro 2007

Os pilares internos admitem apenas compressão simples, os pilares de borda tem se flexão composta, admitindo excentricidades iniciais em uma direção e nos pilares de canto, tem-se flexão oblíqua (SCADELAI E PINHEIRO, 2007).

## 2.6. Software CYPE 3D

O software CYPE 3D, é um programa da empresa espanhola *CYPE Ingenieros*, que realiza o cálculo de estruturas de vários tipos, entre eles, com elementos de aço, realizado em três dimensões, onde o dimensionamento é automático após a inserção de dados ser realizada de forma gráfica. Dentre os materiais que podem ser utilizados para esse tipo de estrutura, tem-se o aço laminado e composto, aço enformado e estrutura mista de aço e concreto armado, sendo que dentre essas opções, pode-se escolher qual o tipo de aço vai ser utilizado no dimensionamento, e pode-se adicionar ou modificar informações sobre o material a ser utilizado (Memoria de cálculo CYPE, 2015).

Para dimensionamento, considerando ações dos ventos ou sismos, os efeitos de segunda ordem devem ser incluídos no cálculo. Como afirma Silva (2017), quando ocorrem situações onde os esforços internos são alterados de maneira significativa ocasionada pelos efeitos de primeira ordem, significa que se têm outros esforços a ser considerada, assim a

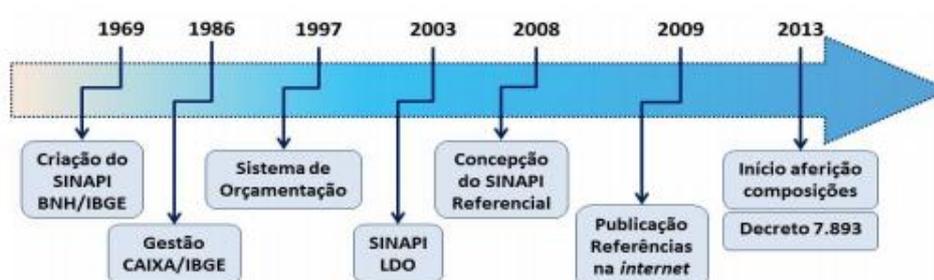
análise da estrutura é feita a partir de sua configuração deformada, e assim definem-se os efeitos de segunda ordem.

O programa baseia-se no efeito P-Delta ( $P\Delta$ ) para cálculo de efeitos de segunda ordem, abordando-os de forma simples. O método P-Delta associa a relevância da carga axial com o deslocamento horizontal, chamados assim de P e Delta, respectivamente (Lopes, Santos e Souza, 2005 apud Silva, 2017).

## 2.7. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)

Segundo Queiroz (2019) o SINAPI é uma produção entre o IBGE e a Caixa Econômica Federal (Figura 16), onde é realizada através de acordo de cooperação técnica. Nessa cooperação, o instituto tem a responsabilidade na coleta, e cálculos dos dados, enquanto a Caixa tem por responsabilidade a definição e manutenção dos aspectos relacionados com a engenharia indicado como referência oficial de preços e insumos e de custos de composições de serviços para a construção civil, exceto em obras de infraestrutura.

Figura 16 - História do SINAPI



Fonte: SINAPI, 2014.

Inicialmente, o SINAPI foi criado para servir como base a respeito de custos e índices de construção civil habitacional, sendo adotada pela CAIXA em 1986, e desde então, virou um sistema corporativo, utilizada em todo o Brasil (MANUAL DE METODOLOGIAS E CONCEITOS, 2014).

O sistema é composto por tabelas que possuem composições de preços e insumos e de serviços de construção civil, definidas para locais diferentes e com uma data como base, e, com isso, tem-se vantagens e desvantagens em sua utilização (CAMPITELI, 2016 apud QUEIROZ, 2019).

Como vantagem pode-se citar a padronização dos orçamentos de órgão, a racionalização de serviços evitando a pesquisa de preços sempre que for fazer um orçamento, segurança jurídica, transparência e diminuição de custos privados para participação de certames de licitações (BAETA, 2002 apud BARZELLAY E LONGO, 2011).

Como desvantagem pode-se citar os preços para insumos e produtividade, nas quais são valores médios ou medianos e nem sempre retratam a realidade da obra. É evidente também que nenhum sistema abrange todas os serviços, assim o SINAPI não possui todas as composições e, ou, custos necessários para uma obra. Também não são consideradas variações de produtividade dos serviços levando em considerações variáveis como clima, geotécnicas e outras (BAETA, 2002 apud QUEIROZ, 2019).

## **2.8. Trabalhos relacionados com o tema**

Rossatto (2015) realizou um estudo comparativo entre uma estrutura metálica e uma estrutura de concreto armado. O estudo tinha por viés elaborar dimensionamento de um laboratório de conforto, que pertence à Universidade Franciscana, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, e analisar os custos de mercado em ambas as situações. Chegou-se à conclusão que a estrutura metálica obteve um orçamento 330% mais elevado em relação à estrutura de concreto armado. Este resultado foi considerando exclusivamente o custo de material.

Lima (2017) fez um estudo onde havia por objetivos dimensionar e comparar os custos de duas estruturas, sendo de concreto armado e de aço, para uma mesma residência, localizada em Sobradinho - DF. O autor concluiu que a estrutura residencial de concreto armado se tornou 52,05% mais econômica que a estrutura metálica. Porém vale ressaltar que o custo foi exclusivamente de consumo de materiais, não levando em consideração tempo gasto, e conseqüentemente, mão de obra envolvida.

Em contrapartida, Santos (2007), ao realizar um estudo comparativo entre duas estruturas de aço e concreto armado, chegou à conclusão de que a estrutura de aço é mais economicamente viável. A estrutura de estudo foi um galpão, localizado em Jundiáí, São Paulo, que tem a finalidade de armazenar materiais da construção. Para o orçamento, foi levado em consideração o material necessário para execução, tempo, formas de pagamento e fornecimento da empresa, porém, neste orçamento, a fundação não foi considerada na estrutura metálica, o que contribuiu para o resultado final orçado.

Corroborando com Santos (2007), Paz, Bellei e Barbisan (2019), fizeram uma comparação de custos em um edifício residencial com três andares localizado em Xanxerê – SC, utilizando estrutura metálica e estrutura de concreto armado. A pesquisa levou em consideração custos referentes a materiais e a mão de obra envolvida diretamente com a estrutura, e como resultado, verificou-se que a estrutura em aço tornou-se mais econômica, com um valor próximo de 80% do custo que seria com a estrutura em concreto armado.

Silva e Píres (2016) analisaram, por sua vez, o tempo de execução de uma escola localizada em Caratinga – MG, utilizando concreto armado e estrutura metálica. Tem-se como premissa verificar, diante das duas propostas para a estrutura, qual levaria menos tempo para sua execução. Ao final, concluiu-se que a estrutura metálica levaria um tempo de quase 50% menos do que a estrutura em concreto armado para sua execução.

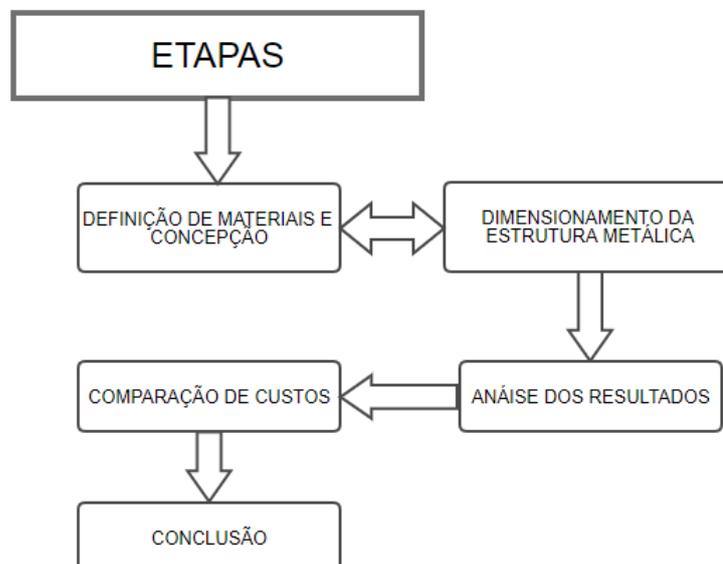
Diante dos trabalhos referidos, é possível concluir que há várias variáveis que podem influenciar no custo geral de uma obra, utilizando quaisquer das estruturas. Nesse contexto, pode-se citar o custo com a mão de obra; o custo de fornecimento de materiais; a disposição dos elementos estruturais; a arquitetura, que pode favorecer ou desfavorecer o modelo estrutural adotado; entre outros.

### 3. METODOLOGIA

Marconi e Lakatos (2003) define a metodologia como sendo o conjunto de atividades que são executadas, seguindo uma linha de raciocínio, de forma racional e sistemática, para atingir o objetivo desejado. Afirma ainda que a metodologia científica não é exclusividade da ciência, mas a ciência necessariamente precisa da metodologia científica.

Este trabalho foi baseado no dimensionamento de uma edificação de cunho comercial em estrutura metálica, em que visa compara-la a um projeto já existente da edificação, porém em concreto armado, utilizando as informações coletadas a partir dos softwares utilizados para seus respectivos dimensionamentos. A estrutura em concreto armado foi dimensionada por um engenheiro da empresa Mateus Engenharia, e utilizou o *software* da Alto QI, Eberick, e, para o dimensionamento da estrutura metálica, que foi feita pelo autor, foi utilizado o *software* da empresa CYPE, CYPE 3D. A Figura 17 apresenta as atividades que foram executadas no estudo.

Figura 17 - Fluxograma das atividades a serem desenvolvidas



Fonte: Autoria própria

#### 3.1. Caracterização do edifício de estudo

Neste trabalho foi abordado um edifício comercial localizado na cidade de Palmas/TO onde sua estrutura foi projetada utilizando concreto armado. Este edifício ainda está em fase

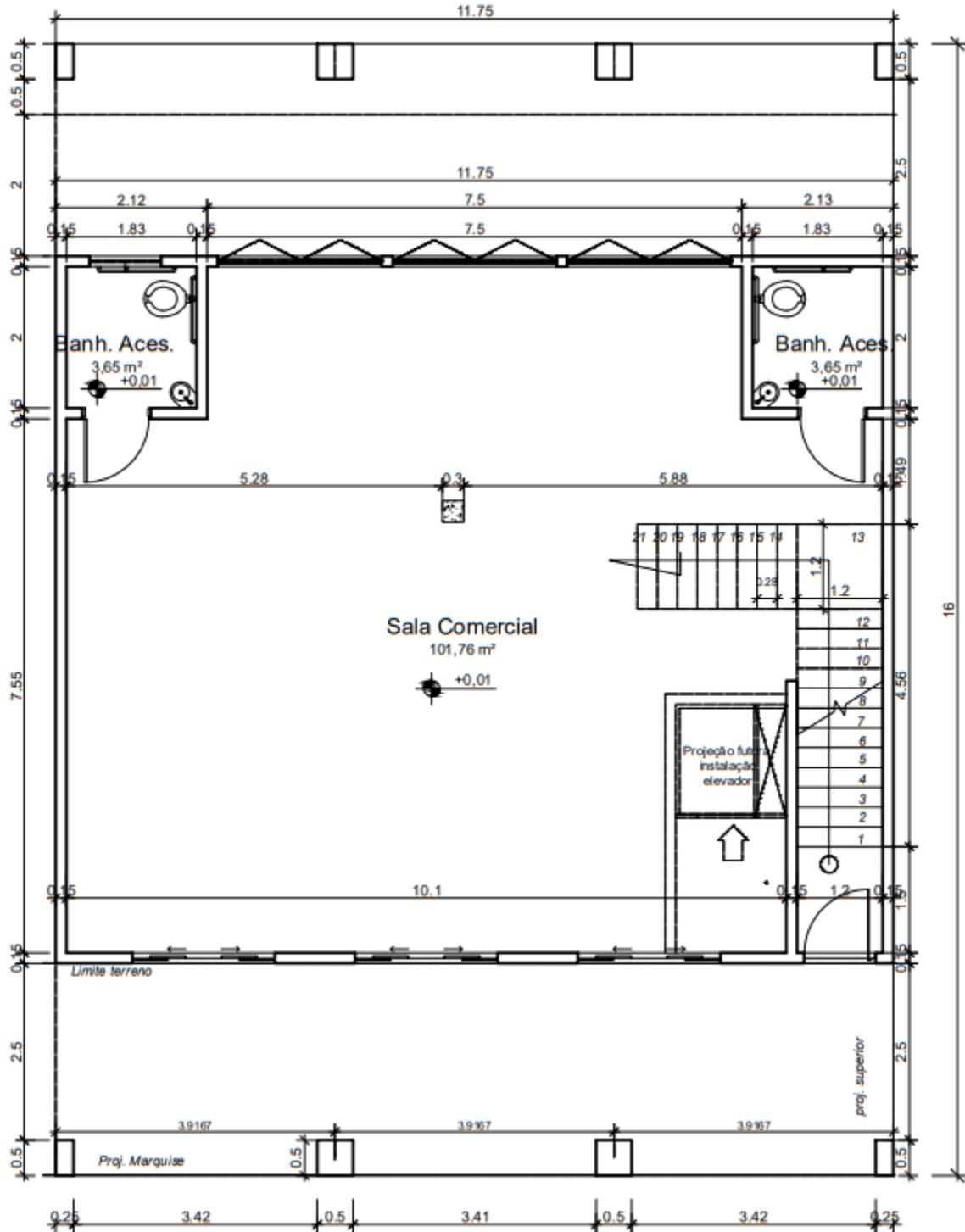
de construção, e foi dimensionado para ter quatro pavimentos, sendo um pavimento térreo e três pavimentos tipo.

A proposta do edifício é de comercializar suas salas através de alugueis para uso de escritórios, assim, de acordo com a arquitetura, o pavimento térreo possui espaço para alocação de duas salas comerciais (Figura 18), e os demais pavimentos, possuem cada, divisão para quatro salas (Figura 19).

O Edifício, que está localizado na ACSV NE 61-A - Lote 29 - Alameda 17 A, é previsto para construção de uma área total de 541,5 m<sup>2</sup>, onde se coloca o pavimento térreo com 117,5 m<sup>2</sup> de área construída e os demais pavimentos possuindo 188 m<sup>2</sup> de área. Destaca-se na peculiaridade desse prédio onde a área do térreo é inferior à área dos pavimentos acima dele, implicando em características bem específicas de edifícios comerciais que tem o intuito de aumentar sua área construída nos pavimentos superiores em relação ao térreo.

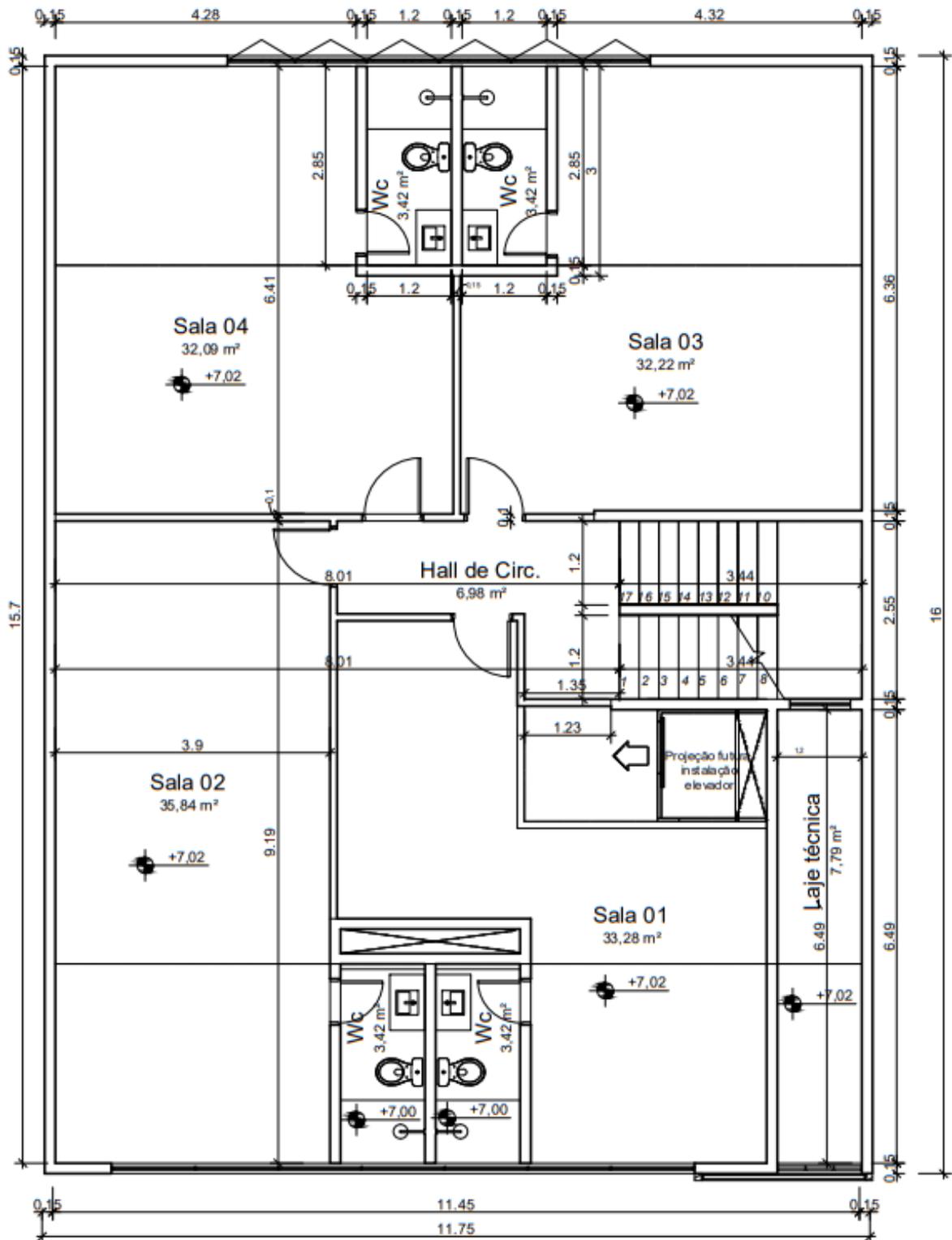
O prédio possui a alvenaria com blocos cerâmicos como método de vedação externa e como vedação interna a arquitetura impôs a utilização de gesso acartonado. No projeto arquitetônico é destinado um espaço para que futuramente possa ser implantado um elevador, porém, ao projeto que foi solicitado inicialmente, não é previsto a execução do mesmo, logo não sendo considerado nos projetos de estudo desta pesquisa.

Figura 18 - Planta baixa térrea



Fonte: Mateus Engenharia

Figura 19 - Planta baixa dos pavimentos tipo

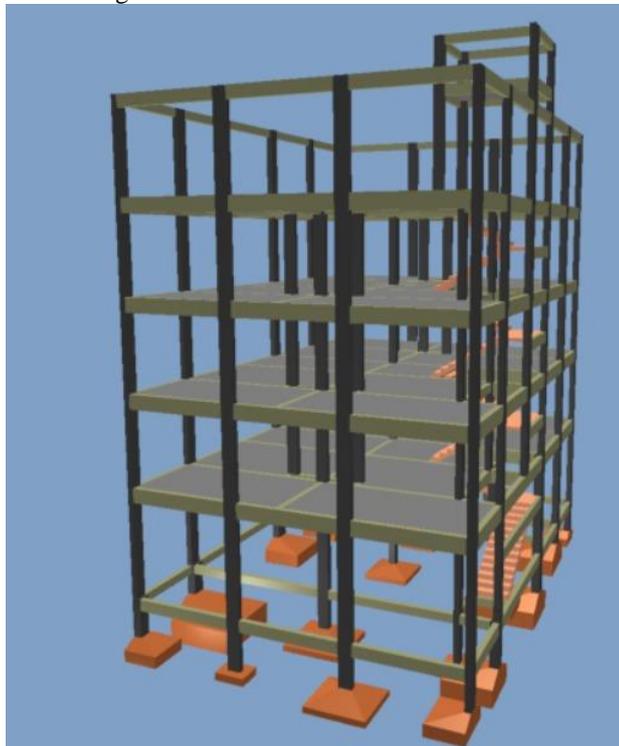


Fonte: Mateus Engenharia

O projeto estrutural em concreto armado foi baseado na arquitetura representada pelas Figuras 18 e 19 para sua concepção. Diante disso, o engenheiro que realizou o

dimensionamento alocou 22 pilares nesta edificação. A Figura 20 mostra a concepção da estrutura em questão.

Figura 20 - Estrutura em concreto armado



Fonte: Mateus Engenharia

Ressalta-se, mais uma vez, que o edifício em concreto armado já foi dimensionado pelo engenheiro responsável pela obra, e que apenas foi utilizado seus resultados como comparação para a estrutura que foi desenvolvida neste trabalho.

### 3.2. Concepção e dimensionamento da estrutura metálica

O projeto estrutural realizado utilizando elementos em aço, obedeceu a mesma concepção adotada no projeto em concreto armado, considerando esta como um norteamento para o desenvolvimento. Após essa concepção inicial, foi feita a tentativa de mudar e melhorar a concepção adotada, buscando sempre formas de otimizar a estrutura a fim de que no final, reflita nos custos.

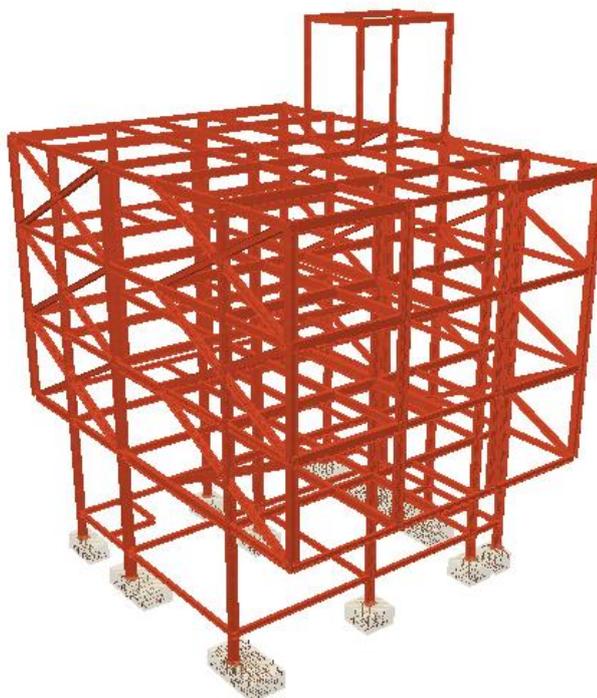
Para o desenvolvimento da concepção e do dimensionamento usou-se as ferramentas vigentes no *software* CYPE 3D, além de outro programa, o Ciclone, para cálculo das forças e vento. O programa é especializado para este fim, e a análise foi baseada nas normas vigentes e necessárias, que são:

- ABNT NBR 8800:2014 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto armado;
- ABNT NBR 6120:2019 Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NBR 8681:2003 Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- ABNT NBR 6123:1988 Força devido ao vento em edificações.

### 3.2.1. Dimensionamento no CYPE 3D

Para a realização do dimensionamento, da edificação no software CYPE 3D, foi, inicialmente, levantada as informações pertinentes à edificação. As cargas que foram utilizadas no dimensionamento foram provenientes das normas já indicadas neste trabalho, e a resistência do solo foi obtida através do engenheiro responsável pelo projeto inicial em concreto armado. A figura 21 apresenta a estrutura metálica dimensionada.

Figura 21 - Estrutura metálica dimensionada

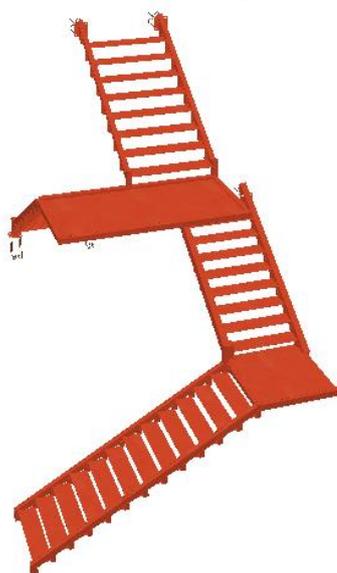


Fonte – Autoria própria

Algumas considerações foram feitas a respeito do projeto em estrutura metálica. A primeira foi que houve uma variação razoável de perfis utilizados, e isso foi devido a intenção de obter o menor peso de aço possível para a estrutura. Outra consideração, foi que as escadas foram dimensionadas de forma separadas e, por conseguinte, as cargas resultantes foram

implementadas na estrutura no exato ponto onde as mesmas estariam soldadas, assim como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Escadas do projeto



Fonte: Autoria própria

Ademais, ressalta-se que as lajes não foram dimensionadas propriamente dito no software, uma vez que por opção do projetista, foi realizado o dimensionamento com catálogo de uma empresa especializada no assunto (APÊNCIDE F). Assim, após a escolha e dimensionamento das lajes utilizadas, foi inserindo suas cargas na estrutura para o devido processamento da edificação.

### 3.2.2. Levantamento de dados

Assim como afirma Silva (2017) a ABNT NBR 6120:2019 estabelece as condições necessárias de carregamentos que devem ser adotadas nos projetos estruturais, tanto para as cargas permanentes, quanto para as cargas variáveis que irão ser consideradas no dimensionamento da estrutura. Para que isso seja feito da forma mais eficiente possível, antes de definir os carregamentos, é imprescindível que já se saiba os materiais, as peças e todos os elementos que serão utilizados na estrutura e que gerarão cargas na mesma.

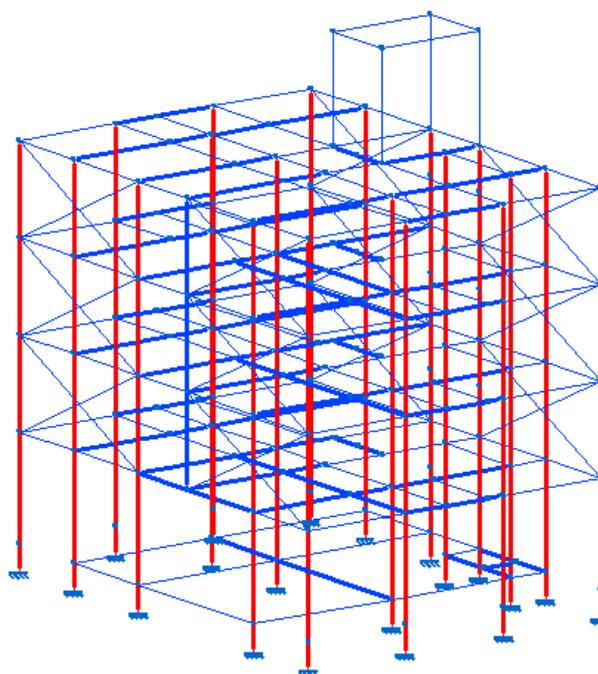
Inicialmente, em posse da arquitetura da obra, foi feito um levantamento de possíveis locais para a instalação dos pilares. Foi apagada todas as informações da arquitetura em arquivo DWG e sobrepostos os pavimentos, com a finalidade de observar o alinhamento das

paredes e interseções. Inicialmente foi considerado um perfil para ser adotado aos pilares, afim de obter de forma mais precisa possível a posição do centro de massa da seção. Nesse sentido, foi adotado o perfil HP 250x85,0 (APÊNCIDE E). Esse perfil foi escolhido devido às características em que seus dois sentidos possuem tamanhos próximos.

Assim, definido os locais exatos para inicialmente locar os pilares, deu-se início a etapa do *software*, em que consiste na modelagem da estrutura de forma tridimensional utilizando linhas bidimensionais como sendo os elementos. As vigas inicialmente adotadas foram da série W 250x44,8 e para o contraventamento, foi utilizado previamente o perfil HP 200x53,0.

Neste sentido, foi modelado a estrutura conforme a arquitetura original, obedecendo as posições iniciais dos pilares em concreto armado e seguindo o posicionamento de vigas mais próximo possível da estrutura base, feita em concreto armado. A figura 23 apresenta a modelagem inicial realizada no *software*.

Figura 23 - Primeira concepção



Fonte: Autoria própria

### 3.2.3. Carga de vento

Para o levantamento da carga de vento, foi utilizado o software CICLONE, que foi desenvolvido pelo departamento de estrutura da escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Neste programa, é inserido as características

geométricas da edificação e as informações do local da obra. Para o preenchimento das devidas informações, teve-se o auxílio da norma ABNT NBR 6123:88 – Forças devidas ao vento em edificações.

O programa, após a realização dos dados de entrada, fornece as cargas de vento por área, nas duas direções, x e y, previamente definidas no uso do mesmo. As cargas obtidas pelo programa são apresentadas pela Tabela 6.

Tabela 6 - Carga de vento

Direção	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
X	0,448
Y	0,45

Fonte: Autoria própria

Devido às características geométricas e locais, os valores deram aproximadamente os mesmos e por isso adotou-se como sendo iguais, sendo assim, 0,45 kN/m<sup>2</sup> em ambas as direções.

#### 3.2.4. Carga de uso e cargas permanentes

As cargas de uso e permanentes foram obtidas através da norma ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Um adendo deve ser feito: A estrutura original, feita em concreto armado, utilizou as cargas provenientes da versão antiga dessa mesma norma.

Assim, as cargas de uso da edificação obedeceram ao uso indicado na arquitetura, considerando as paredes de vedações no material também informado na arquitetura. Assim, o edifício será utilizado para escritórios e áreas afins e as alvenarias de vedação consistem em alvenaria de bloco cerâmico não estrutural e de gesso acartonado. Assim as cargas utilizadas estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Cargas da norma NBR 6120:2019

Cargas utilizadas na edificação		
Tipo	Carga	Unidades
Escritórios (uso)	2,5	kN/m <sup>2</sup>
Coberturas	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Escadas	3,0	kNm <sup>2</sup>
Drywall	0,5	kN/m <sup>2</sup>
Bloco cerâmico vazado	1,6	kN/m <sup>2</sup>

Revestimento de pisos	1,0	kN/m <sup>2</sup>
-----------------------	-----	-------------------

Fonte: NBR 6120:2019/Adaptado

Além desses valores apresentados, também teve de ser considerada a carga dos reservatórios. Foi estabelecido, na arquitetura, que seria utilizado apenas um reservatório superior para toda a edificação, e este terá uma capacidade volumétrica de 3,0 mil litros. Assim, considerando peso específico da água de 9810 N/m<sup>3</sup> e a área de 10,35 m<sup>2</sup>, em que se situa o reservatório, a carga considerada do reservatório foi de 2,85 kN/m<sup>2</sup>.

### 3.2.5. Definição e carga das lajes

Para o dimensionamento das lajes *Steel Deck*, foi utilizado um catálogo de uma empresa especializada no fornecimento (APÊNCIDE F). A empresa METFORM tem sede na cidade de Betim, em Minas Gerais e fornece telhas fôrma próprias para lajes. Em posse do catálogo, analisando os requisitos para a escolha do material correto, escolheu-se a Telha Fôrma MF 50 com altura de laje de piso de 130 mm com espessura de 1,25 mm.

Para essa escolha, levou-se em consideração os vão entre as vigas nos pavimentos, as cargas de uso dos pavimentos e as cargas permanentes. Assim, definido a telha forma e com as especificidades indicadas no catálogo, foi possível fazer o levantamento correto de matérias e de cargas. A carga de peso próprio da laje, foi calculada baseada nas informações do catálogo, as quais são apresentadas na Tabela 8. Para o devido cálculo, foi considerado o peso do concreto de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 8 - Carga dos componentes das lajes

Cargas dos componentes da laje		
Material	Cargas	Unidade
Telhas Formas	13,11	kg/m <sup>2</sup>
Concreto	252	kg/m <sup>2</sup>
Aço	1,48	kg/m <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria

Ao somar tais valores, e fazendo a devida conversão. Considerando a aceleração da gravidade como 9,81 m/s<sup>2</sup>, encontra-se o valor aproximado de 2,62 kN/m<sup>2</sup> de peso próprio das lajes.

### 3.2.6. Cálculo da estrutura

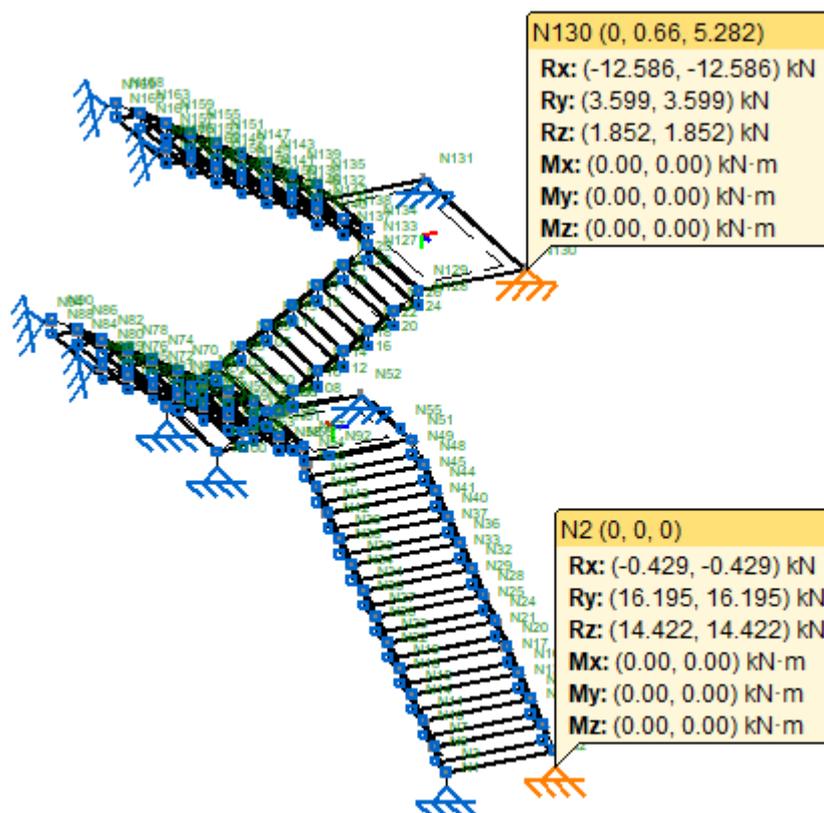
Após as definições de todas as cargas, e da modelagem já realizada, foi necessário atribuir valores de entrada no *software* para o correto cálculo da estrutura. O CYPE 3D importa as configurações mediante normas já predefinidas, assim, foi considerado os dados pertinentes as normas padrão de cálculo, ou seja, a ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 8800: 2008.

A partir deste entendimento, foi feita a inserção das cargas na edificação; inserido a tensão admissível solo, que foi informado pelo engenheiro do projeto original que era de 1,5 MPa; e após isso iniciou-se o processo de cálculo. Após o cálculo inicial, foi necessário alterar muitos dos perfis previamente escolhidos para peças mais robustas, com dimensões maiores e também foi possível diminuir as dimensões de alguns elementos estruturais previamente adotados. Esse procedimento de calcular a estrutura, mudar a disposição e posição de elementos e trocar alguns perfis, foram feitos várias vezes até que se conseguiu fazer que todos os elementos passem e de forma otimizada, ou seja, com as menores bitolas de perfis possíveis para não gerar excesso de matérias.

### 3.2.7. Cálculo das escadas

Assim como informado anteriormente, por opção de projeto, as escadas foram dimensionadas separadamente do restante da estrutura. Isso se justifica pela dificuldade na manipulação do *software* para a modelagem da mesma. Sabendo da influência que as escadas ocasionam na edificação como um todo, apesar de terem sido dimensionadas separadamente, foram retiradas as cargas resultantes e aplicadas nos pontos exatos onde os elementos estariam soldadas na estrutura. A Figura 24 mostra alguns dos esforços utilizados das escadas.

Figura 24 - Reações de apoio nas escadas



Fonte: Autoria própria

Como mostrado, o *software* nos apresenta as reações de apoio, assim, foi necessário utilizar dos mesmos valores, porém em sentido contrário, para implementação nos pontos designados onde as escadas estariam soldadas nos elementos estruturais do edifício. Diante disso, é importante ressaltar que a estrutura só pôde ser devidamente calculada após o dimensionamento das escadas, assim, ambos os dimensionamentos foram realizados de forma concomitante, onde as alterações em um, implicavam mudanças no outro.

Para o dimensionamento das escadas, foi utilizado perfil U caixa dupla soldada, e para os degraus foram utilizadas chapas de aço para piso com 6,30 mm de espessura.

### 3.3. Análise dos resultados

Após o completo dimensionamento da estrutura metálica no *software*, fez-se necessário analisar os resultados referentes ao edifício, em relação ao que o programa fornece. Foram levadas em consideração todas as variáveis que podem influenciar no produto final do estudo em questão.

Neste âmbito, foi necessário levar em consideração algumas informações fornecidas pelos programas, as quais foram:

- Informações sobre as peças utilizadas, em que verifica se todas as peças e todas as escolhas feitas até então são as melhores opções para o problema proposto;
- A influência gerada pela estrutura nas fundações;
- A lista de materiais referente ao dimensionamento.

Após ter posse dessas informações, iniciou-se a etapa seguinte, em que foi feito o levantamento de custos e comparação entre os sistemas estruturais.

### **3.4. Comparação dos sistemas estruturais**

Nesta etapa o propósito do estudo teve respostas sobre os questionamentos levantados no início deste trabalho, e dependia que todas as etapas anteriores fossem realizadas da forma mais eficiente possível. Refere-se à realização da comparação dos valores de custos levantados através dos dimensionamentos já realizados.

A partir da lista de materiais já levantada em ambos os dimensionamentos, com o auxílio das tabelas do SINAPI atualizadas referentes ao estado do Tocantins, foi realizado a etapa de levantamento de custos. Em posse dos resultados, foram executados tabelas e gráficos para as possíveis comparações.

Conseqüentemente, após a comparação entre os sistemas, e analisando o viés econômico associado ao tipo de edifício estudado, foi possível chegar a uma conclusão referente ao que foi pautado na pesquisa, podendo ser favorável ou não as hipóteses levantadas no início do trabalho.

#### *3.4.1. Custos da estrutura de concreto armado*

Para o levantamento de custos do concreto armado, foi utilizado exclusivamente as tabelas de composições e insumos do SINAPI com atualização em julho de 2020 (versão mais atual até a data em que este trabalho está sendo escrito) de forma não desonerada, ou seja, aos custos incluem os encargos sociais. O levantamento de quantitativos seguiu o projeto que já estava feito previamente. As pranchas que contém as informações dos quantitativos de materiais possuíam quadros resumos de materiais, ou seja, já estava especificado a quantidade exata de materiais por prancha, porém, devido a uma mesma folha conter diversos elementos

distintos, foi necessário, na maioria delas, fazer o levantamento dos materiais individualmente, para que seja possível levantar o custo da melhor forma (APÊNDICE A).

#### 3.4.2. Custos da estrutura metálica

Para o levantamento de custos da estrutura metálica, também teve como objeto principal de consulta as tabelas de custos, insumos e composições do SINAPI, atualizada no mês de julho de 2020 e também usando a forma não desonerada (APÊNDICE B).

É importante fazer um adendo a respeito do levantamento do custo de mão de obra para execução dos elementos que foram cotados a mercado. Para esse levantamento, foi utilizado os insumos do SINAPI, mas foi feita uma relação entre a mão de obra (que inclui armador, ajudante e soldador) com a estrutura metálica. A estratégia consistiu em abrir as composições de custo das vigas metálicas, e observar o coeficiente entre a mão de obra e o peso do aço. Fazendo uma multiplicação entre o coeficiente e o valor não desonerado, e posteriormente somando entre toda a mão de obra, é possível descobrir um valor de custo de mão de obra por kg de aço e assim aplicar aos elementos que foram cotados de forma diversa. Este procedimento foi necessário afim de atender o problema, uma vez que neste trabalho não é compreendido a estimativa do tempo de execução da obra, assim não poderia ser feito o custo com base na hora de trabalho.

Outro ponto importante, refere-se ao custo do transporte das telhas fôrma para o *steel deck*. Como a empresa que foi feita a cotação localiza-se no estado de Minas Gerais, foi imprescindível que se fizesse também uma cotação a respeito da movimentação desse material, e assim, foi necessário entrar em contato com uma empresa que trabalha com frete.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados da pesquisa realizada na metodologia adotada, com referência ao dimensionamento da estrutura metálica no software CYPE 3D, o levantamento de custos utilizando a base de dados SINAPI e a comparação dos edifícios com suas estruturas em diferentes sistemas construtivos (concreto armado e estruturas metálicas).

### 4.1. Cálculo da estrutura

O resultado dos materiais da primeira estrutura dimensionada em aço, é apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Quadro resumo da primeira opção

Tabela resumo														
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso				
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)		
Aço laminado	A-572 345MPa	I	W 200 x 31.3	476.885	715.665		1.922	3.269		15086.51	25659.16			
			W 250 x 38.5	96.180			0.477			3744.86				
			W 250 x 44.8	91.105			0.525			4119.40				
			W 310 x 52	51.495			0.345			2708.38				
		H	HP 250 x 85.0	275.500	451.510		2.989	4.262	7.531		23465.02	33455.88	59115.03	
			HP 310 x 93.0	14.500			0.173				1356.79			
			HP 200 x 53.0	161.510			1.100				8634.06			

Fonte: Autoria própria

Como é possível observar, o peso da estrutura em si ficou em 59,115 t. Diante disso, com o intuito de otimizar ainda mais a estrutura, foi realizado um segundo dimensionamento, com uma alternativa arquitetônica e aproveitando as propriedades do aço para tal.

Nesse segundo dimensionamento, foi retirado os pilares que ficavam aparentes na calçada, deixando a estrutura com dois balanços, um na fachada frontal e outro na fachada traseira. Além disso, alguns perfis foram previamente mudados, já se imaginando a necessidade, devido aos esforços originados pelos balanços.

Realizadas tais mudanças, foi novamente processada a estrutura para verificar se os perfis atendiam os requisitos da norma e resistiam aos esforços à que estavam submetidos. Novamente, foi necessário fazer algumas alterações, mudanças de perfil, reposicionamento de alguns elementos para enfim toda a estrutura passar no cálculo. Assim, os resultados de materiais da nova concepção são apresentados na Figura 26.

Figura 26 – Quadro resumo da segunda opção

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Série (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	I	W 200 x 31.3	346.330	691.130		1.396	3.549		10956.32	27858.97	
			W 250 x 44.8	73.965			0.426			3344.40		
			W 250 x 38.5	100.455			0.498			3911.32		
			W 310 x 52	110.950			0.743			5835.42		
			W 360 x 64	59.430			0.486			3811.51		
			W 310 x 97.0	14.500			0.179			1406.88		
			HP 250 x 85.0	208.500			2.262			17758.47		
			HP 310 x 93.0	14.500			0.173			1356.79		
			HP 200 x 53.0	154.211			1.050			8243.89		
			HP 250 x 62.0	22.084			0.176			1379.94		
		H		413.795	3.840	30145.97						
					7.389	58004.93						
					1104.925							

Fonte: Autoria própria

Assim, como é possível notar, a estrutura ficou mais leve 1,88%, ou seja, houve diminuição do peso do aço em 1110,1 kg considerando toda a estrutura. Diante de tal resultado, para prosseguimento da pesquisa, foi adotada a segunda opção, mostrada na Figura 21, no início deste Capítulo.

Definida a estrutura, escolheu-se utilizar sapatas para as fundações, pois a estrutura de concreto armado as utilizou e para tornar a comparação entre estruturas válidas foi necessário analisar a influência do peso da estrutura no dimensionamento das fundações. Nesse contexto, após a definição, foi efetuado o cálculo da estrutura e assim dimensionado os elementos e o resultado do levantamento de materiais da fundação são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo de materiais das fundações

Elemento	CA-50(kg)				Concreto (m <sup>3</sup> )
	Φ 10	Φ 12.5	Φ 16	Total	C25
Sapata N129	40.85	34.49		75.34	2.09
Sapata N130		9.44	9.69	19.13	0.90
Sapata N135 e N136			2x18.90	37.80	2x0.85
Sapata N137			19.58	19.58	0.93
Sapata N138			20.28	20.28	1.01
Sapata N131			30.44	30.44	0.59
Sapata N132 e N133	2x46.30	2x37.46		167.52	2x2.35
Sapata N134			69.82	69.82	1.69
Sapata N128			37.72	37.72	1.89
Totais	133.45	118.85	225.33	477.63	15.49

Fonte: Autoria própria

O Apêndice C apresenta a locação dos pilares de fundação da estrutura metálica, e o Apêndice D apresenta a planta de forma do pavimento térreo. É importante observar em ambos os anexos o posicionamento dos elementos estruturais.

Após a modelagem obedecendo exatamente a arquitetura, a escada foi dimensionada e os perfis foram ajustados para se adequarem aos esforços. A Tabela 10 apresenta o resumo dos perfis utilizados nas escadas. A variabilidade de perfis utilizados nas escadas decorre da tentativa de otimização para utilizar a menor massa de materiais.

Tabela 10 - Aço das escadas

Tabela Resumo escada				
Material	série	Perfil	Comprimento (m)	Peso (kg)
Aço laminado	Perfil U	U 76.2 x 4.3, Caixa dupla soldada	73,858	902,15
		U 101.6 x 6.3, Caixa dupla soldada	16,815	245,09
		U 152.4 x 5.1, Caixa dupla soldada	1,4	34,07
		U 152.4 x 8.0, Caixa dupla soldada	6,079	189,91
		Total	98,152	1371,22

Fonte: Autoria própria

A quantidade de placa de aço utilizada nas escadas, foi levantada de forma manual, e para isso, foi considerado as dimensões de projeto, onde os degraus possuem 0,28x1,2 m e os patamares possuem 1,2 x 2,4 m e 1,2 x 1,2 m. Assim, a área total de chapa de aço necessária foi de 32,928 m<sup>2</sup>, adotando para fins de cálculo o valor de 33 m<sup>2</sup>.

## 4.2. Levantamento de custo

Como já apresentado, para o devido cálculo dos custos utilizou-se por base as composições e insumos de custo de referência do SINAPI. Entretanto, para alguns elementos, foi necessário utilizar o preço de mercado.

### 4.2.1. Custos da estrutura de concreto armado

O custo total da estrutura em concreto armado foi de R\$ 400.898,14. Este valor está apresentado no APÊNCIDE A, onde a estrutura completa foi dividida em fundação e superestrutura. A Figura 27 apresenta a divisão de custos entre a superestrutura e a fundação para a estrutura em concreto armado.

Figura 27 – Divisão de custos no concreto armado



Fonte: Autoria própria

Os aproximadamente 26% do custo de fundações, equivalem a R\$ 105.307,98, e os 74% da estrutura equivalem a R\$ 295.590,16. Nos elementos de fundação, está contido juntamente com as sapatas, as vigas baldrame, e também os pilares de arranque.

#### 4.2.2. Custos da estrutura metálica

Alguns elementos foram cotados de forma diversa do padrão adotado, sendo à mercado, nesse sentido, cotou-se também o transporte necessário para trazer os materiais que viriam de outro estado.

A empresa que atendia a demanda necessária, utilizando um veículo capaz de fazer o transporte e considerando todo o peso da carga previamente calculada, foi a Expresso GP Transportes e foi informado o custo referente a R\$ 10.546,23. Assim, esse valor teve de ser incluído nos cálculos para uma representação mais fidedigna.

Nesse sentido, o valor total da estrutura metálica, com fundações em concreto armado, foi de R\$ 645.617,87. A Figura 28 apresenta a divisão de custos entre as fundações e a superestrutura. Nota-se que diferentemente da estrutura em concreto armado, nas fundações figuraram apenas as sapatas, não incluindo as vigas nem os pilares de arranque.

Figura 28 - Divisão de custos na estrutura metálica



Fonte: Autoria própria

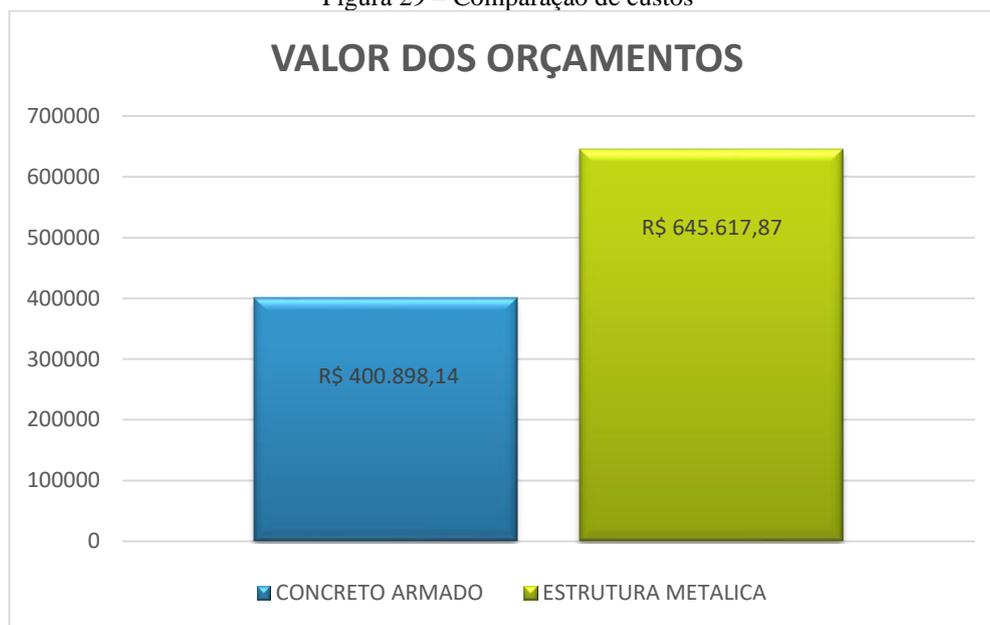
Como é possível observar na imagem, o maior custo encontra-se na estrutura metálica e isso compreende o valor de R\$ 629.489,22 enquanto que o custo com as sapatas foi apenas de R\$ 16.128,65, o equivalente a quase 2,5% do custo total da estrutura.

### 4.3. Comparação entre os sistemas estruturais

#### 4.3.1. Comparação de custos

Feito o levantamento de custo dos materiais envolvidos na estrutura, chega-se a uma importante etapa desta pesquisa: a comparação entre os dois sistemas estruturais. Nesse sentido, objetivando seguir as preconizações informadas no início deste trabalho, os valores apresentados a seguir tratam-se de uma estimativa que tentou-se seguir o que representaria a realidade. Assim, a Figura 29 mostra a diferença de custos em entre as estruturas objetos de avaliação.

Figura 29 – Comparação de custos



Fonte: Autoria própria

Diante dos dados apresentados, é possível observar que a diferença de custos entre as estruturas equivale ao valor de R\$ 244.719,73, ou seja, a estrutura metálica possui um custo de aproximadamente 61% maior que o do concreto armado. Esse resultado corrobora com Lima (2017), onde sua pesquisa apresentou que a estrutura em concreto armado era cerca de 52% mais econômica que a estrutura metálica.

Diante do resultado, onde a estrutura com perfis metálicos apresentou um custo superior ao do concreto armado, nota-se que vai em contramão ao que a primeira hipótese sugeria, no início deste trabalho, ou seja, analisando friamente os valores envolvidos na construção da edificação em questão, tornam-se mais onerosos se for preferível a estrutura metálica em detrimento da estrutura em concreto armado.

Para confirmar essa afirmação, leva-se em conta, ainda, a finalidade da edificação, que foi exposta pelo projeto arquitetônico. Assim, como o edifício tem como função de uso atender unicamente escritórios para fins comerciais, o custo a mais para a utilização do sistema proposto pode não ser viável.

Uma das vantagens, já mencionadas neste trabalho, das estruturas metálicas está relacionada ao seu tempo de execução, em que Silva e Pires (2016) afirmam que, em sua pesquisa, a estrutura metálica leva 50% do tempo do concreto armado para ser executada. Nesse sentido, se esta pesquisa tivesse tido como um dos objetivos a celeridade de execução da edificação, para que, por exemplo, possa alugar as salas mais rapidamente e assim auferir lucros em detrimento do maior gasto com o sistema estrutural, a alternativa estrutural

estudada poderia atender a demanda. Porém, como não foi objeto de estudo a comparação entre o tempo de execução da referida edificação, apenas levanta-se a proposta para futuras pesquisas realizarem tal estudo.

O que pode ter influenciado diretamente nos custos da estrutura metálica, refere-se as propriedades de fabricação do aço. Uma vez que as peças utilizadas para compor a estrutura são pré-fabricadas, de forma industrial, milimetricamente precisas, sendo apenas montadas no local da obra, infere-se que o custo torna maior em relação à estrutura de concreto armado aqui estudada, que é construída de forma artesanal.

Outro ponto que pode ter acarretado na influência dos resultados, trata-se do uso da mão de obra. A mão de obra para construções de estruturas em concreto armado, tende a ser de baixa qualidade, em contrapartida da mão de obra empregada na montagem das estruturas de aço, que tende a ser especializada. Além disso, o tempo levado para a construção das edificações pode influenciar diretamente, também, no custo final do produto.

Ressalta-se que não é objeto de estudo deste trabalho firmar conclusões a respeito dos motivos que causaram o respectivo resultado encontrado, apenas é feito levantamento de possíveis causas e levanta-se apontamentos para futuras pesquisas que possam contribuir e explicar os resultados desta pesquisa.

#### *4.3.2. Comparação entre os elementos de fundações*

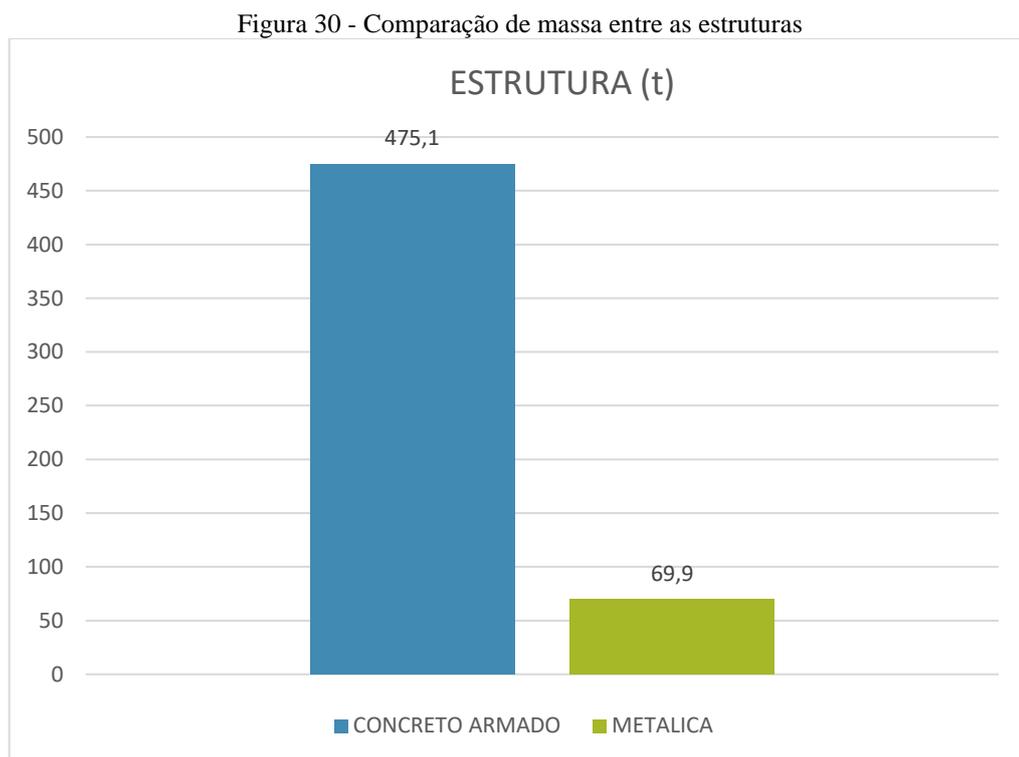
Outro aspecto importante que deve ser analisado para fins de comparação, é a influência que a estrutura tem sobre as fundações. Para entender esta análise, primeiramente é importante fazer um levantamento do peso das estruturas. Nesse aspecto, foi utilizado as informações apresentadas nos projetos para ser possível fazer as análises devidas.

Apesar de no projeto de concreto armado não possuir explicitamente o peso da estrutura, é possível fazer uma estimativa, desconsiderando as cargas utilizadas no dimensionamento, baseado no volume de concreto armado utilizada em toda a obra e considerando as propriedades específicas deste material. Nesse sentido, como é apresentado no APÊNCIDE A, o volume de concreto da obra da estrutura de concreto armado foi de 190,05 m<sup>3</sup>, e considerando a relação de 2500 kg/m<sup>3</sup> de concreto armado, foi possível chegar ao valor de 475.125 kg, ou seja, 475,1 toneladas.

Por outro lado, para fazer uma comparação com esse valor encontrado para o concreto armado, no próprio dimensionamento da estrutura metálica foi obtido o valor da massa da estrutura metálica. Porém, como o dimensionamento das lajes e das escadas foram realizados

de forma separada, o cálculo da massa foi realizado independentemente e após isso, somado ao valor obtido no dimensionamento. Assim, encontrou-se um valor de 69.880,78 kg, ou seja, 69,9 toneladas.

A Figura 30 apresenta de forma gráfica a diferença entre as estruturas. Nota-se que para o cálculo foi dispensada as fundações, uma vez que o levantamento dessas informações é relevante justamente para comparar os efeitos delas nos elementos de infraestrutura.



Fonte: Autoria própria

Diante das informações apresentadas, é possível observar que a estrutura de concreto armado é cerca de 6,8 vezes mais pesada que a estrutura metálica. Isso se deve principalmente às propriedades físicas destes materiais, e a utilização da estrutura metálica proporciona uma carga menor para ser dissipada no solo.

Assim, a Tabela 11 apresenta a diferença entre os materiais utilizados nas fundações em ambas as estruturas. Para fazer esse comparativo, foi necessário fazer um levantamento separado entre os elementos de fundações, para comparar efetivamente apenas os valores que representam as sapatas em ambos os projetos.

Tabela 11 - Comparação das fundações

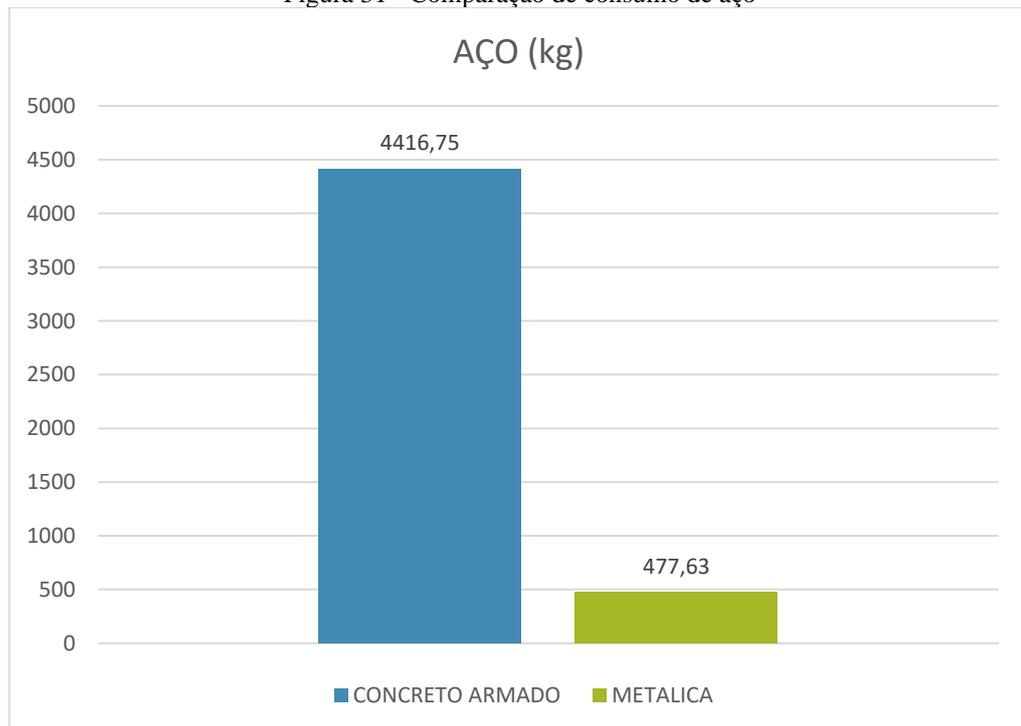
TABELA RESUMO			
	AÇO (kg)	CONCRETO (m <sup>3</sup> )	FORMA (m <sup>2</sup> )
CON. ARMADO	4416,75	54,67	135,36
METÁLICA	477,63	15,49	19,50

Fonte: Autoria própria

As informações apresentadas nesta tabela, foram obtidas mediante os projetos. Ressalta-se que na estrutura metálica, a área de forma não foi contabilizada nas listas de materiais geradas pelo *software* de dimensionamento, CYPE 3D, e devido a isso, foi necessário fazer seu cálculo de forma manual, utilizando para isso outras informações retiradas do projeto, como as dimensões das sapatas.

A seguir, é apresentado gráficos que exprimem a diferença entre as concepções estruturais objetos de estudo, considerando de forma isoladas os elementos que compõem as fundações, evidenciados na Tabela 11.

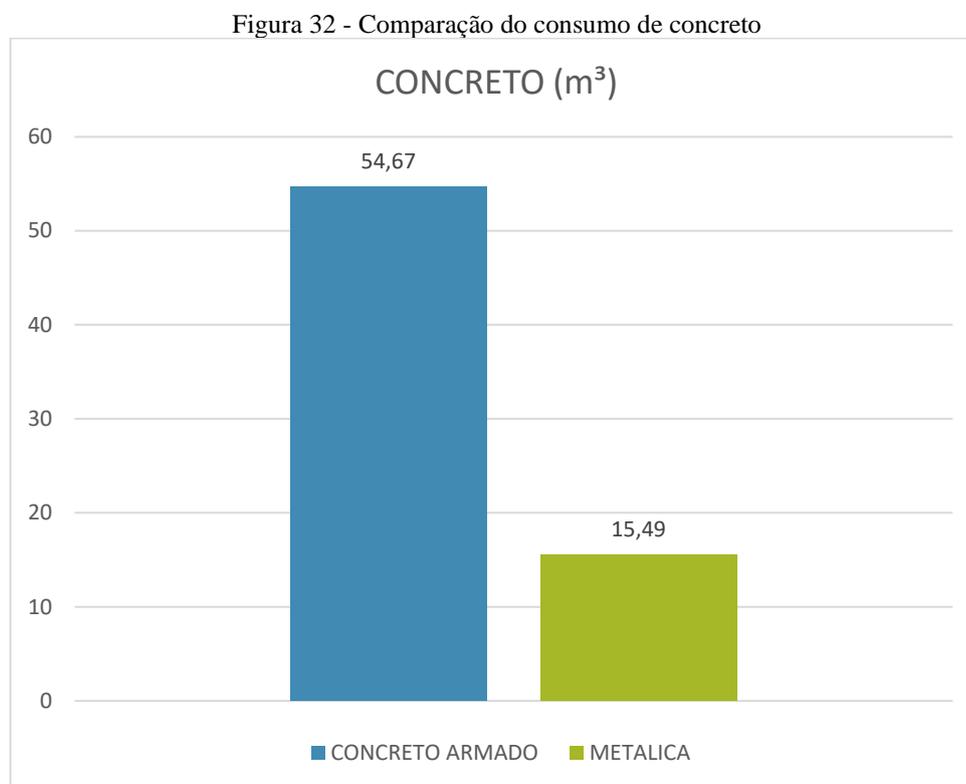
Figura 31 - Comparação de consumo de aço



Fonte: Autoria própria

A Figura 31 apresenta uma comparação entre o consumo de aço nas fundações em ambas as estruturas estudadas neste trabalho. É possível observar a grande diferença de consumo. Esta diferença representa um valor de 3.939,12 kg de aço utilizado nas sapatas de

concreto armado. Isso mostra que a estrutura que utiliza concreto armado consome 9 (nove) vezes mais aço em sua fundação do que a estrutura em aço. Isso pode ser justificado pela diferença de peso que as estruturas possuem.

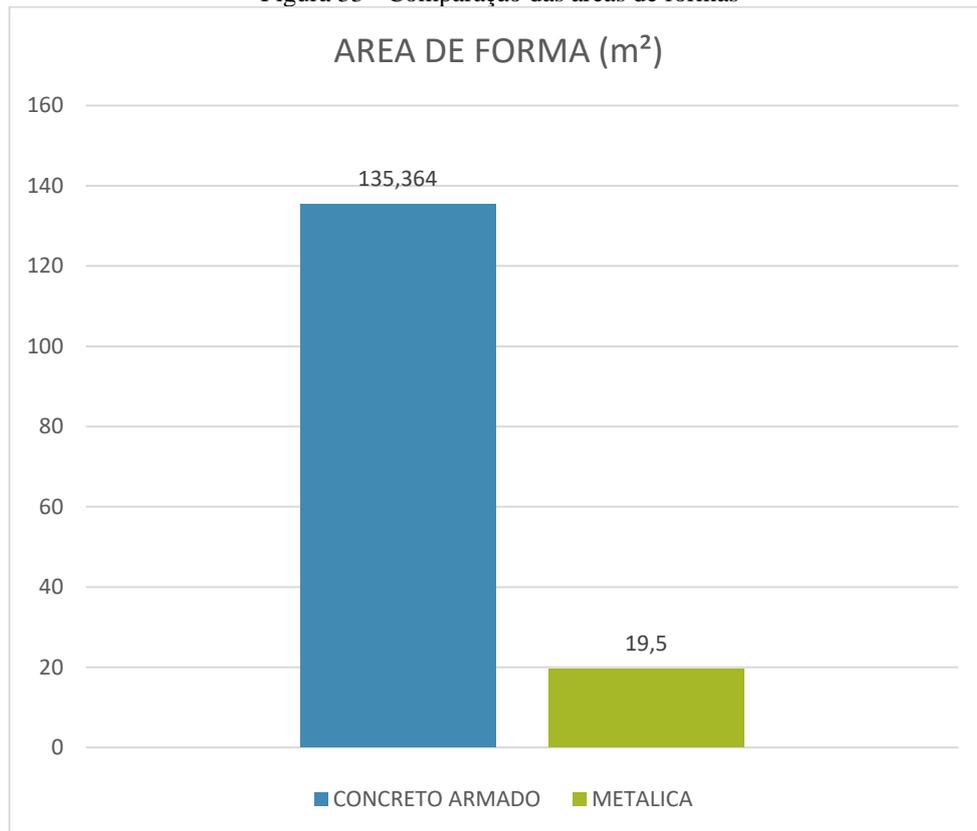


Fonte: Autoria própria

Assim como mostra a Figura 32, a estrutura em concreto armado apresenta um maior consumo de volume de concreto, representando cerca de 3,5 vezes mais consumo. Devido ao peso da estrutura em concreto armado ser maior, e a estrutura original possuir mais fundações, é notável que isso influencia diretamente tanto no consumo de concreto quanto no consumo de aço, pois, como é observado, as sapatas se apresentam como elementos mais robustos, com maiores dimensões.

Essa análise impacta também no cálculo das formas, uma vez que ao analisar os projetos, é notável a diferença das dimensões entre esses elementos. A Figura 32 apresenta graficamente essa diferença.

Figura 33 - Comparação das áreas de formas



Fonte: Autoria própria

Outro ponto importante que deve ser considerado para justificar os resultados apresentados, deve-se ao fato de a concepção das edificações diferirem bastante. No projeto em concreto armado, por exemplo, o edifício apresenta 21 pilares, conseqüentemente, 21 fundações. Em contrapartida, a estrutura proposta em aço, possui apenas 11 pilares, assim possui também apenas 11 elementos de fundação. Essas diferenças, somadas ao peso da estrutura, contribuem para justificar o resultado aqui discutido.

## 5. CONCLUSÃO

Baseado nos resultados encontrados, constata-se que dentre os sistemas estruturais estudados neste trabalho, o que apresentou ser menos oneroso foi a estrutura em concreto armado, com um custo 62,09% do custo do sistema em que se utiliza estrutura metálica, o que representa um valor de R\$ 244.719,73 em economia. Em contrapartida, o peso da estrutura em concreto armado é cerca de 6,8 o peso da estrutura metálica, em que essa diferença está em mais de 400 toneladas.

Ainda baseando-se nos resultados, é possível observar que o consumo de materiais destinados as fundações é bem maior no modelo originalmente vigente, em que o quilo do aço necessário é cerca de 9,25 vezes ao que se precisa pra utilizar no modelo proposto; o consumo de volume de concreto equivale a 3,53 vezes comparado à estrutura metálica; e o consumo da área de forma é equivalente a quase 7 vezes.

Diante de tais resultados, é possível notar que dentre as hipóteses previamente levantadas, apenas uma verificou-se verdadeira. O modelo estrutural proposto, em comparação ao existente, influencia nas fundações de forma a ter uma economia de material significativa, e isso deve-se as propriedades do material utilizado, e permite-se variar com os elementos estruturais, podendo diminuir a quantidade de elementos de fundação.

Por outro lado, a outra hipótese levantada não pôde ser confirmada. A estrutura metálica apresentou um custo mais elevado em comparação ao sistema estrutural já utilizado neste edifício. Este resultado pode ter ocorrido por diversos fatores, como a mão de obra empregada ser especializada, as peças utilizadas na estrutura metálica serem de fabricação rigorosamente controladas, a celeridade da montagem, entre outros. Nesse sentido, diante das premissas e parâmetros utilizados, conclui-se que a proposta de estrutura metálica é menos vantajosa que a estrutura já adotada na edificação, a estrutura em concreto armado.

Por fim, ressalta-se que este trabalho apresentou um estudo em cima de um edifício específico, com suas peculiaridades, e devido a isso, os resultados encontrados não sugerem que serão os mesmos para todas as situações. Mesmo diante disso, ressalta-se a importância da pesquisa como parâmetro de comparação para edifícios semelhantes, podendo nortear para casos em que se tenha parâmetros semelhantes. Nesse sentido, apresenta-se sugestões de pesquisas que podem ser desenvolvidas a partir deste trabalho:

- Comparar, entre as estruturas sugeridas, o tempo de execução da obra, para verificar a viabilidade em relação a outro parâmetro;

- Fazer a mesma comparação com edifícios com características diferentes ao abordado neste trabalho, para comparar se os resultados aqui encontrados se mantêm verdadeiros com outros objetos de estudo;
- Propor outros sistemas estruturais, como por exemplo alvenaria estrutural, e assim verificar o custo;
- Fazer uma comparação da estabilidade do edifício frente aos sistemas propostos;
- Fazer um estudo de análise ambiental a respeito dos resíduos da construção e verificar, analisando essa variável, a viabilidade dos sistemas estruturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. C. de. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de Aula, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2002.

AMBROZEWICZ, P, H, L. **Materiais de construção: Normas, Especificações, Aplicação e ensaios de laboratório**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681**. Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BARZELLAY, B. F. da C.; LONGO, O. O. **SINAPI como instrumento balizador de custos para a contratação de obras e serviços de engenharia realizados com recursos públicos**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Anais... Niterói. 2011.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula, Universidade Estadual Paulista, Bauru 2006.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2008.

BOTELHO, P. M. S. et al. **Estudo comparativo do custo benefício entre estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural em obras da cidade de vitória da conquista: um estudo de caso**. C&D: Revista eletrônica da FAINOR, Vitória da Conquista, v. 10, n. 1, p.18-28, abr. 2017.

BRITO, C. A. **Ponte de Coalbrookdale**. 2013. Disponível em: <<http://estoriadahistoria12.blogspot.com/2013/11/a-ponte-de-coalbrookdale.html>>. Acesso em: 12 out. 2019.

COÊLHO, R. S. de A.. **Concreto armado na prática**. São Luis: Editora Uema, 2008. 340 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL (Rio de Janeiro). **Edifícios de pequeno porte estruturados em aço**. 4. ed. Rio de Janeiro: Iabr/cbca, 2011. 108 p.

LIMA, J. L. R. de. **Estudo comparativo entre estrutura metálica e de concreto armado em uma edificação: estudo de caso**. 2017. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, A Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - Uniceub, Brasília, 2017

**MANUAL DO UTILIZADOR CYPE 3D: Memória de Calculo.** Braga CYPE Ingenieros S. A., 2015.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, C. H. **Contribuição da rigidez transversal à flexão das lajes na distribuição dos esforços em estruturas de edifícios de andares múltiplos, em teoria de segunda ordem.** 1998. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

MIGUEL, L. F. F.; CARQUEJA, M. H. A.. **Ecv5255 – estruturas metálicas I.** 2. ed. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina (ufsc), 2012. 157 p. Apostila.

OLIVEIRA, L. C. de. **Estudo comparativo entre estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto aplicadas a edifícios de múltiplos andares.** 2018. 155 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PAZ, R. S.; BELLEI, P.; BARBISAN, A. O. **Comparativo de custos entre estruturas de aço e concreto armado em Xanxerê - SC.** Uceff, Xanxerê, v. 3, n. 1, p.35-56, jan. 2019.

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos.** 2. ed. São Paulo: Edgarg Blucher, 2005

PFEIL, M. e PFEIL, W. (2009). **Estruturas de aço – Dimensionamento prático.** 8ª Edição. Livros Técnicos e Científicos (LTC).

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado:** conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

QUEIROZ, J. S. **Gestão e análise do custo unitário direto das atividades executadas no canteiro de obras: estudo de caso de um edifício em Palmas – To.** 2019. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

ROSSATTO, B. M. **Estudo comparativo de uma edificação em estrutura metálica/concreto armado: estudo de caso.** 2015. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SANTOS, P. R. dos. **Análise e cálculo de elementos estruturais em concreto armado de um edifício residencial.** 2014. 184 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

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

SCADELAI, M. A.; PINHEIRO, L. M.. Estruturas de concreto – CAPÍTULO 16. In: PINHEIRO, L. M.. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: Universidade de SÃO Paulo, 2007. Cap. 16. p. 219-249.

SILVA, C. B. P. da. **Influência da localização do núcleo rígido de edifícios de múltiplos pavimentos no comportamento global das estruturas**. 2017. 74 f. Monografia (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.

SILVA, L. de F.; PÍRES, N. R. M. C. **Análise comparativa entre estrutura em concreto armado x estrutura metálica em relação ao tempo de execução e custo para construção de escolas**. 2016. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Tecnológico de Caratinga, Caratinga, 2016.

**SINAPI. Manual de metodologias e conceitos**.06. ed. São Paulo: Caixa Econômica Federal, 2014. 128 p.

**APÊNDICE A: LEVANTAMENTO DE CUSTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO  
ARMADO**

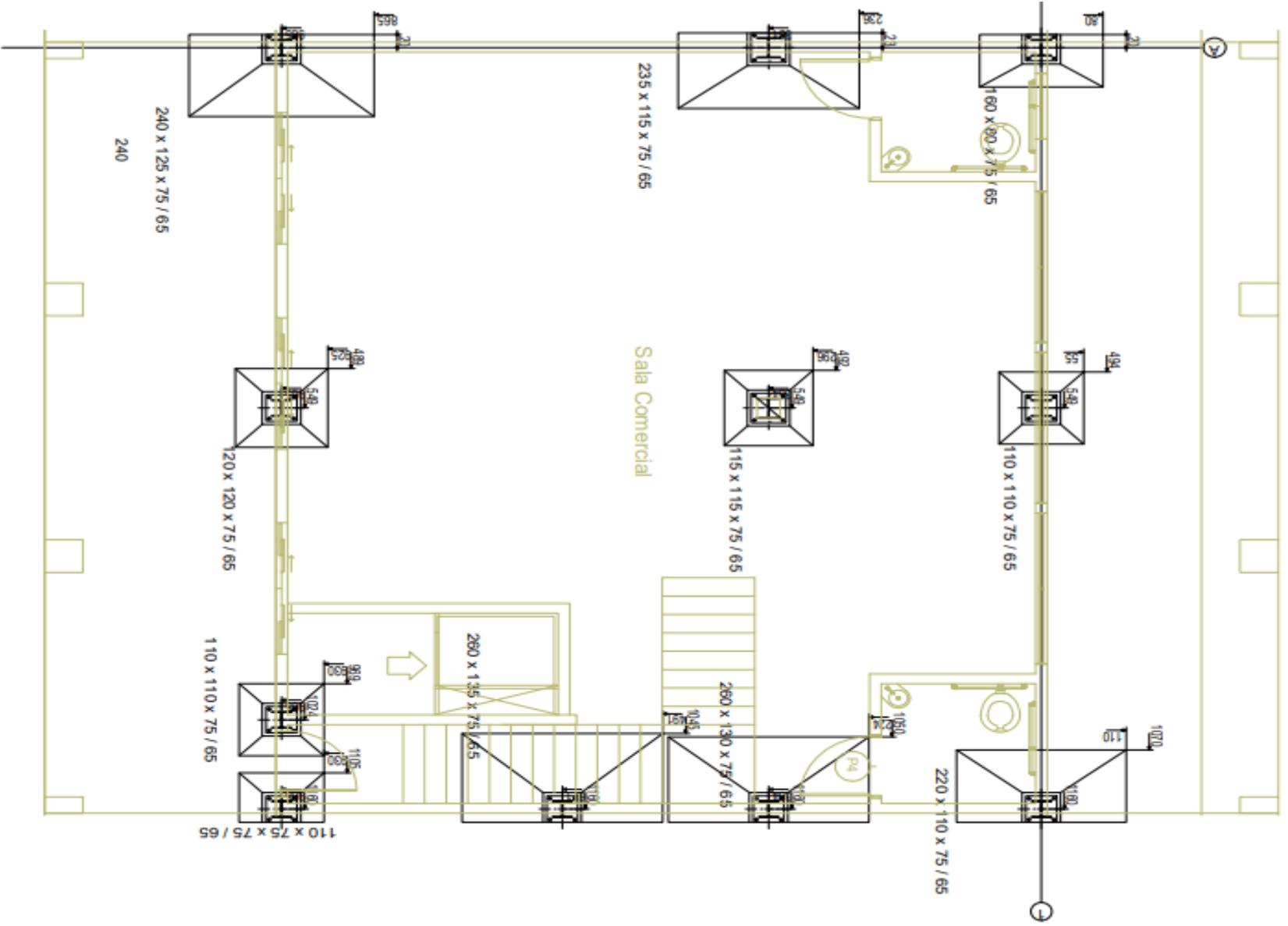
ITEM	COD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNITARIO	PREÇO TOTAL S/ BDI
<b>01.00</b>		<b>FUNDAÇÕES</b>				<b>R\$ 105.307,98</b>
01.01	96522	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA, SEM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	54,67	104,55	5.715,57
01.02	96527	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA PARA VIGA BALDRAME, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	5,52	87,07	480,77
01.03	94962	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_07/2016	M3	4,48	271,68	1.217,94
01.04	96536	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	57,82	45,13	2.609,24
01.05	96541	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	165,36	137,25	22.696,21
01.06	96545	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	635,20	10,10	6.415,52
01.07	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	386,20	8,87	3.425,59
01.08	96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	1.393,80	7,40	10.314,12
01.09	96548	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	1.052,30	6,88	7.239,82
01.10	96544	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	226,30	11,16	2.525,51
01.11	96549	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	683,00	7,50	5.122,50
01.12	96543	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	226,50	12,41	2.810,87
01.13	96550	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	434,90	7,24	3.148,68
01.14	96555	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAME, FCK 30 MPA, COM USO DE JERICA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2017	M3	60,19	492,58	29.648,39
01.15	98557	IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFÍCIE COM EMULSÃO ASFALTICA, 2 DEMÃOS AF_06/2018	M2	73,94	26,2	1.937,25
<b>02.00</b>		<b>ESTRUTURA</b>				<b>R\$ 295.590,16</b>
02.01	92430	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MENOR OU IGUAL A 0,25 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	466,40	40,95	19.099,08
02.02	92467	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	733,55	60,44	44.335,55
02.03	92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	1.005,05	10,33	10.382,15
02.04	92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	1.964,98	7,89	15.503,69
02.05	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	460,99	6,62	3.051,74

ITEM	COD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNITARIO	PREÇO TOTAL S/ BDI
02.06	92780	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	553,03	6,48	3.583,62
02.07	92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	2.716,33	8,87	24.093,81
02.08	92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	1.555,33	9,57	14.884,47
02.09	92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	475,30	7,00	3.327,10
02.10	92766	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	257,10	6,83	1.755,99
02.11	94966	CONCRETO FCK = 30MPA, TRAÇO 1:2,1:2,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_07/2016	M3	190,05	361,78	68.756,29
02.12	92873	LANÇAMENTO COM USO DE BALDES, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS. AF_12/2015	M3	190,05	151,19	28.733,66
02.13	74202/002	LAJE PRE-MOLDADA P/PISO, SOBRECARGA 200KG/M2, VAOS ATE 3,50M/E=8CM, C/LAJOTAS E CAP.C/CONC FCK=20MPA, 4CM, INTER-EIXO 38CM, C/ESCORAMENTO (REAPR.3X) E FERRAGEM NEGATIVA	M2	706,52	82,21	58.083,01
02.14	92767	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	2,32	10,46	24,27
02.15	92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	7,25	9,22	66,85
02.16	92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	86,57	8,74	756,62
02.17	92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	120,88	8,24	996,05
02.18	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	83,52	7,39	617,22
02.19	92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	12,71	6,25	79,45
02.20	92773	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	9,77	5,99	58,54
02.21	95943	ARMAÇÃO DE ESCADA, COM 2 LANCES, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_01/2017	KG	0,70	15,09	10,56
02.22	95944	ARMAÇÃO DE ESCADA, COM 2 LANCES, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_01/2017	KG	56,50	13,65	771,23
02.23	95945	ARMAÇÃO DE ESCADA, COM 2 LANCES, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_01/2017	KG	58,80	10,95	643,86
02.24	95946	ARMAÇÃO DE ESCADA, COM 2 LANCES, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_01/2017	KG	260,30	8,66	2.254,20
02.25	95947	ARMAÇÃO DE ESCADA, COM 2 LANCES, DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_01/2017	KG	58,70	6,65	390,36
02.26	95941	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_01/2017	KG	69,09	110,83	7.657,24
					<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 400.898,14</b>

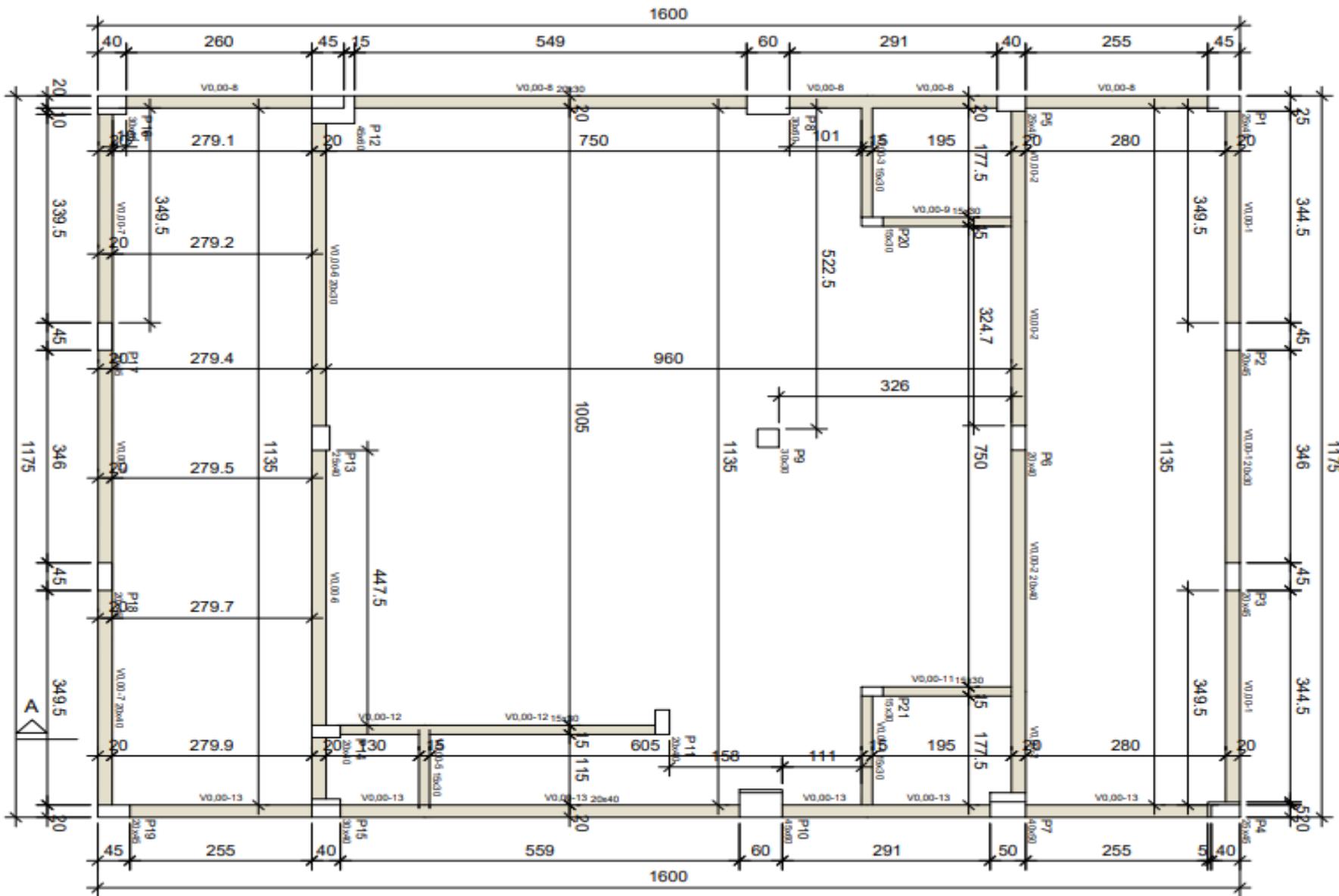
**APÊNDICE B: LEVANTAMENTO DE CUSTO DA ESTRUTURA METÁLICA**

ITEM	COD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNITARIO	PREÇO TOTAL S/ BDI
<b>03.00</b>		<b>FUNDAÇÕES</b>				<b>R\$ 16.128,65</b>
03.01	96522	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA, SEM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	15,49	104,55	1.619,48
03.02	96527	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA PARA VIGA BALDRAME, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	2,21	87,07	192,42
03.03	94962	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_07/2016	M3	1,11	265,78	295,02
03.04	96541	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	19,50	133,53	2.603,84
03.05	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	133,45	8,60	1.147,67
03.06	96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	118,85	7,16	850,97
03.07	96548	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	225,33	6,64	1.496,19
03.08	96555	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAME, FCK 30 MPA, COM USO DE JERICA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2017	M3	15,49	481,42	7.457,20
03.09	98557	IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFÍCIE COM EMULSÃO ASFALTICA, 2 DEMÃOS AF_06/2018	M2	19,50	23,89	465,86
<b>04.00</b>		<b>ESTRUTURA</b>				<b>R\$ 629.489,22</b>
04.01	100764	VIGA METÁLICA EM PERFIL LAMINADO OU SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES SOLDADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020_P	KG	29.513,71	9,38	276.838,60
04.02	100766	PILAR METÁLICO PERFIL LAMINADO OU SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES SOLDADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020	KG	28.739,09	8,69	249.742,69
04.03	A MERCADO	TELHA-FÔRMA PARA STEEL DECK (METFORM)	M	590,54	50,00	29.527,05
04.04	99235	CONCRETAGEM DE EDIFICAÇÕES (PAREDES E LAJES) FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS, COM CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL FCK 25 MPA - LANÇAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2015	M3	67,77	385,18	26.102,49
04.05	92767	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	955,19	10,46	9.991,29
04.06	SINAPI	MONTADOR, AJUDANDO E SOLDADOR DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	KG	11.627,98	0,66	7.621,73
04.07	A MERCADO	TRANSPORTE DAS TELHAS-FÔRMA PARA STEEL DECK - EMPRESA EXPRESSO GP TRANSPORTES CNPJ: 27.952.595/0001-31	UN	1,00	10.546,23	10.546,23
04.08	10966	PERFIL "U" DE ACO LAMINADO, "U" 152 X 15,6	KG	223,98	5,34	1.196,05
04.09	43665	PERFIL "U" DE ACO LAMINADO, "U" 102 X 9,3	KG	245,09	5,02	1.230,35
04.10	40535	PERFIL "U" SIMPLES DE ACO GALVANIZADO DOBRADO 75 X *40* MM, E = 2,65 MM	KG	902,15	5,06	4.564,88
04.11	1337	CHAPA DE ACO XADREZ PARA PISOS, E = 1/4 " (6,30 MM) 54,53 KG/M2	KG	1.795,56	6,58	11.814,78
04.12	10997	ELETRODO REVESTIDO AWS - E7018, DIAMETRO IGUAL A 4,00 MM	KG	11.627,98	0,03	313,08
					<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 645.617,87</b>

**APÊNDICE C: LOCAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA.**



**APÊNDICE D: FORMA DO TÉRREO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.**



**APÊNDICE E: CATÁLOGO DA EMPRESA GERDAU**

# TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>r</sub> mm	ESPESSURA			d'	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	u m <sup>2</sup> /m	BITOLA in x lb/ft
				t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	h			I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	Z <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	Z <sub>y</sub>			MESA-λ <sub>t</sub>	ALMA-λ <sub>w</sub>			
				mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>			b <sub>r</sub> /2t <sub>r</sub>	d'/t <sub>w</sub>			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20	HP 8 x 36
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20	W 8 x 40
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22	W 8 x 48
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23	W 8 x 58
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87	385.454	1,25	W 8 x 67
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13.735	0,88	W 10 x 12
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18.629	0,89	W 10 x 15
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22.955	0,89	W 10 x 17
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27.636	0,90	W 10 x 19
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73.104	1,07	W 10 x 22
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93.242	1,08	W 10 x 26
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112.398	1,09	W 10 x 30
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8728	709,6	10,47	790,5	2995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	414.130	1,47	HP 10 x 42
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11257	889,9	11,02	983,3	3880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552.900	1,48	W 10 x 49
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12550	980,5	11,10	1088,7	4313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622.878	1,49	W 10 x 54
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12280	966,9	10,64	1093,2	4225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605.403	1,50	HP 10 x 57
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14237	1095,1	11,18	1224,4	4841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712.351	1,50	W 10 x 60
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16352	1238,8	11,27	1395,0	5549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828.031	1,51	W 10 x 68
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18920	1406,7	11,38	1597,4	6405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975.265	1,53	W 10 x 77
W 250 x 131,0 (H)*	131,0	275	261	15,4	25,1	225	193	167,8	22243	1617,7	11,51	1855,6	7448	570,7	6,66	870,7	7,21	321,06	5,20	12,52	1.161.225	1,54	W 10 x 88
W 250 x 149,0 (H)*	149,0	282	263	17,3	28,4	225	193	190,5	26027	1845,9	11,69	2137,5	8624	655,8	6,73	1001,7	7,27	462,06	4,63	11,17	1.384.436	1,55	W 10 x 100
W 250 x 167,0 (H)*	167,0	289	265	19,2	31,8	225	193	214,0	30110	2083,7	11,86	2435,3	9880	745,7	6,79	1140,2	7,33	644,95	4,17	10,07	1.631.156	1,57	W 10 x 112
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21.628	0,98	W 12 x 14
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25.594	0,99	W 12 x 16
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35.441	1,00	W 12 x 19
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43.612	1,00	W 12 x 22
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163.728	1,25	W 12 x 26
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194.433	1,26	W 12 x 30
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11909	751,4	13,33	842,5	1026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236.422	1,27	W 12 x 35
W 310 x 60,0*	60,0	303	203	7,5	13,1	277	245	76,1	12908	852,0	13,02	944,3	1829	228,7	4,90	275,4	5,48	40,46	6,29	26,11	383.747	1,38	W 12 x 40
W 310 x 67,0*	67,0	306	204	8,5	14,6	277	245	85,3	14559	951,5	13,06	1060,4	2069	202,8	4,92	310,5	5,51	55,35	6,99	28,80	438.542	1,38	W 12 x 45
W 310 x 74,0*	74,0	310	205	9,4	16,3	277	245	95,1	16501	1064,6	13,17	1192,0	2344	180,2	4,96	350,5	5,54	75,51	7,75	32,64	504.715	1,39	W 12 x 50
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16316	1091,3	12,77	1210,1	5258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089.258	1,77	HP 12 x 53
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19682	1299,1	12,85	1450,3	6387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340.320	1,78	HP 12 x 63
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22284	1447,0	13,43	15											

**APÊNDICE F: CATÁLOGO DA EMPRESA METFORM S. A.**

## Tabela de cargas e vãos máximos - MF 50

Laje de Forro	Altura da Laje (mm)	Espessura Telha-fôrma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m²)															
			Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
									1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	9,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54	
	0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16	
	1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38	
110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76	
	0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46	
	1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85	
120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98	
	0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76	
	1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,34	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32	
130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19	
	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06	
	1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79	
140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41	
	0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36	
	1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26	
150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63	
	0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66	
	1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72	
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19	
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06	
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	

## Exemplo de utilização da tabela

Por exemplo, suponha que seja necessário projetar uma laje de piso, apoiada em vigas de aço e submetidas a vãos múltiplos de 2.500mm. As cargas de serviço a atuarem nesta laje serão: 1,0kN/m<sup>2</sup> de revestimento e 3,0kN/m<sup>2</sup> de sobrecarga.

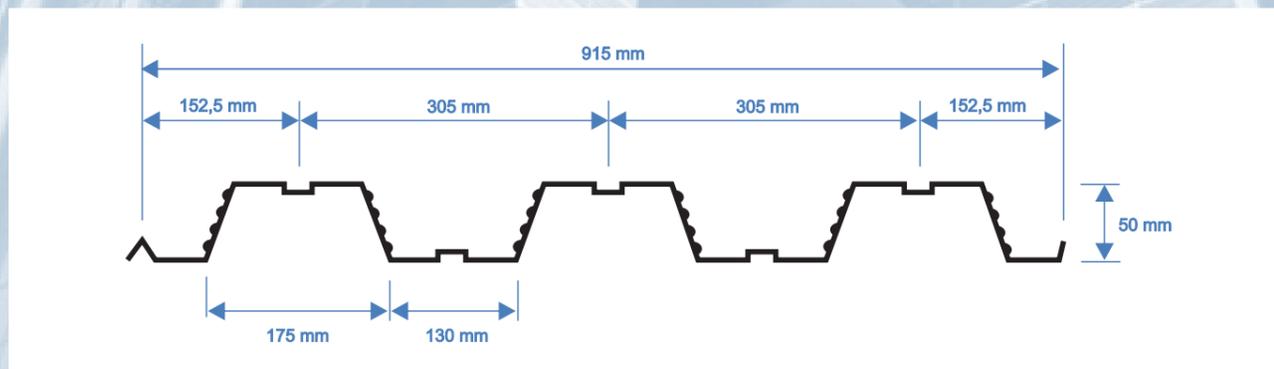
Será feita a verificação para uma laje com 120mm de altura total de concreto (50mm da Telha-fôrma e 70mm de cobrimento) e com a Telha-fôrma MF 50 de espessura 0,80mm. Para esta laje, não há necessidade de utilização de escoramento. Isto porque o vão de 2.500mm é inferior aos vãos máximos sem escoramento (duplos ou triplos), relacionados na tabela de cargas.

Após a cura do concreto, a carga sobreposta total a atuar na laje mista será  $W_d = 1,0 + 3,0 = 4,0 \text{ kN/m}^2$ . De acordo com a tabela de cargas, para uma laje de altura de 120mm e um vão de 2.500mm, a resistência da laje mista é:

$$W_n = 4,86 \text{ kN/m}^2 \quad W_n > W_d$$

A laje adotada resiste às cargas aplicadas.

## Dimensões



## Consumo de concreto - Armadura para retração

Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m³/m²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m²)
100	0,0750	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150	1,21
110	0,0850	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150	1,21
120	0,0950	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150	1,21
130	0,1050	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 - 150 x 150	1,48
140	0,1150	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 - 150 x 150	1,48
150	0,1250	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 - 100 x 100	1,80
160	0,1350	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 - 100 x 100	1,80
170	0,1450	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 - 100 x 100	2,20

## Propriedades físicas (para largura de 1.000mm)

Esp. Nominal (mm)	Esp. Projeto (mm)	Altura total (mm)	Peso (kg/m²)	Reações máximas de apoio		Módulo de Resistência (mm²)	Inércia para Deformação (mm²)	Área de aço (mm²)	Centro de Gravidade (mm)
				Externo (kN)	Interno (kN)				
0,80	0,76	52,26	8,39	4,95	14,67	14.599	449.419	997	26,13
0,95	0,91	52,41	9,97	6,51	20,89	18.778	562.372	1.193	26,21
1,25	1,21	52,71	13,11	11,41	35,43	27.791	786.502	1.587	26,36

## Especificações

Recomenda-se concreto convencional, com resistência a compressão  $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$  (consumo indicado na tabela anexa). No capeamento deverá ser utilizada armadura nas duas direções a fim de evitar fissuras devido à retração e/ou por variações de temperatura do concreto. De acordo com as prescrições da NBR 8800:2008 esta armadura deverá ter área maior ou igual a 0,1% da área do capeamento de concreto da laje. Além da armadura de retração, deverão ser previstas armaduras localizadas (acima de vigas principais, no contorno de pilares, etc), para evitar possíveis fissuras por tendência de continuidade da laje sobre os apoios. Todas as armaduras necessárias são indicadas no Manual Técnico de utilização da Telha-fôrma METFORM.



Hotel Mondial Guarulhos - Apart Hotel Partenon Guarulhos - SP



Hotel Caesar Guarulhos Guarulhos - SP



Edifício The One São Paulo - SP