

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**FELIPE PEREIRA ABRAAHÃO
MATHEUS MOREIRA RODRIGUES**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DA ESTRUTURA
METALICA E DO CONCRETO ARMADO**

ANÁPOLIS / GO

2020

FELIPE PEREIRA ABRAAHÃO
MATHEUS MOREIRA RODRIGUES

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS E DA ESTRUTURA
METALICA E DO CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: ROGERIO SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

ABRAAHÃO, FELIPE PEREIRA/ RODRIGUES, MATHEUS MOREIRA

Estudo comparativo de custo da estrutura metálica e do concreto armado [Goiás] 2020

91P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Análise comparativa

2. Concreto

3. Aço

4. Estrutura

I. ENC/UNI

II. Bacharel em Engenharia Civil

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAAHÃO, Felipe Pereira; RODRIGUES, Matheus Moreira. Estudo comparativo de custo da estrutura metálica e do concreto armado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 99p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Pereira Abraahão

Matheus Moreira Rodrigues

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo de custo da estrutura metálica e do concreto armado.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Felipe Pereira Abraahão

E-mail: felipeabraahao@hotmail.com

Matheus Moreira Rodrigues

E-mail: matheusmoreirar723@gmail.com

FELIPE PEREIRA ABRAAHÃO
MATHEUS MOREIRA RODRIGUES

**ESTUDO DO COMPARATIVO DE CUSTOS DA ESTRUTURA
METALICA E DO CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

ROGERIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 21 de maio de 2020.

RESUMO

O concreto armado é o sistema construtivo mais popular e utilizado no Brasil, contudo, o uso da estrutura metálica vem se consolidando no cenário nacional. Diante do exposto, é estudado a viabilização da estrutura metálica em relação a estrutura de concreto armado, comparando-as afim de expor o sistema construtivo mais vantajoso.

PALAVRAS-CHAVE:

Estrutura Metálica. Comparativo de custos. Concreto armado. Economia.

ABSTRACT

Reinforced concrete is the most popular construction system used in Brazil; however, the use of metallic structure has been consolidating in the national scenario. Given the above, the feasibility of the metal structure in relation to the reinforced concrete structure is studied, comparing them in order to expose the most advantageous building system.

KEYWORDS:

Metal structure. Comparison of costs. Reinforced concrete. Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício avenida central.....	17
Figura 2 – Planalto central.....	23
Figura 3 – Galpão em estrutura metálica.....	30
Figura 4 – Galpão em estrutura metálica.....	30
Figura 5 – Traxão axial.....	33
Figura 6 – Compressão do aço	34
Figura 7 - Estados limites últimos.....	36
Figura 8 – Flexão do aço: flexa em vig pelo método da linha elástica.....	37
Figura 9 – Planta Baixa Pavimento Tipo.....	38
Figura 10 – Vista 3D 1.....	39
Figura 11 – Modelo Estrutural 3D.....	40
Figura 12 – Mapa das Isoplelas Brasileiras.....	41
Figura 13 – Planta de cargas nos pilares de concreto.....	42
Figura 14 – Estrutura metálica 3D.....	44
Figura 15 – Planta de cargas nos pilares de aço.....	46
Figura 16 – Cobertura.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fundação no projeto em concreto.....	49
Quadro 2 – Fundação no projeto em aço.....	50
Quadro 3 – Orçamento da viga baldrame.....	52
Quadro 4 – Orçamento da estrutura em concreto.....	52
Quadro 5 – Cobertura.....	56
Quadro 6 – Comparativo de custo final.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fundações.....	51
Gráfico 2 – Estruturas.....	54
Gráfico 3 – Tempo de execução.....	57

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 APRESENTAÇÃO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2.1 INTRODUÇÃO.....	18
1.2.2 CONVENCIMENTO.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4 METODOLOGIA.....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 CONCRETO ARMADO.....	21
2.2 CONCRETO.....	25
2.3 ARMADURA PARA CONCRETO ARMADO.....	26
2.4 AÇO CARBONO.....	26
2.5 ESTRUTURA METÁLICA.....	28
2.5 PROJETO ESTRUTURAL DE ESTRUTURA METÁLICA.....	31
2.6.1 TRAÇÃO AXIAL.....	32
2.6.2 COMPRESSÃO.....	34
2.6.3 FLEXÃO.....	35
3 ESTUDO DE CASO.....	38
3.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	38
3.2 ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO.....	39
3.2.1 AÇÕES PERMANENTES.....	40
3.2.2 AÇÕES VARIÁVEIS.....	41
3.2.3 LAJES.....	42
3.2.4 VIGAS.....	42
3.2.5 PILARES.....	42
3.2.6 FUNDAÇÃO.....	43
3.2.7 ESCADA.....	43
3.2.8 PLANTA DE LOCAÇÃO.....	43

3.3 ESTRUTURA EM AÇO CARBONO.....	43
3.3.1 AÇÕES PERMANENTES.....	44
3.3.2 AÇÕES VARIÁVEIS.....	45
3.3.3 LAJES.....	45
3.3.4 VIGAS.....	45
3.3.5 PILARES.....	45
3.3.6 FUNDAÇÃO.....	46
3.3.7 ESCADA.....	46
4 DESENVOLVIMENTO.....	47
4.1 ANÁLISE DE TEMPO DE ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL.....	47
4.1.1 PROJETO EM CONCRETO ARMADO.....	47
4.1.2 PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA.....	48
4.2 ESTRUTURA E ANÁLISES.....	49
4.3 ANÁLISE DA FUNDAÇÃO.....	49
4.3.1 ORÇAMENTO DA FUNDAÇÃO EM CONCRETO ARMADO.....	49
4.3.2 ORÇAMENTO DA FUNDAÇÃO EM AÇO.....	50
4.3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS FUNDAÇÕES.....	50
4.4 ANÁLISE DA VIGA BALDRAME.....	51
4.4.1 ORÇAMENTO DA VIGA BALDRAME.....	51
4.5 ANÁLISE DA ESTRUTURA.....	52
4.5.1 ORÇAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO.....	52
4.5.2 ORÇAMENTO DA ESTRUTURA EM AÇO.....	53
4.5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ORÇAMENTO.....	54
4.6 ANÁLISE DA COBERTURA.....	54
4.6.1 ORÇAMENTO DA COBERTURA.....	54
4.7 ANÁLISE DO TEMPO DE EXECUÇÃO DA SUPERESTRUTURA.....	56
4.7.1 TEMPO DE EXECUÇÃO EM CONCRETO.....	56
4.7.2 TEMPO DE EXECUÇÃO EM AÇO.....	56
4.7.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TEMPO DE EXECUÇÃO.....	56
4.8 ANÁLISE DO CUSTO-BENEFÍCIO.....	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Há relatos do uso das estruturas metálicas desde o século XII, sendo utilizadas na forma de tirantes e pendurais de ferro fundido, servindo como elementos auxiliares em estruturas de madeiras. No século XVI tornaram-se comuns as estruturas de telhado em ferro fundido, com sistemas estruturais pouco racionais. Cúpulas de igrejas e pontes começaram a ser construídas no final do século XVIII.

A primeira obra feita totalmente em aço foi a ponte sobre o rio Severn na Inglaterra, em 1779.

A facilidade na execução do projeto arquitetônico fez com que o aço se tornasse uma excelente alternativa para obras de grande apelo visual, como por exemplo a Torre Eiffel, em Paris, que tinha como objetivo principal à época de sua construção, ser um mostruário do potencial do aço na construção.

Nos Estados Unidos, as construções em aço se tornaram populares em Chicago, devido a facilidade de sua utilização na reconstrução da cidade, após o incêndio de 1871 que a destruiu quase completamente.

No Brasil, a estrutura metálica é um assunto novo, embora tenha relatos da sua utilização há séculos. Devido ao fato de muitos não entenderem sobre o assunto, se tem muitas interpretações erradas, como por exemplo a inviabilidade econômica.

Este método construtivo tem varias vantagens em relação a outros métodos, mas para se utilizar da forma correta é necessário um estudo aprofundado.

A construção civil vem evoluindo bastante no mundo ao longo do tempo, não sendo diferente no Brasil. A estrutura metálica no Brasil ainda é recente. Foi no final do século XIX e início do século XX que o aço começou a ser utilizado, entretanto ainda na forma de estruturas pré-fabricadas importadas para serem utilizadas na construção de pontes e edifícios. Em 1946, a partir do início de operações da Companhia Siderúrgica Nacional, CSN, foi fundada a primeira siderúrgica integrada no país, passando a ser substituído o aço importado pelo nacional.

O primeiro edifício construído com aço produzido no Brasil foi o Garagem América, em São Paulo, em 1954. O terreno irregular foi um dos principais desafios encontrados em sua concepção e a estrutura em aço possibilitou sua construção.

Com maior projeção, na décadas de 50/60 o Edifício Avenida Central revolucionou a construção civil no Brasil e na Cidade Maravilhosa. A construção, que levou três anos para ser encerrada, foi a primeira do centro do Rio de Janeiro que utilizou estrutura metálica, em lugar do concreto armado. Na Figura 1 é possível notar a dimensão dessa obra que marcou o uso da estrutura metálica nas construções nacionais.

Figura 1 – Edifício avenida central



Fonte: www.diariodorio.com, 2019.

Desde o início do século passado, a construção civil no Brasil se desenvolveu privilegiando o concreto e a alvenaria convencional, devido a mão de obra mais barata e de menos qualificação.

A partir de 2003 a construção no Brasil obteve um novo ritmo de crescimento. Com isso, gerou um amadurecimento do mercado, passando a exigir obras cada vez mais rápidas e com maior qualidade, elevando o custo da mão de obra devido a melhor qualificação dos trabalhadores. Em consequência da exigência de obras com maior produtividade e qualidade, tornou-se requisito a preocupação com a sustentabilidade dos materiais e da obra como um todo, assim, essas demandas encontraram respostas adequadas nos sistemas construtivos industrializados, destacando a estrutura metálica.

Em razão dessas mudanças, foi criado, em 2002, o Centro da Construção de Aço (CBCA) com o intuito de atuar junto a cada elo da cadeia produtiva – empreendedores e construtoras; arquitetos; engenheiros estruturais e fabricantes de estruturas e componentes – para difundir a construção metálica e apoiar o desenvolvimento desse mercado.

A construção civil é o setor que mais consome produtos siderúrgicos no Brasil. Atualmente, responde por 37% do total do consumo aparente de aço no país e segundo a Pesquisa Industrial Anual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indica que a construção em aço no Brasil cresceu ao ritmo de 11% ao ano, em média, no período de 2002 e 2012.

1.2 JUSTIFICATIVA

1.2.1 Introdução

O método construtivo mais usual no Brasil é o concreto armado, por ser mais simples a execução, não exigir mão de obra muito especializada e poder fazer alterações durante a obra caso haja algum imprevisto, tendo uma margem de erro maior em relação a outros métodos.

Apesar do concreto armado ser o mais popular no Brasil, o uso de estrutura de aço na construção civil vem também se popularizando, por ser uma boa alternativa em relação a outros métodos construtivos, pelo fato de ser uma opção extremamente eficaz para quem busca qualidade, redução de tempo, economia de material e mão de obra, e a flexibilidade da execução.

As estruturas metálicas apresentam soluções eficientes. Com material de alta resistência e rapidez na execução tornou-se um método construtivo competitivo no mercado da construção civil. Considerando os benefícios deste tipo de estrutura, faz-se necessário realizar um estudo aprofundado sobre estrutura em aço.

1.2.2 Convencimento

A argumentação para a concepção deste trabalho de conclusão de curso está embasado na obtenção de conhecimentos teóricos satisfatórios para a análise comparativa entre estruturas metálicas em perfis laminados e concreto armado de cimento Portland, onde será possível analisar os pontos positivos e negativos desses métodos, tendo em vista o custo-benefício do projeto final e analisando o método mais vantajoso e desejável.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral realizar um estudo comparativo entre estruturas metálicas e estruturas de concreto armado na construção civil, apresentar as principais vantagens e desvantagem das aplicações das estruturas metálicas, as diferenças econômicas da construção em aço em relação a construção em concreto armado.

1.3.2 Objetivos específicos

O trabalho consistirá em:

- Dimensionar a estrutura de um prédio universitário de 2 pavimentos, em aço e em concreto armado ;
- Realizar um comparativo estrutural entre ambos os processos construtivos;
- Analisar o tempo de execução;
- Analisar o custo financeiro;
- Analisar o custo-benefícios entre os métodos referidos;
- Abordar resultados e comparativos;

1.4 METODOLOGIA

Para elaborar esse estudo comparativo foi desenvolvido um projeto arquitetônico criado pelos autores da pesquisa e, foi elaborado um projeto estrutural em estrutura metálica pela empresa RC Construções Metálicas Ltda. projetada no software STRAP (SAE – Sistemas de Análise Estrutural Ltda.) e um projeto em concreto armado elaborado pelos próprios autores utilizando-se o software de cálculo estrutural AltoQi Eberick (S3ENG – TECNOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA S/A), ambos conforme prevê a NBR 6118/2014 (Estruturas de Concreto Armado – Procedimentos) e a NBR 8800/2008 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A temática a ser discutida neste trabalho de conclusão de curso foi estruturada em capítulos. O primeiro destes alude a introdução, por meio da qual foram apresentados o contexto histórico, a justificativa e a metodologia utilizada. O segundo versa sobre o embasamento teórico utilizado para atingir os objetivos deste trabalho. O terceiro capítulo trata do estudo de caso, contemplando informações arquitetônicas e sistemas estruturais. O quarto, por sua vez, expõe o estudo de resultados da pesquisa, tendo em vista o conteúdo dos elementos textuais. Finalmente, o quinto versa sobre a conclusão dos resultados alcançados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto possui como principal característica a alta resistência à compressão e baixa resistência à tração, que causa nos elementos estruturais surgimento de fissuras e rompimento frágil na zona tracionada, onde é pouco utilizada a resistência a compressão. Para tornar o uso do concreto viável em estruturas que apresentam tração, são usadas barras de aço em posições convenientes para resistir à tração aplicada no elemento, tendo em vista que o aço possui alta resistência a esse esforço. Desta forma, ao fissurar o concreto na zona comprimida, os esforços de tração passam a ser absorvidos pela armadura e ao concreto são atribuídas tensões de compressão, aumentando a resistência do elemento e viabilizando sua utilização

De acordo com Pinheiro (2010), o concreto armado é a junção do concreto simples com uma armadura, geralmente constituída por barras de aço, onde os dois materiais devem resistir mutuamente por meio de aderência aos esforços solicitantes. Araújo afirma que, pelo fato de o concreto apresentar baixa resistência à tração, com cerca de apenas 10% da resistência à compressão, as barras de aço têm o objetivo de resistir os esforços de tração da estrutura, com o intuito, também, de aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas.

Conforme Bastos (2006), as tensões e deformações empregadas nas armaduras devem-se unicamente aos carregamentos aplicados nas peças onde estão inseridas, desta forma, as armaduras do concreto armado são chamadas de armadura passiva.

Borges (2010) diz que os esforços de compressão são resistidos pelo concreto, que dispõe grande resistência a estes esforços. Conforme prevê a ABNT NBR 6118 sobre projeto de estruturas de concreto de 2014, caracteriza a resistência à compressão do concreto como f_{ck} , onde para efeito de cálculo é estabelecido um coeficiente de segurança de minoração igual a 1,4 e para o escoamento do aço (f_y) um coeficiente de ponderação de 1,15, de acordo com casos especiais ou excepcionais estes valores podem ser variados.

A existência do concreto armado origina-se da interação existente entre o concreto simples e as barras de aço. Consequentemente o funcionamento mutuo do concreto e do aço só é praticável devido à aderência, e com esta aderência as deformações das barras de aço são praticamente similares às deformações do concreto envolvente (Pinheiro, 2010).

Além de absorver os esforços de compressão, o concreto previne as armaduras contra a corrosão por causa do seu revestimento mínimo influenciado pela agressividade ambiental, não impedindo a durabilidade das mesmas (ARAÚJO, 2010). Podem ser obtidos os valores de

cobrimento mínimo através da tabela 7.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014). Araújo (2010), destaca que no momento em que a estrutura de concreto armado for sujeitada a moderadas variações de temperatura, as tensões internas entre aço e concreto causadas pela diferença entre coeficiente de dilatação térmica, serão pequenas, pois estes coeficientes de dilatação térmica são praticamente similares, e em casos de exposição da estrutura a elevadas temperaturas, como em incêndios, é necessário adotar um maior cobrimento de concreto afim de reduzir a variação de temperatura no nível das armaduras.

Fundamentado por Helene e Andrade (2010), para se projetar estruturas de concreto armado, o engenheiro projetista deve estabelecer como referência um valor de resistência característica à compressão (f_{ck}) para que este seja utilizado como base de cálculo e, deste modo, a estrutura projetada obedeça aos requisitos de segurança estrutural, esta resistência deve ser obtida pelo concreto da mesma, tendo que esta deve ser metodicamente examinada, descrita e registrada no decorrer do processo de produção.

Segundo Liana Parizotto no seu livro Concreto Armado (2017), as principais vantagens do concreto armado são:

- a) custo: os materiais constituintes do concreto, além de possuírem ampla disponibilidade, apresentam baixo custo, como é o caso da água e dos agregados; o aço está disponível mundialmente a preços competitivos;
- b) moldabilidade: apresenta enorme facilidade de moldagem e variabilidade de formas, favorecendo o projeto arquitetônico;
- c) estrutura monolítica: as estruturas são construídas sem a necessidade de ligações, assim, as peças trabalham em conjunto quando solicitadas;
- d) resistência mecânica: o concreto armado apresenta excelente desempenho à compressão e à tração;
- e) resistência ao fogo: o concreto armado é capaz de resistir a elevadas temperaturas e se manter intacto durante um bom tempo (com relação a outros materiais), podendo suportar o período necessário à evacuação segura de pessoas dos ambientes;
- f) resistência à fadiga: principalmente em comparação ao aço, o concreto se comporta melhor quando submetido a carregamentos cíclicos, já que o aço é mais suscetível ao estado de tensões que variam no tempo;

- g) resistência a choques e vibrações: por possuírem grande massa e rigidez, as estruturas de concreto minimizam os efeitos de vibrações e oscilações causadas pelo vento ou por ações decorrentes de utilização;
- h) durabilidade: as estruturas de concreto, desde que bem projetadas e executadas, possuem boa resistência à ação de intempéries; seu custo de manutenção é baixo, quando avaliado apropriadamente em fase de projeto; as armaduras colocadas no interior do concreto são protegidas pelo meio alcalino promovido por ele, evitando a corrosão do aço quando as barras são posicionadas de maneira correta, obedecendo aos valores mínimos de cobrimento;
- i) execução: os processos construtivos de estruturas em concreto armado são muito conhecidos e difundidos, além de apresentarem facilidade e rapidez de execução;
- j) mão de obra: não são necessários profissionais com elevados níveis de qualificação, nem equipamentos avançados.

Figura 2 - Planalto Central



Fonte: <https://www.portalamirt.com.br>, 2019.

Uma estrutura em concreto armado pode ser moldada de diversas maneiras e formatos. Exige mão de obra menos qualificada para sua execução, em comparação com estruturas metálicas, por exemplo. O planalto central é uma das obras mais históricas do Brasil e que possui um formato não convencional, como podemos ver anteriormente na Figura 2, caracterizando uma vantagem concreto armado.

Destacando também algumas desvantagens sobre este material, de acordo com a autora:

- a) massa específica: provavelmente a maior desvantagem do concreto armado é o seu valor de massa específica bastante elevado (2500 kg/m³); é possível afirmar que o concreto armado apresenta baixa resistência por unidade de volume em comparação com o aço, pois são necessários grandes volumes de estruturas de concreto (e, conseqüentemente, pesos elevados) para suportar os carregamentos;
- b) reformas e demolições: de fato, é um tanto difícil realizar reformas, reforços e remodelagem de peças de concreto armado;
- c) desempenho térmico e acústico: o concreto armado não possui um desempenho tão bom quando se trata de transmissão de calor e de som;
- d) fôrmas e escoramentos: como o concreto armado é moldado no local e na hora da construção (a não ser no caso de estruturas pré-moldadas), é necessário o uso de fôrmas e de escoramentos, o que representam custos;
- e) produção: por ser muitas vezes produzido in loco, a resistência final do concreto pode ser afetada devido a erros durante os processos de mistura e cura, ou mesmo durante o lançamento e adensamento;
- f) fissuração: a retração (isto é, a redução de volume do concreto por perda de umidade) e a fluência (ou seja, a deformação lenta de estruturas sujeitas a cargas de longa duração) são os dois fenômenos responsáveis pelo aparecimento de fissuras no concreto e serão detalhados a seguir.

As principais normas ligadas ao concreto armado apontadas por Carvalho e Figueiredo Filho (2014) são:

- a) NBR 6118 (ABNT, 2014): Projeto de estruturas de concreto – procedimento;
- b) NBR 6120 (ABNT, 1980): Cargas para cálculo de estruturas de edificações – procedimento;
- c) NBR 8681 (ABNT, 2003): Ações e segurança nas estruturas – procedimento;

- d) NBR 6123 (ABNT, 1988): Forças devidas ao vento em edificações – procedimento;
- e) NBR 14931 (ABNT, 2004): Execução de estruturas de concreto – procedimento;
- f) NBR 15200 (ABNT, 2012): Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- g) NBR 15421 (ABNT, 2006): Projeto de estruturas resistentes a sismos – procedimento.

Borges (2010) destaca normas paralelas à NBR 6118 (ABNT, 2014):, capazes de complementa-las, as quais são:

- a) NBR 12654 (ABNT, 1992): Controle tecnológico;
- b) NBR 7190 (ABNT, 1997): Dimensionamento e construção de formas e escoramentos de madeira e metálicos;
- c) NBR 12655 (ABNT, 2015): Controle da resistência do concreto;
- d) NBR 5739 (ABNT, 2007): Determinação da resistência do concreto à compressão;
- e) NBR 7222 (ABNT, 2011): Resistência do concreto à tração indireta;
- f) NBR 12142 (ABNT, 2010): Resistência à tração do concreto à flexão;
- g) NBR 7480 (ABNT, 2007): Valor nominal da tensão mínima de escoamento;
- h) NBR 5627 (ABNT, 1980): Dimensionamento de estruturas sujeitas ao fogo.

2.2 CONCRETO

O concreto é um material basicamente o resultado da junção de cimento, água, agregado miúdo e/ou graúdo. O cimento ao ser hidratado pela água, gera uma pasta resistente e aderente aos agregados, formando um bloco homogêneo.

Ao formar o concreto, os espaçamentos entre suas moléculas se reduzem, preenchendo todos os espaços e, ficando com a distribuição granulométrica perfeita, considerando as devidas necessidades por ser um material resistente e, também, possui uma boa trabalhabilidade antes de seu endurecimento, tornando-se um material propício para ser moldado de diversas formas nas construções.

As propriedades mecânicas fundamentais do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são definidas a partir de

ensaios, executados em condições específicas. Normalmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações.

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) os concretos estruturais devem ter massa específica normal, isto é, após secos em estufa, entre 2000kg/m^3 e 2800kg/m^3 e, quando não se conhecer a massa específica real, pode-se adotar para o concreto simples o valor de 2400kg/m^3 em hipótese de cálculo.

2.3 ARMADURA PARA CONCRETO ARMADO

A norma referente as especificações de aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado é a NBR 7480 (ABNT, 2007) e esta classifica as armaduras em barras e fios.

Segundo definição proposta por FUSCO (1975), a armadura é o componente estrutural de uma estrutura de concreto armado, formado pela associação de diversas peças de aço.

O aço é uma liga metálica de ferro e carbono, com um percentual de 0,03% a 2,00% de participação do carbono, que proporciona maior ductilidade, permitindo que não se quebre quando é dobrado para a execução das armaduras. Os fios e barras de aço utilizados nas estruturas de concreto são classificados em categorias, conforme o valor característico da resistência de escoamento (f_{yk}). Nesta classificação, a unidade de medida está em kgf/mm^2 , sendo os aços classificados como: CA-25, CA-50 para barras e CA-60 para fios. No caso do CA-50, por exemplo, sua resistência (f_{yk}) é equivalente a 500 MPa.

2.4 AÇO-CARBONO

Os metais ferrosos possuem três classificações, sendo elas o aço, o ferro fundido e o ferro forjado, tratando-se do aço, atualmente, o mais importante dentre eles.

O teor de carbono da liga ferro-carbono varia desde 0,008% até 2,11% (Chiaverini, 1996). O carbono gera uma maior resistência para o aço, entretando o torna mais frágil. Os aços que apresentam baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, no entanto são mais dúcteis. As resistências à ruptura por tração ou compressão dos aços utilizados em estruturas são iguais, variando em uma faixa ampla de limites, desde 300 MPa até valores acima de 1200 MPa. (PFEIL, W.; PFEIL, M., 2009)

Na composição química, devido a presença de elementos de liga e do teor de elementos residuais, os aços são classificados em *aços-carbono*, que possuem teores normais de elementos

residuais, e em *aços-liga*, que são aços-carbono agregados de elementos de liga ou contendo altos teores de elementos residuais.

Os aços podem ser classificados em diversas categorias, cada qual com suas características, levando em conta o ponto de vista de suas aplicações (Chiaverini, 1996). Por exemplo, os aços para estruturas são exigidas propriedades de boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre a tensão resistente e a de escoamento. A resistência à corrosão também é importante, sendo necessária pequenas adições de cobre. Para atender a estes quesitos, utilizam-se em estruturas os aços-carbono e os aços em baixo teor de liga ou microligados, os dois tipos com baixo e médio teores de carbono. Por meio de processos de conformação ou tratamentos térmicos, a alta resistência de alguns aços estruturais pode ser obtida.

Para a fabricação do aço, o principal processo consiste na produção de ferro fundido no alto-forno e em seguida refinamento em aço no conversor de oxigênio. O outro processo fundamenta-se em fundir sucata de ferro em forno elétrico cuja energia é disponibilizada por arcos voltaicos entre o ferro fundido e os eletrodos. Nos processos citados, a finalidade é o refinamento do ferro fundido, ao qual são adicionados elementos de liga para produzir o aço especificado. (PFEIL & PFEIL, 2009).

De acordo com o Grupo Hard, referência nacional nos mercados de construção metálica e pré-moldados, as principais vantagens da estrutura metálica são:

- a) Possui uma boa resistência e durabilidade;
- b) Mais precisão e menor margem de erro;
- c) Atribui uma melhor qualidade;
- d) Proporciona uma versatilidade arquitetônica;
- e) Tem um menor peso próprio, reduzindo as cargas das fundações;
- f) São elementos pré-fabricados, fornecendo uma maior rapidez, eficiência e racionalização da construção;
- g) Por gerar poucos resíduos e ser 100% reciclável, é um método construtivo mais sustentável;
- h) Mesmo com o preço mais elevado devido aos impostos sobre o aço, pode ser um método vantajoso pela economia que proporciona tanto na fundação quanto pelo menor desperdício que gera, e também a maior rapidez de execução, tornando um preço competitivo no mercado.

E as principais desvantagens são:

- a) Vulnerabilidade contra eventos da natureza;
- b) Necessidade de mão de obra especializada;
- c) Possibilidade de corrosão ao longo do tempo quando não recebem tratamentos e revestimentos adequados;
- d) Precisa de um maior controle de incêndio, devido a dilatação térmica e perda da capacidade resistente;
- e) Dependendo da topografia do local, o transporte dos perfis da estrutura metálica pode haver uma maior dificuldade, gerando elevação de custos com a logística.

Para se realizar um projeto seguro e econômico, o mesmo deve estar de acordo com normas que asseguram integridade da execução. São consideradas como principais normas ABNT:

- a) NBR 5884 (ABNT, 2013): Perfil estrutural soldado por arco elétrico;
- b) NBR 6120 (ABNT, 1980): Cargas para o cálculo de estruturas de edifícios;
- c) NBR 6123 (ABNT, 1988): Forças devidas aos ventos em edificações;
- d) NBR 6648 (ABNT, 2014): Chapas grossas de aço carbono para uso estrutural;
- e) NBR 6650 (ABNT, 2014): Chapas finas à quente de aço carbono para uso estrutural;
- f) NBR 7007 (ABNT, 2016): Aços-carbono e micro ligados para uso estrutural geral;
- g) NBR 8800 (ABNT, 2008): Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- h) NBR 14323 (ABNT, 2013): Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio;
- i) NBR 14432 (ABNT, 2001): Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações;
- j) NBR 15279 (ABNT, 2005): Perfil estrutural de aço soldado por eletro fusão.

2.5 ESTRUTURA METALICA

As estruturas metálicas, têm indicadores de sua utilização em escala industrial a partir de 1750. No Brasil o início de sua fabricação foi no ano de 1812, sendo que o grande avanço na fabricação de perfis em larga escala ocorreu com a implantação das grandes siderúrgicas.

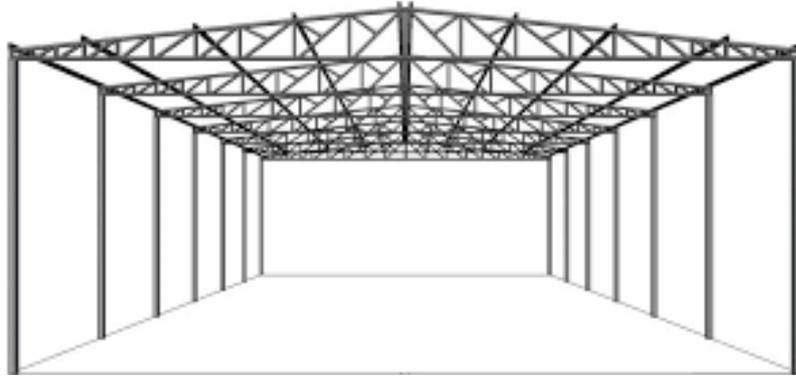
Como exemplo, tem-se a Companhia Siderúrgica Nacional — CSN, que começou a operar em 1946.

As estruturas se caracterizam por serem as partes mais resistentes de uma construção. São elas que absorvem e transmitem os esforços, sustentam e proporcionam estabilidade a uma construção, sendo fundamentais para a manutenção da segurança e da solidez de uma edificação. Uma estrutura é constituída por elementos estruturais, que associados dão origem aos sistemas estruturais.

Este conjunto deve formar um todo perfeitamente combinado, de modo que resista a todos os esforços produzidos pelo peso próprio, peso de seus ocupantes, ventos e sobrecargas. Os elementos que consistem a base de uma estrutura são: fundações, pilares, vigas e lajes. A função de uma estrutura é receber e transmitir os efeitos das ações sofridas para o solo.

O processo para construções em estruturas em aço se destaca, pois o aço tem uma maior resistência mecânica se comparada a outros materiais. É um dos processos construtivos mais velozes e é o que suporta os maiores vãos, como por exemplo o galpão na figura 3. Por isso são muito utilizados principalmente em indústrias e supermercados que precisam de grandes vãos e velocidade na execução e também é bastante utilizado em ginásios, pavilhões, telhados, torres, guindastes, escadas, passarelas, pontes, garagens, hangares, depósitos, lojas entre outros. (CHAVES, 2007)

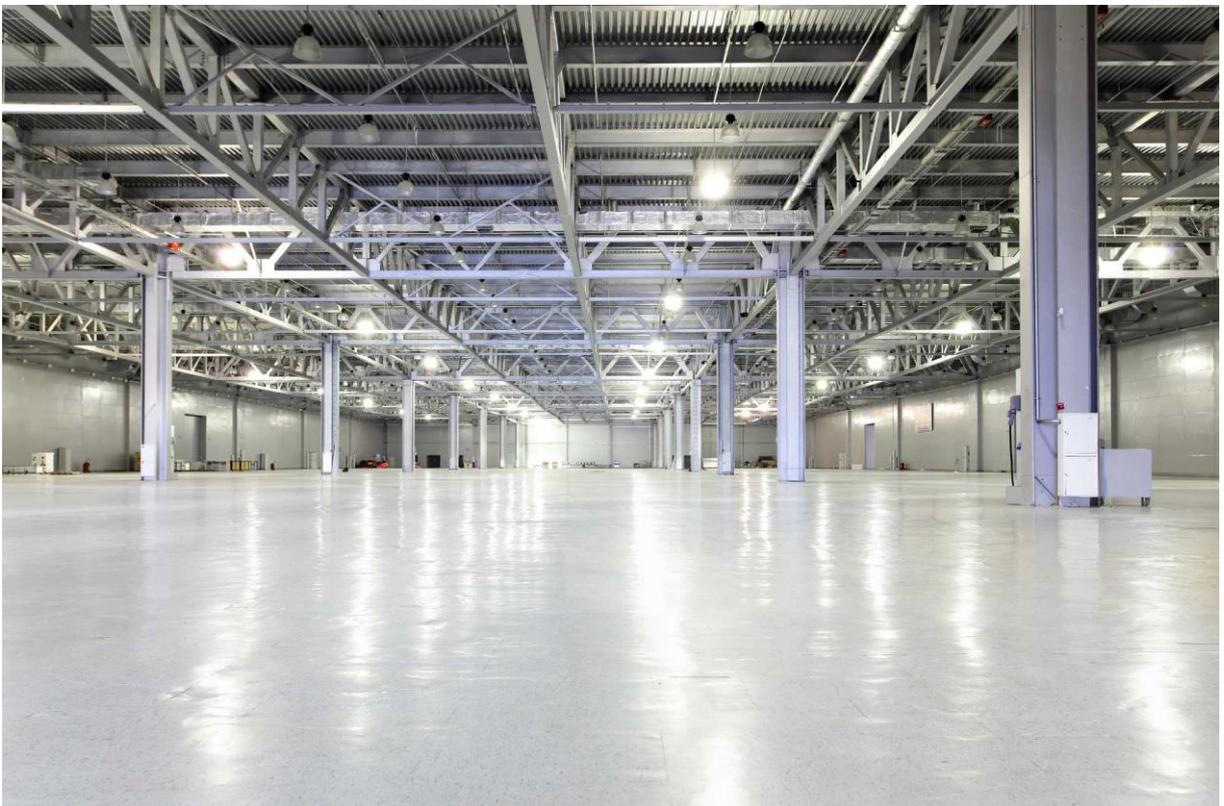
Figura 3- galpão em estrutura metálica



Fonte: www.almeidaguimaraesprojetos.com.br, 2019.

Estas estruturas permitem vencer grandes vãos sem necessitarem simultaneamente de muitos apoios ou de elementos estruturais de grande inercia, com isso possibilita o melhor aproveitamento do espaço no interior das construções, como podemos verificar na Figura 4.

Figura 4 – galpão em estrutura metálica



Fonte: <http://www.emapmontagens.com.br>, 2019.

2.6 PROJETO ESTRUTURAL DE ESTRUTURA METÁLICA

Tem-se o objetivo principal demonstrar valores referentes ao projeto estrutural para estruturas metálicas, com base na NBR 8800 (ABNT, 2008). Para garantir a segurança da estrutura deve-se seguir diversos critérios. Para projeto de estruturas metálicas utilizava-se o Método das Tensões Admissíveis, até meados da década de 1980. Até que começaram a mudar gradativamente para o Método dos Coeficientes Parciais, nomeado no Brasil de Método dos Estados Limites. Este método é conhecido também na literatura norte-americana, denominado Load and Resistance Factor Design (LRFD), que significa projeto com fatores aplicados às cargas e às resistências.

Com a finalidade de se desenvolver um projeto estrutural, sugere-se que seja feito por um engenheiro civil capacitado e exigir a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Esse projeto é de extrema relevância, visto que é o responsável pela segurança da estrutura, prevenindo-a desde rachaduras até um colapso. Caso uma estrutura esteja com lajes, vigas, pilares e fundações superdimensionados, isso representa aumento de custos e não significa obrigatoriamente maior segurança. Para que haja o melhor dimensionamento do projeto é interessante que tenha um perfeito balanço entre o concreto e o aço nos elementos estruturais para que as peças sejam consideradas seguras e mais viáveis economicamente e, assim sendo, toda a obra. Se a estrutura estiver mal dimensionada não necessariamente indica risco de colapso, entretanto pode apresentar patologias como as trincas, que são, em grande parte das vezes, de solução muito difícil e cara.

As estruturas metálicas possuem inúmeras vantagens em relação às de concreto armado, por isso são muito utilizadas em países desenvolvidos, principalmente quando se tem necessidade de velocidade na execução, tendo em vista que, esse sistema construtivo possibilita mais agilidade nos processos. Contudo, faz-se necessário realizar uma sequência de cálculo para facilitar no dimensionamento de uma estrutura em aço, considerado a norma de Projeto de estruturas de aço NBR 8800 (ABNT, 2008)

É imprescindível para o desenvolvimento de um projeto estrutural, além do projeto arquitetônico, o laudo de sondagem do terreno, pois devido a ele é possível dimensionar a fundação da edificação.

Os engenheiros da atualidade tem uma maior facilidade de executar um projeto estrutural devido aos recursos da informática, possibilitando trabalhos de alta qualidade e com melhor economia.

Segundo PFEIL & PFEIL (2009) os fins de um projeto estrutural são garantir a segurança estrutural impossibilitando o colapso da estrutura, o bom comportamento da estrutura impedindo-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações e danos locais.

No desenvolvimento de um projeto estrutural podem ser reunidas em três fases:

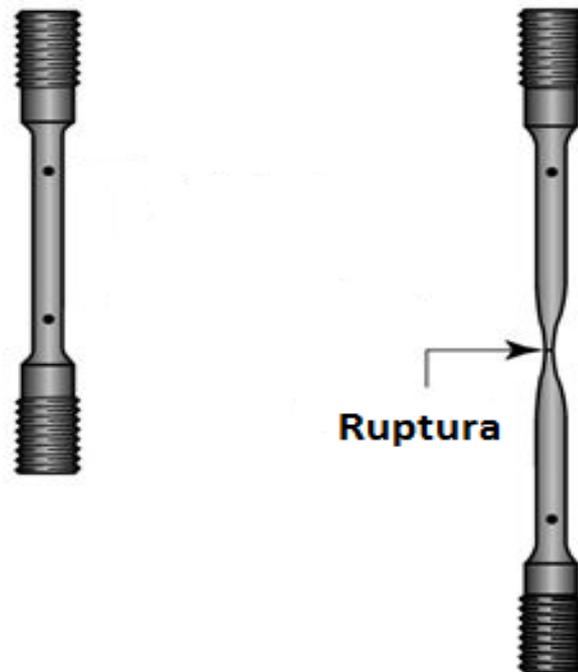
- a) O anteprojeto ou projeto básico, quando são definidos o sistema estrutural, os materiais a serem utilizados, o sistema construtivo;
- b) O dimensionamento ou cálculo estrutural, fase onde são definidas as dimensões dos elementos da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura;
- c) O detalhamento, quando são elaborados os desenhos executivos da estrutura contendo as especificações de todos os seus componentes.

Nas fases de dimensionamento e detalhamento, além dos conhecimentos de análise estrutural e resistência dos materiais, utiliza-se grande número de regras e recomendações referentes a critérios de garantia de segurança, tais como, padrões de testes para caracterização dos materiais e limites dos valores de características mecânicas, definição de níveis de carga que representem a situação mais desfavorável, limites de tolerâncias para imperfeições na execução, regras construtivas, dentre outros.

2.6.1 Tração Axial

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço, que tende a alongá-lo até fraturar (Figura 5 - tração axial).

Figura 5 – tração axial



Fonte: www.materiais.gelsonluz.com, 2019.

Por meio do ensaio é possível analisar as propriedades mecânicas do material, sendo elas, a resistência mecânica, ductilidade, fragilidade, resiliência e tenacidade, além de obter o limite de escoamento, dado importante para projetar materiais e equipamentos.

A força axial de tração, incluindo as ligadas por pino. Deverão atender a condição determinada pela equação:

$$N_{t,SD} \leq N_{t,RD} \quad (1)$$

Onde:

$N_{t,SD}$ é a força axial de tração solicitante de cálculo;

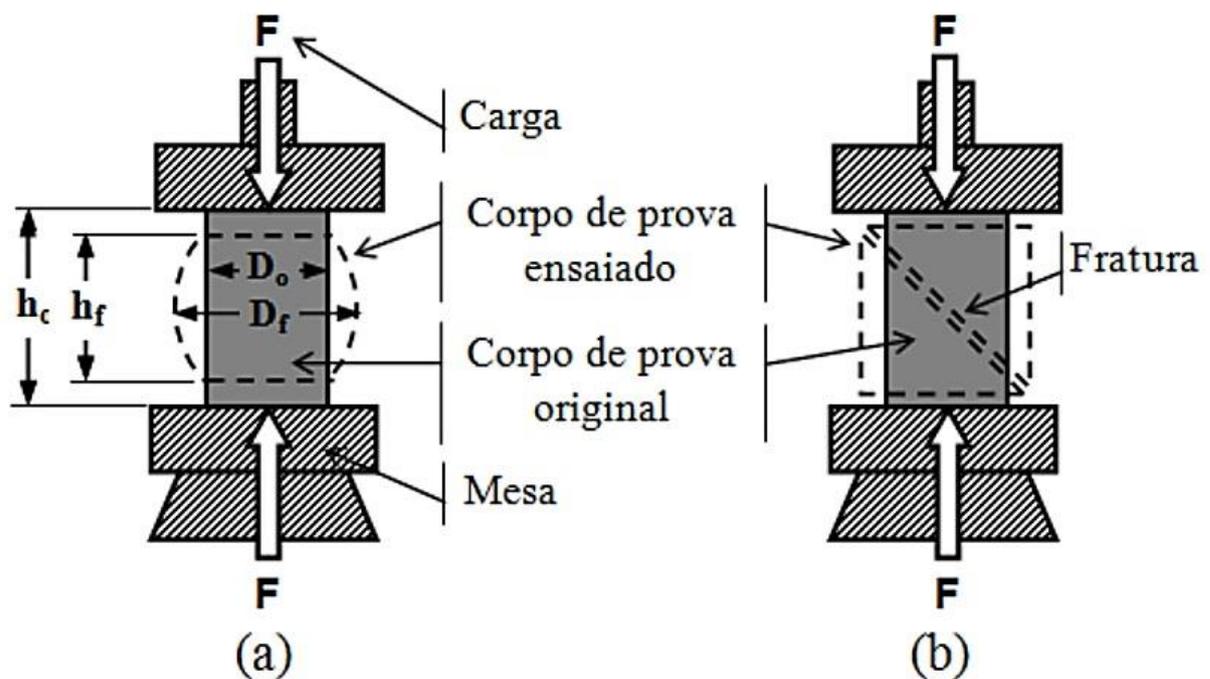
$N_{t,RD}$ é a força axial de tração resistente de cálculo.

A norma recomenda que o índice de esbeltez das barras tracionadas, condicionado pela equação, excetuando os tirantes de barras redondas pré-tensionadas ou outras barras que tenham sido montadas com pré-tensão, não passe de 300.

2.6.2 Compressão

O ensaio de compressão é a aplicação de carga compressiva uniaxial uniforme na seção transversal em um corpo de prova. Os resultados obtidos nesse ensaio consistem na relação entre a deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo de prova, em função da carga de compressão aplicada em cada instante, como podemos analisar na Figura 6.

Figura 6 – Compressão do aço



Fonte: <https://biopdi.com.br>, 2019.

Os ensaios de compressão do aço, são ensaios destinados a testar a resiliência mecânica e estrutural dos materiais, para que sejam feitos cálculos que definem cargas limites, limites de escoamento e limites de ruptura, onde os dados são usados de referência para evitar quaisquer possibilidades de risco, seja na construção de pontes, prédios, galpões.

Assim como no ensaio de tração, no ensaio de compressão pode-se determinar as propriedades referentes à zona elástica, onde é seguida a lei de Hooke. Geralmente, as

propriedades mais medidas são os limites de proporcionalidade e de escoamento e o módulo de elasticidade.

Deverão atender a condição determinada pela equação:

$$N_{C,RD} \geq N_{C,SD} \quad (2)$$

Onde:

$N_{C,RD}$ é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{C,SD}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo.

Diferentemente do esforço de tração que tende a retificar as peças reduzindo o efeito de curvaturas iniciais existentes, o esforço de compressão tende a acentuar esse efeito (PFEIL; PFEIL, 2009).

2.6.3 Flexão

A flexão simples é estabelecida como a flexão sem força normal, como pode se observar na Figura 8. Tem-se a flexão composta no momento em que a flexão ocorre com a atuação de força normal. Os esforços normais são aqueles em que os esforços solicitantes promovem tensões normais (perpendiculares) às seções transversais dos elementos estruturais. Os esforços que provocam tensões normais são o momento fletor (M) e a força normal (N).

Segundo Pfeil-Pfeil (2010) a resistência à flexão das vigas pode ser afetada pela flambagem local e pela flambagem lateral, sendo:

- a) Flambagem local: a perda da instabilidade das chapas comprimidas componentes do elemento;
- b) Flambagem lateral: a viga perde seu equilíbrio no plano principal de flexão e passa a apresentar deslocamentos laterais e deslocamentos de torção.

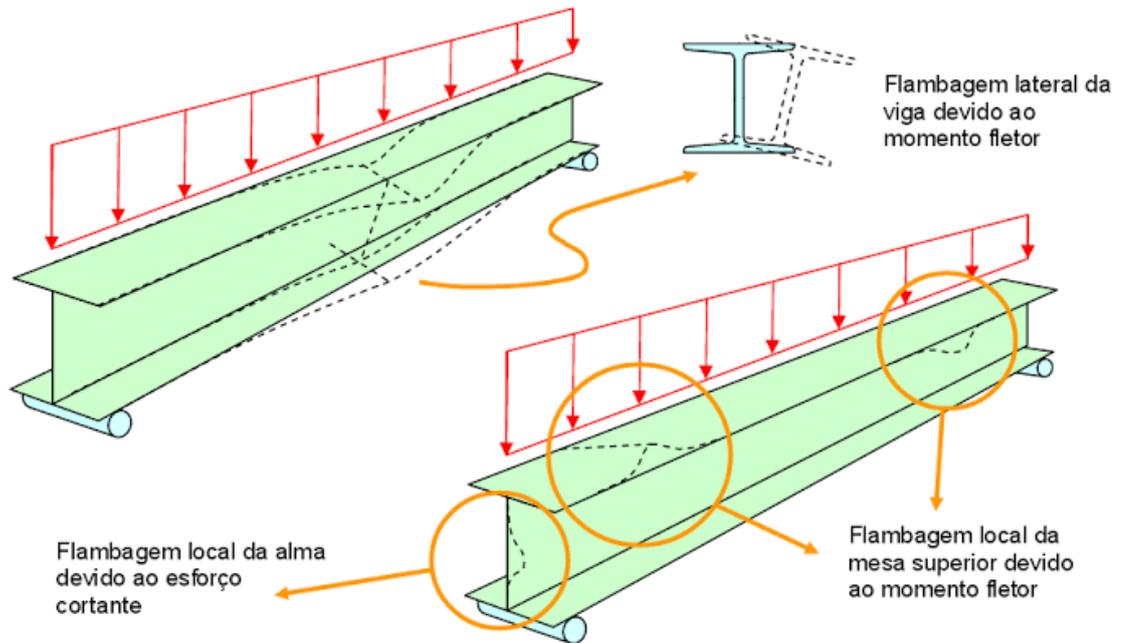
Os deslocamentos em uma viga metálica são inversamente proporcionais à sua rigidez, sendo dependente das dimensões da seção transversal dela. Os deslocamentos tendem a ser maiores quando as dimensões da seção transversal de uma viga forem menores. A inércia de uma viga metálica é determinada de acordo com os catálogos dos fabricantes.

Os estados limites últimos de uma viga submetida a flexão, são divididos em três categorias, que estão representados na figura 7:

- a) Flambagem local da mesa (FLM) ocorre devido ao momento fletor;

- b) Flambagem local da alma (FLA) ocorre devido ao esforço cortante;
- c) Flambagem lateral com torção (FLT) ocorre devido ao momento fletor.

Figura 7 – Estados limites últimos



Fonte: UFPR, Universidade Federal do Paraná, 2019.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), as ligações submetidas a uma força solicitante de cálculo, em qualquer direção, menores que 45 kN, exercendo-se diagonais e montantes de travessamento de barras compostas, tirantes formado-se de barras redondas, travessas de fechamento lateral e terças de cobertura de edifícios, têm de ser calculadas para uma força solicitante de cálculo igual a 45 kN, com direção e sentido da força atuante. Propõem-se, a critério do responsável técnico pelo projeto, que as ligações de barras tracionadas ou comprimidas sejam calculadas no mínimo para 50% da força axial resistente de cálculo da barra, de acordo com o tipo de solicitação que comanda o dimensionamento da respectiva barra (tração ou compressão).

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso é por plano de corte, para parafusos de alta resistência, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Se para parafusos de alta resistência, o plano de corte não passa pela rosca, usar a formula abaixo:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (4)$$

Os tipos de ligação são definidos em deslocáveis e indeslocáveis. Nos sistemas contraventados (indeslocáveis) as ligações são flexíveis, transmitindo apenas as solicitações de cortante. Nos sistemas em pórticos (deslocáveis) as ligações são rígidas, transmitindo solicitações de momento e cortante.

Figura 8 – Flexão do aço: flecha em viga pelo método da linha elástica



Fonte: <https://www.guiadaengenharia.com>, 2019

3 ESTUDO DE CASO

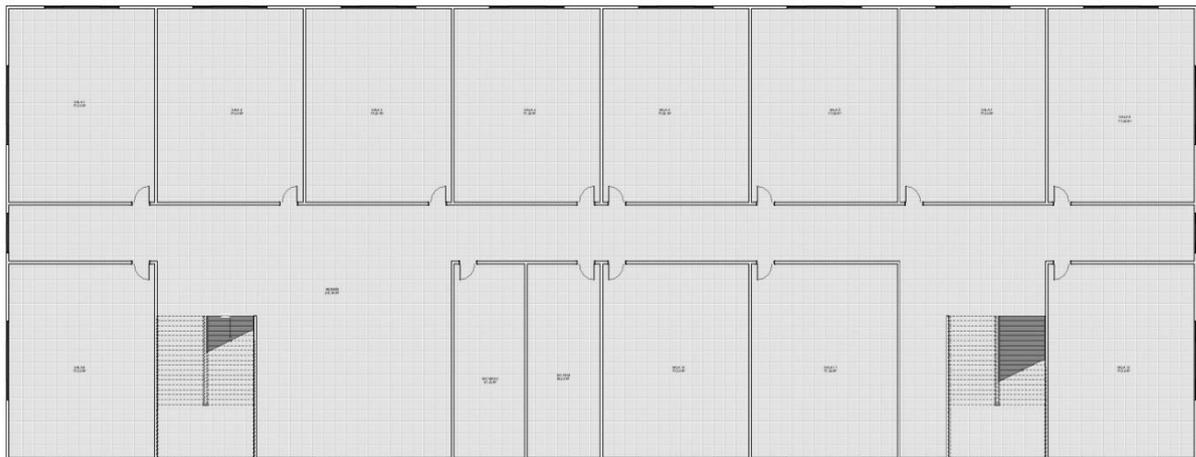
3.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação do presente estudo é um prédio universitário de dois pavimentos, sendo pavimentos tipos, cada pavimento é composto por salas de aula, banheiros masculinos e femininos. No terraço da edificação está localizado o reservatório de água superior.

Este empreendimento tem pé direito de 3,60 metros no primeiro pavimento e 3,40 metros na cobertura, contudo, com a instalação do forro de gesso para esconder as tubulações e vigas presentes na estrutura, o pé direito passou a ter a altura de 3,20 metros. O comprimento da projeção da estrutura são de 64,15 metros de frente e fundo e 23,15 metros de largura. A área total construída do edifício é de aproximadamente 2.970,15 m². O projeto está de acordo com a NBR 6118, que é uma das normas técnicas que regem o projeto de estruturas de concreto armado e também respeita as exigências do corpo de bombeiros, bem como as do plano diretor da cidade de Anápolis-GO.

As imagens do projeto podem ser vistas nas figuras 9 e 10. Desta forma, é possível ter uma melhor compreensão da arquitetura do edifício.

Figura 9 – Planta Baixa Pavimento Tipo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Figura 10 – Vista 3D 1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

3.2 ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO

O software de dimensionamento utilizado para a realização do projeto estrutural em concreto armado foi o AltoQI Eberick, versão V8. Este é um software que dispõe das normas brasileiras vigentes para os cálculos, como por exemplo a NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto e também a NBR 6123:1988- Forças devido aos ventos. Possui um sistema bem intuitivo, com isso facilitando a aprendizagem.

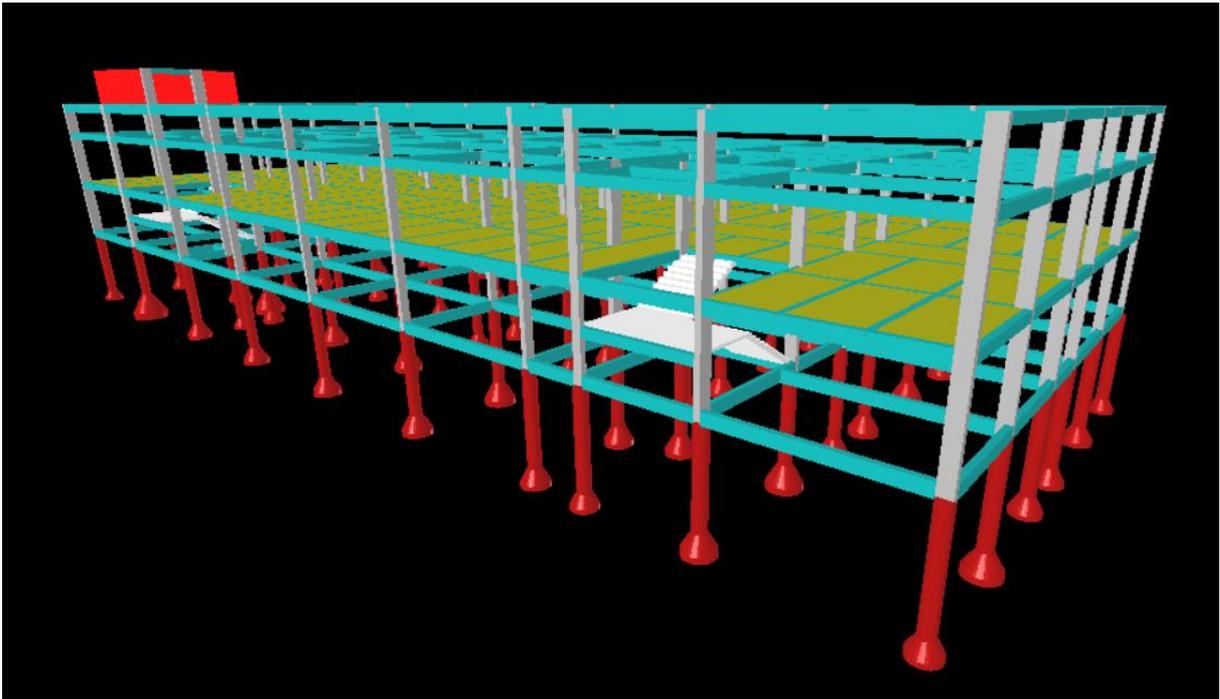
O Eberick realiza o dimensionamento da estrutura por completo baseado no lançamento dos elementos (vigas, pilares, lajes, etc.) feito pelo projetista que importa o projeto arquitetônico para o programa. Logo após o lançamento da estrutura, o programa confere a resistência de cada elemento, calcula as flechas das vigas e lajes, executa o cálculo das armaduras negativas e positivas, o quantitativo de concreto e a área das formas que serão utilizadas para execução de toda estrutura. Também é gerado o detalhamento de cada elemento da estrutura, resumo de materiais e memoriais de cálculo.

Para a estrutura em concreto armado foi utilizado concreto com resistência de 20 MPa e 25 MPa e do mesmo modo para infraestrutura e superestrutura constituídos por laje, viga, pilar e elementos da fundação, foi também classificado classe II de agressividade ambiental para a consideração do cobrimento mínimo e agregado para concreto com dimensão de 19mm.

Como prevê a recomendação da NBR 6118 (ABNT, 2014), foram consideradas ações permanentes e ações variáveis para realizar os cálculos.

A figura 11, mostra o esquema 3D da estrutura em concreto armado gerada pelo software eberick.

Figura 11 – Modelo Estrutural 3D



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

3.2.1 Ações permanentes

O cálculo da resistência da estrutura deve considerar todas as ações solicitantes impostas à mesma. Com isso, a resistência deve superar o conjunto de ações solicitantes, obtido através da combinação mais desfavorável.

As ações permanentes consideradas no cálculo da estrutura foram:

- a) Peso próprio – levando em consideração o peso da massa específica de 2.500 kg/m^3 para os elementos em concreto armado, como previsto pela NBR 6118 (ABNT, 2014);
- b) Peso dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes – conforme prevê a NBR 6120 (ABNT, 1980) adotou-se o valor de 13 kN/m^3 para o peso específico aparente do tijolo furado, 18 kN/m^3 para o tijolo maciço e 19 kN/m^3 para

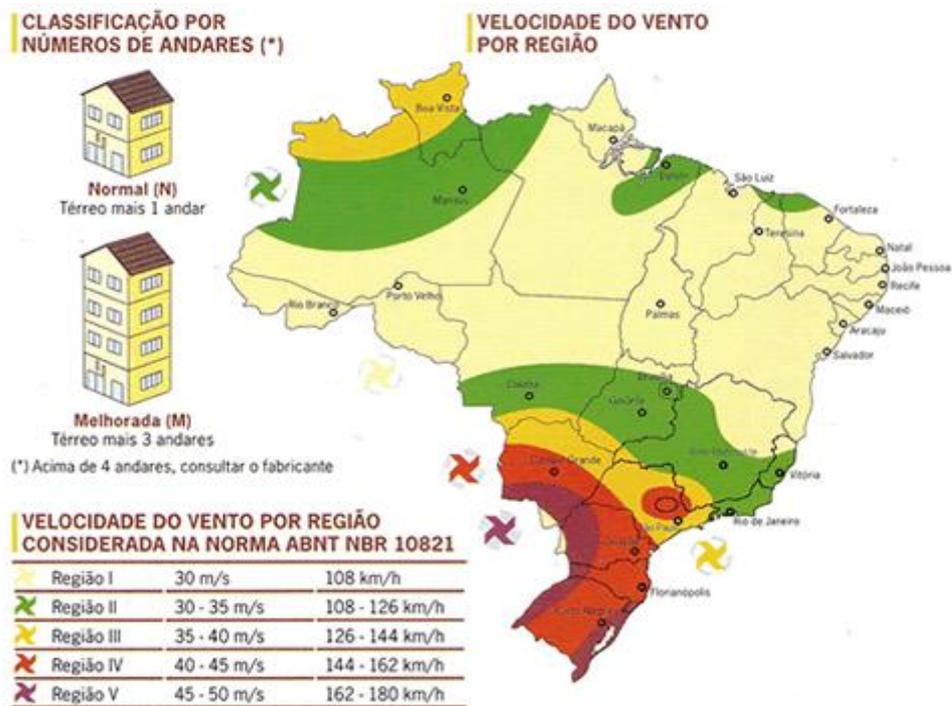
argamassa de cal, cimento e areia vedação dos pórticos, e uma carga vertical de 1,1 kN/m² para revestimento sobre laje.

3.2.2 Ações variáveis

A NBR 8800 (ABNT, 2008) item 4.7.3, define ação variável: Ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida de construção. As ações variáveis comumente existentes são causadas pelo uso e ocupação da edificação, como decorrentes de sobrecargas em pisos e coberturas, de equipamentos e divisórias móveis, de hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela ação do vento e pela variação da temperatura da estrutura.

- a) Ação do vento – tendo base na NBR 6123 (ABNT, 1988), O vento é uma ação variável a qual sempre atua na direção perpendicular à superfície de obstrução. Foi considerado a velocidade básica do vento para a região de Goiás de 35 m/s, como mostra na figura 12.
- b) Cargas acidentais previstas para o uso da construção – adotadas conforme prevê a NBR 6120 (ABNT, 1980), levando em consideração as cargas verticais de 2 kN/m² para salas de uso geral e banheiros de escritórios e também 3 kN/m² para escadas e corredores com acesso ao público;

Figura 12 - Mapa das Isopletas Brasileiras



Fonte: <https://www.aecweb.com.br>

3.2.3 Lajes

As lajes utilizadas no projeto foram pré-moldada de EPS, com espessura final de 12 cm e apenas a laje do reservatório com espessura final de 14 cm, pelo fato da carga extra presente nela. Foram utilizados aços CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 6.3 mm.

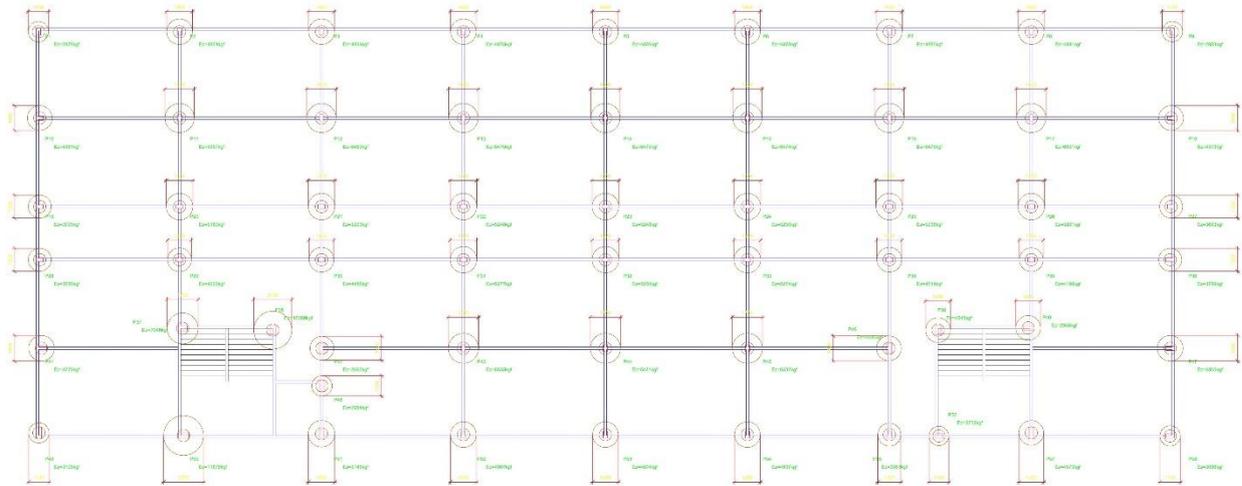
3.2.4 Vigas

Foram utilizadas seções variadas, de forma a manter um padrão entre elas, não dificultar a execução e garantir uma boa economia no gasto total. Da mesma forma como foi utilizados nas lajes, foram utilizados aços CA60 e CA50 com seções entre 5.0 mm à 20.0 mm.

3.2.5 Pilares

Para os pilares foram utilizados 4 tipos de seções diferentes, sendo estes de 25x40 cm, 25x50 cm, 30x50cm, 25x60 cm e 30x60 cm. Os aços utilizados foram CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 16.0 mm. A figura 13 mostra as cargas nos pilares.

Figura 13 - Planta de cargas nos pilares



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

3.2.6 Fundação

Para a fundação foi usada o tipo tubulão, considerando o que diz a NBR 6122 (ABNT, 2010) – Projeto e fundações de fundações. Foram utilizados os aços CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 16.0 mm.

3.2.7 Escada

Para a escada foi usada o modelo em U, e modelo estrutural tipo laje com os degraus sobre a laje da escada. Os aços utilizados foram CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 10 mm.

3.2.8 Planta de Locação

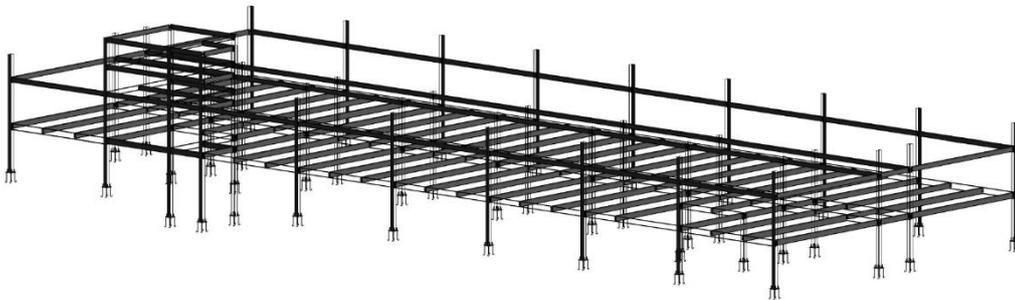
A planta de locação mostra o local em que cada tubulão deve estar, indicando os seus tamanhos respectivos e cotas. Ela tem o objetivo de indicar a posição do imóvel no terreno.

3.3 ESTRUTURA EM AÇO CARBONO

A estrutura em aço foi projetada considerando ações permanentes e variáveis, tal como a NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda. Para vigas e pilares, o valor do módulo de elasticidade longitudinal utilizado foi de 20.500 kN/cm², o coeficiente de Poisson foi de 0,3, para o módulo de elasticidade transversal foi considerado 7.885 kN/cm² e para o coeficiente de dilatação térmica linear o valor foi de $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Para as lajes considerou-se concreto de 25 MPa e para infraestrutura constituída por elementos da fundação concreto de 20 MPa, foi considerada classe II de agressividade para a consideração do cobrimento mínimo e agregado para concreto com dimensão de 19mm.

A figura 14 permite uma boa visualização da estrutura em aço.

Figura 14 – Estrutura metálica 3D



Fonte: RC Construções Metálicas, 2020.

3.3.1 Ações permanentes

As ações permanentes consideradas no cálculo da estrutura em aço foram:

- a) Peso próprio – devido alguns elementos, como por exemplo as lajes, conter concreto foi utilizada a massa específica de 2.500 kg/m^3 recomendada pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e para as peças em aço 7.850 kg/m^3 conforme NBR 8800 (ABNT, 2008);

3.3.2 Ações variáveis

As ações variáveis consideradas no cálculo da estrutura foram as mesmas utilizadas para cálculo do concreto armado, sendo elas:

- a) Cargas acidentais previstas para o uso da construção – adotadas conforme prevê a NBR 6120 (ABNT, 1980), levando em consideração as cargas verticais de 2 kN/m^2 para salas de uso geral e banheiros de escritórios e também 3 kN/m^2 para escadas e corredores com acesso ao público
- b) Ação do vento – tendo base na NBR 6123 (ABNT, 1988), O vento é uma ação variável a qual sempre atua na direção perpendicular à superfície de obstrução. Foi considerado a velocidade básica do vento para a região de Goiás de 35 m/s .

3.3.3 Lajes

As lajes empregas no projeto são as mesmas utilizadas no projeto da estrutura em concreto armado, pré-moldada de EPS, com espessura final de 12 cm e apenas a laje do reservatório com espessura final de 14 cm , pelo fato da carga extra presente nela. Foram utilizados aços CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 6.3 mm .

3.3.4 Vigas

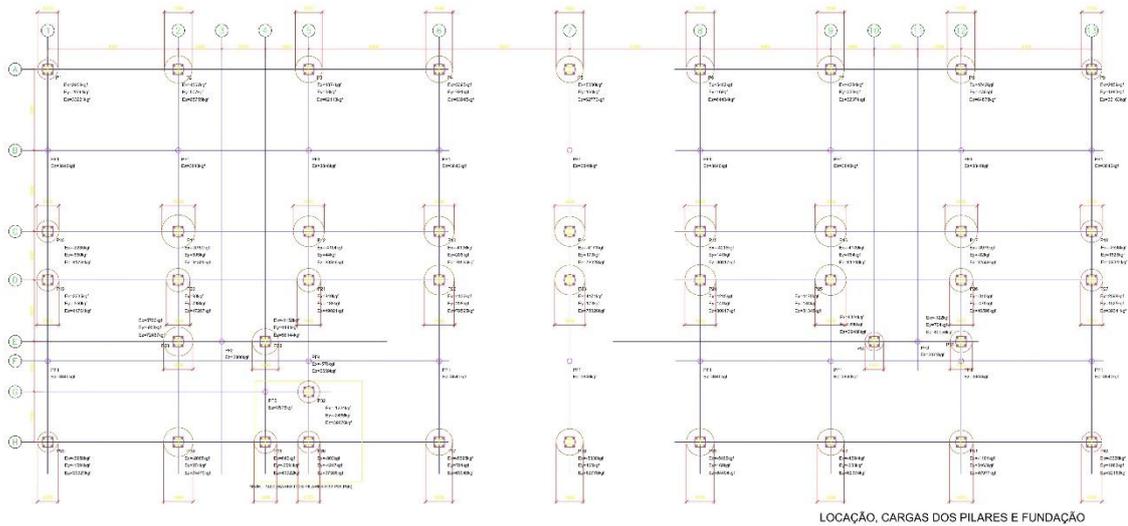
As vigas utilizadas foram em perfis laminados I do tipo W, dispostas em quatro seções diferentes para os perfis.

3.3.5 Pilares

Os pilares aplicados na elaboração do projeto foram em perfil do tipo HP, porém ao contrário das vigas, para este elemento foi utilizado apenas uma seção para o perfil.

A figura 15 mostra a planta de cargas nos pilares.

Figura 15 - Planta de cargas nos pilares de aço



Fonte: RC Construções Metálicas, 2020.

3.3.6 Fundação

Da mesma forma do projeto em concreto armado, para a fundação foi usada o tipo tubulão, considerando o que diz a NBR 6122 (ABNT, 2010) – Projeto e fundações de fundações. Foram utilizados os aços CA60 e CA50 com bitolas entre 5.0 mm à 16.0 mm.

3.3.7 Escada

Para a escada foi usada o modelo em U, e modelo estrutural em aço-carbono igual à estrutura.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 ANÁLISE DE TEMPO DE ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL

Projetar a estrutura de uma edificação consiste em conceber um sistema cujos elementos com finalidade resistente combinam-se, de forma ordenada, para cumprir determinada função, que deve ser garantida durante sua vida útil prevista. A função pode ser: vencer um vão, como nas pontes; definir um espaço, como nos diversos tipos de edificações; ou conter um empuxo, como nos tanques, silos e paredes de contenção (João Carlos Teatini, 2016).

A concepção da estrutura de qualquer construção consiste no arranjo adequado dos vários elementos estruturais do edifício, de modo a assegurar que o mesmo possa atender às finalidades para as quais foi projetado. Para isso deve-se ter o projeto arquitetônico em mãos, que de fato, é a base para a concepção do projeto estrutural. Um bom projeto estrutural atende, simultaneamente, os aspectos de segurança, economia, durabilidade e o projeto arquitetônico. A elaboração estrutural deve levar em conta a finalidade da edificação e atender, tanto quanto possível, às condições impostas pela arquitetura.

Segundo o autor PFEIL, os objetivos de um projeto estrutural são:

- a) Garantia de segurança estrutural evitando-se o colapso da estrutura.
- b) Garantia de bom desempenho da estrutura evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos locais.

De acordo com o autor João Carlos Teatini (2016), o bom desempenho de uma edificação, como um conjunto, não existe como condição isolada, mas é resultado da boa integração e do trabalho em equipe nas diversas etapas da vida útil da edificação: planejamento, projeto, execução, utilização e manutenção.

4.1.1 Projeto em concreto armado

O projeto em concreto armado foi elaborado tendo como base o projeto em estrutura metálica, feito e disponibilizado pela RC Construções Metálicas Ltda., mantendo o máximo possível da originalidade do projeto em aço. O próximo passo foi realizar o lançamento estrutural, definiu-se as dimensões e posições dos elementos estruturais, os quais terão a finalidade de suportar e transmitir as cargas até a fundação.

A compatibilização deve ser realizada de forma a identificar todas as interferências físicas e funcionais entre os elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e fundação) e o projeto arquitetônico. Essa verificação pode ser realizada com auxílio de um software, nesse caso o utilizado foi o AltoQI Eberick, versão V8.

Foram necessárias 12 horas de estudo para realizar todo o processo de lançamento, compatibilização e verificação do projeto em concreto armado. Depois de realizadas todas as verificações e otimizações do projeto, foram geradas as pranchas do projeto estrutural em plataforma CAD, que possibilita uma melhor compreensão da estrutura de concreto em geral e também tem a opção de gerar pranchas de cada elemento estrutural individualmente, com isso pode-se analisar e entender melhor a estrutura do projeto.

Contudo, desde o início até o fim do projeto em concreto armado foi preciso de dois dias de estudo e trabalho, com uma jornada de 6 horas por dia, porém o tempo gasto para elaborar um projeto depende de vários fatores, como por exemplo, a arquitetura, o tamanho do projeto, a experiência do projetista, o software utilizado, entre outros.

4.1.2 Projeto em estrutura metálica

O projeto em estrutura metálica foi elaborado pela RC Construções Metálicas Ltda., o mesmo foi utilizado para fazer o projeto em concreto armado, em ambos manteve passos similares.

No lançamento estrutural, bem como no projeto por completo, realizou-se todas as compatibilizações e verificações até atingir um arranjo que atendesse as exigências do projeto em estudo. Logo em seguida gerou-se as pranchas dos elementos estruturais.

Contudo, para finalizar o projeto em aço foi necessário uma jornada de trabalho de 2 horas, porém da mesma forma, esse tempo gasto é muito relativo pois depende de vários fatores, do tamanho do projeto, da experiência do projetista, da arquitetura, do software utilizado, entre outros.

4.2 RESULTADOS E ANÁLISES

O orçamento da estrutura em concreto armado teve como base de pesquisa o SINAPI, (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), planilha de abrangência nacional e que tem seus dados atualizados pela Caixa Econômica Federal e o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), já a estrutura em aço foi orçada pela RC Construções Metálicas Ltda., empresa responsável pelo projeto da estrutura metálica.

Cabe ressaltar que, também não foi acrescentado o valor do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) nos itens que compõem os orçamentos. Essa análise de custo levou em consideração valores do insumos extraídos da planilha SINAPI referente ao mês de março de 2020.

Foi utilizada a planilha excel para organizar e demonstrar a composição dos valores obtido no orçamento em ambas estruturas.

4.3 ANÁLISE DA FUNDAÇÃO

4.3.1 Orçamento da fundação tipo tubulão no projeto em concreto armado

Através de uma planilha automática específica para dimensionamento de tubulão, foram gerados todos os quantitativos de insumos necessários para orçar a fundação em concreto armado, especificamente, o volume do concreto, a quantidade de aço e a quantidade de formas. Desta forma, foi possível obter o custo total para executar a fundação tipo tubulão para a obra em estudo, que é de R\$ 139.260,47 reais.

O quadro 1 mostra melhor a composição do custo da fundação tipo tubulão.

Quadro 1 – Fundação no projeto em concreto armado

CODIGO	DISCRIMINACAO	UND.	QTD.	PRECO UNITARIO	TOTAL(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
1	FUNDAÇÃO - TUBULÃO					139.260,47
97751	TUBULÃO A CÉU ABERTO, DIÂMETRO DO FUSTE DE 70 CM, PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 5 M, ESCAVAÇÃO MANUAL, SEM ALARGAMENTO DE BASE, CONCRETO FEITO EM OBRA E LANÇADO COM JERICA. AF_01/2018	M3	143,31	917,75	R\$ 131.522,75	
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	370,30	5,83	R\$ 2.158,85	
43055	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	764,30	5,05	R\$ 3.859,72	
43055	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	25,10	5,05	R\$ 126,76	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	289,00	5,51	R\$ 1.592,39	

Fonte: Elaborada pelo autor, tabela sinapi, 2020.

4.3.2 Orçamento da fundação tipo tubulão no projeto em aço

No projeto de estrutura metálica utilizou-se o mesmo tipo de fundação utilizado no projeto de concreto armado. Por meio de uma planilha automática específica para dimensionamento de tubulão, foram gerados todos os quantitativos de insumos necessários para orçar a fundação em concreto armado, especificamente, o volume do concreto, a quantidade de aço e a quantidade de formas. Desta forma, foi possível obter o custo total para executar a fundação tipo tubulão para a obra em estudo, que é de R\$ 111.177,31 reais.

No quadro 2 pode-se entender melhor a composição do custo da fundação no projeto de estrutura metálica.

Quadro 2 – Fundação no projeto em aço

CODIGO	DISCRIMINACAO	UND.	QTD.	PRECO UNITARI	TOTAL(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
1	FUNDAÇÃO TIPO TUBULÃO					111.177,31
97751	TUBULÃO A CÉU ABERTO, DIÂMETRO DO FUSTE DE 70 CM, PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 5 M, ESCAVAÇÃO MANUAL, SEM ALARGAMENTO DE BASE, CONCRETO FEITO EM OBRA E LANÇADO COM JERICA. AF_01/2018	M3	112,71	917,75	R\$ 103.439,60	
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	370,30	5,83	R\$ 2.158,85	
43055	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	764,30	5,05	R\$ 3.859,72	
43055	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	25,10	5,05	R\$ 126,76	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	289,00	5,51	R\$ 1.592,39	

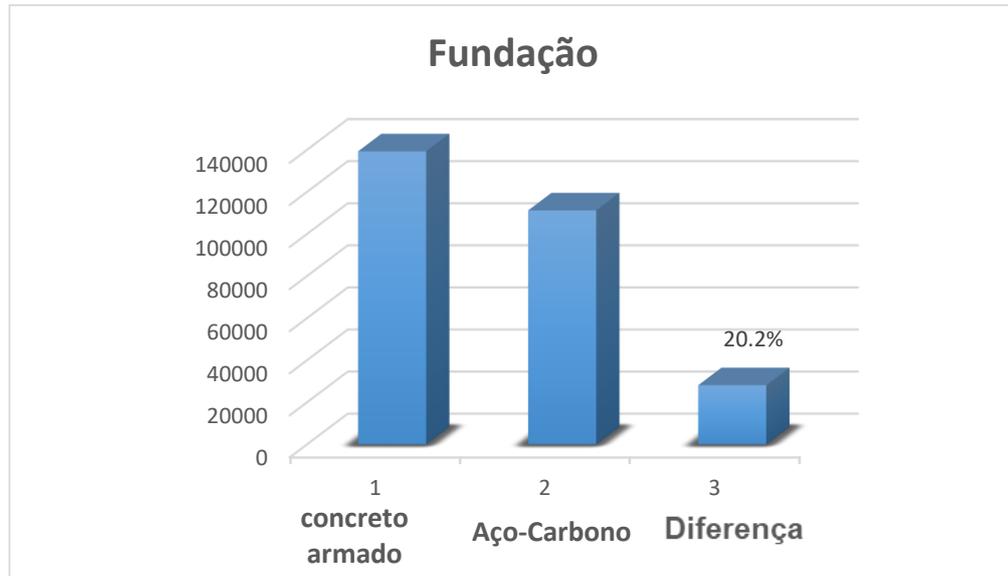
Fonte: Elaborada pelo autor, tabela sinapi, 2020.

4.3.3 Análise comparativa entre orçamentos das fundações em concreto armado e metálica

Conforme o orçamento da fundação tipo tubulão no projeto em concreto armado, concebido pelo autor e exposto no quadro 1, e o orçamento da fundação no projeto em aço, concebido pelo autor e exposto no quadro 2, é possível verificar que a execução mais vantajosa economicamente sobre o edifício universitário estudado é em aço-carbono, uma vez que o custo da obra da estrutura em si, é R\$ 28.083,16 mais barato que a estrutura em concreto armado para a mesma edificação.

A diferença entre elas pode ser analisada no gráfico 1.

Gráfico 1 – Fundações



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.4 ANÁLISE DA VIGA BALDRAME

4.4.1 Orçamento da viga baldrame

A viga baldrame em ambas as estruturas estudadas foram iguais, sendo assim, gerando através do Software AltoQI Eberick, versão V8, todos os quantitativos de insumos necessários iguais. O valor do orçamento foi de R\$ 114.072,72 reais.

Devido os valores serem iguais, tanto na estrutura de concreto armado quanto na estrutura de aço carbono, não será necessário comparar esse elemento estrutural.

No quadro 3 pode-se ver melhor a composição do valor da viga baldrame.

Quadro 3 – Orçamento da viga baldrame

CODIGO	DISCRIMINACAO	UND.	QTD.	PRECO UNITARIO	TOTAL(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
2	VIGA BALDRAME					114.072,72
96536	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	755,25	47,24	R\$ 35.678,01	
96545	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	170,40	10,88	R\$ 1.853,95	
96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	1.280,80	9,52	R\$ 12.193,22	
96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	685,50	7,92	R\$ 5.429,16	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	946,00	5,51	R\$ 5.212,46	
96555	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAME, FCK 25 MPA, COM USO DE JERICA ☐ LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2017	M3	75,54	710,96	R\$ 53.705,92	

Fonte: Elaborada pelo autor, tabela sinapi, 2020.

4.5 ANÁLISE DA ESTRUTURA

4.5.1 Orçamento da estrutura no projeto em concreto armado

Por meio do Software AltoQIEberick, versão V8, foram gerados todos os quantitativos de insumos necessários para orçar a estrutura em concreto armado, especificamente, o volume do concreto, a quantidade de aço e a quantidade de formas. Desta forma, foi possível obter o custo para executar as mesma na obra em estudo, que é de R\$ 884.949,09 reais.

No quadro 4 é possível ver o orçamento da estrutura em concreto armado.

Quadro 4 – Orçamento da estrutura em concreto armado

CODIGO	DISCRIMINACAO	UND.	QTD.	PRECO UNITARIO	TOTAL(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
3	PILARES					136.459,12
92263	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM.	M2	728,25	97,46	R\$ 70.975,25	
34493	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	59,86	616,15	R\$ 36.882,74	
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	2.589,10	5,83	R\$ 15.094,45	
43055	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	1.062,30	5,05	R\$ 5.364,62	
43055	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	129,50	5,05	R\$ 653,98	

CODIGO	DISCRIMINACAO	UND.	QTD.	PRECO UNITARIO	TOTAL(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	1.359,00	5,51	R\$ 7.488,09	
4	VIGAS					495.909,85
92456	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	2.669,45	95,44	R\$ 254.772,31	
34493	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	257,85	616,15	R\$ 158.874,28	
32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	295,00	6,15	R\$ 1.814,25	
33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	1.489,40	6,18	R\$ 9.204,49	
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	2.915,10	5,83	R\$ 16.995,03	
43055	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	2.985,50	5,05	R\$ 15.076,78	
43055	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	980,20	5,05	R\$ 4.950,01	
43056	ACO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	KG	2.518,90	5,82	R\$ 14.660,00	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	3.550,40	5,51	R\$ 19.562,70	
5	LAJE					186.133,88
3746	LAJE PRE-MOLDADA TRELICADA (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 200 KG/M2, VAO ATE 6,00 M (SEM COLOCACAO)	M2	1206,03	80,98	R\$ 97.664,31	
34493	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	120,6	616,15	R\$ 74.307,69	
32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	2.247,70	6,18	R\$ 13.890,79	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	49,20	5,51	R\$ 271,09	
6	ESCADA					40.592,77
95935	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA ESCADAS, COM 2 LANCES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E= 17 MM. AF_01/2017	M2	95,03	90,44	8.594,51	
95969	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) EXECUÇÃO DE ESCADA EM CONCRETO ARMADO, MOLDADA IN LOCO, FCK = 25 MPA. AF_02/2017	M3	10,54	2.501,48	26.365,60	
32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	122,90	6,15	755,84	
33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	49,00	6,18		
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	798,70	5,83	4.656,42	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	40,00	5,51	220,40	
7	RESERVATORIO					25.853,48
34493	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	10,04	616,15	6186,146	
32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	104,20	6,15	640,83	
33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	119,20	6,18	736,66	
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	453,00	5,83	2.640,99	
43055	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	582,40	5,05	2.941,12	
43055	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	2.502,20	5,05	12.636,11	
43059	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	13,00	5,51	71,63	
CUSTO TOTAL						884.949,10

Fonte: Elaborada pelo autor, tabela sinapi, 2020.

4.5.2 Orçamento da estrutura no projeto em aço carbono

A estrutura em aço-carbono teve seu orçamento realizado pela empresa RC Construções Metálicas Ltda., e para tal, foram considerandos todos os insumos e composições, como perfis metálicos, fabricação e montagem destes.

Para realizar o orçamento de uma estrutura em aço é necessário ter o peso total da estrutura. De acordo com a empresa, essa estrutura demanda um valor de 80.000 Kg, e o valor do Kg é de aproximadamente 10 reais, considerando material e a mão-de-obra.

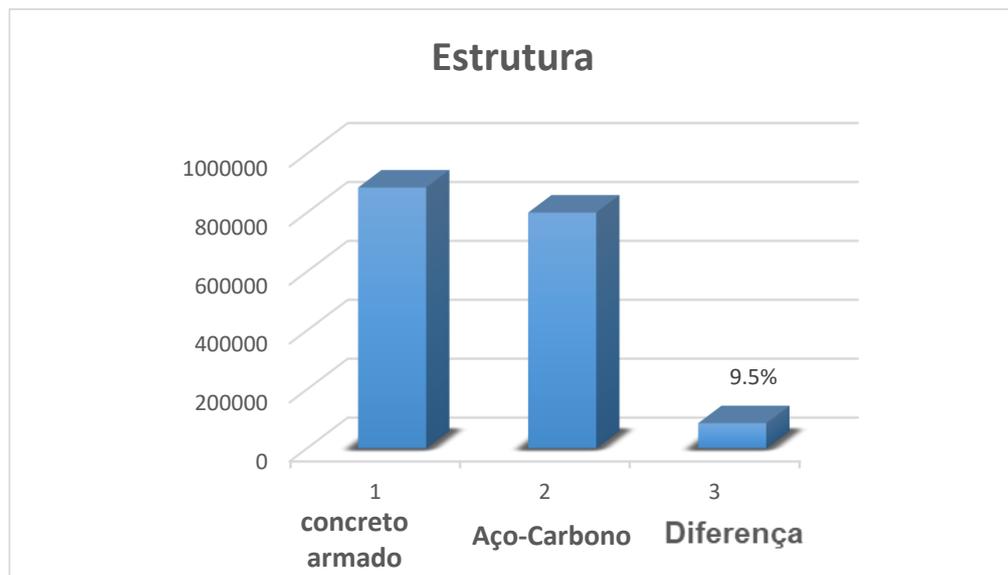
De acordo com o orçamento o valor total da estrutura metálica fabricada e executada é de R\$ 800.000,00.

4.5.3 Análise comparativa entre orçamentos da estrutura em concreto armado e em aço-carbono

Conforme o orçamento realizado pelo autor sobre a estrutura de concreto armado, exposto no quadro 4, e o orçamento realizado pela RC Construções Metálicas Ltda. acerca da estrutura em aço, é possível verificar que a execução mais vantajosa economicamente sobre o edifício estudado é em aço-carbono, uma vez que o custo da obra da estrutura em si, é R\$ 84.949,09 mais barato que a estrutura em concreto armado para a mesma edificação.

A diferença entre elas pode ser analisada no gráfico 2.

Gráfico 2 – Estruturas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

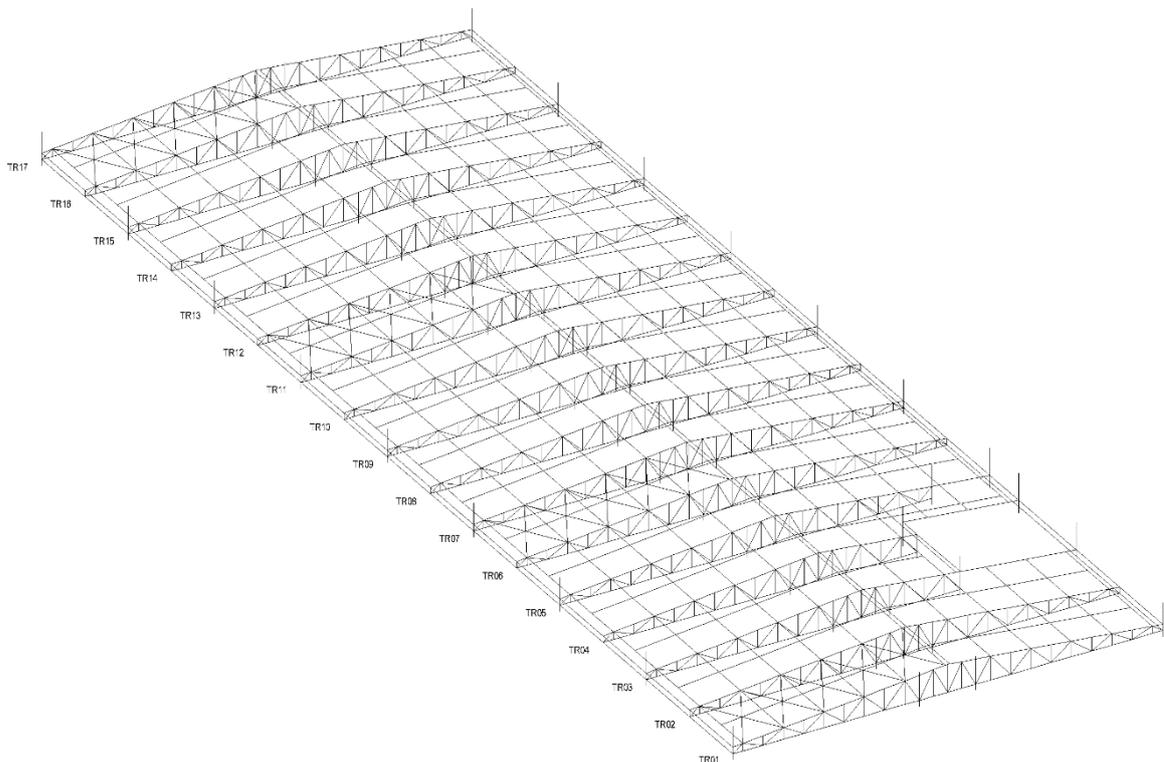
4.6 ANÁLISE DA COBERTURA

4.6.1 Orçamento da cobertura

A cobertura utilizada foi a mesma nos dois tipos de projetos estudados. Desta forma não será preciso fazer uma análise comparativa entre os projetos, pois as coberturas são iguais.

O projeto da cobertura foi elaborado e orçado pela empresa RC Construções Metálicas Ltda., e neste foram considerando todos os insumos e composições, como perfis metálicos, fabricação e montagem destes, podendo ser visto o modelo esquemático da cobertura metálica em forma de treliça na figura 16.

Figura 16 – Cobertura



Fonte: RC Construções Metálicas, 2020

De acordo com a RC Construções Metálicas, é preciso de 11.000 Kg de aço para executar essa cobertura, estipulado um valor de mercado de 10 reais por Kg, o valor da cobertura e da mão-de-obra, deu em torno de 110.000,00 reais. Também foi adicionado telhas termoacústicas para o fechamento, orçado um valor de 220.000,00 reais.

De acordo com o orçamento o valor total da cobertura metálica fabricada e executada é de R\$ 330.000,00.

O quadro 5 mostra a composição do valor da cobertura.

Quadro 5 – Cobertura

8	COBERTURA					330.000,00
	COBERTURA	kg	11.000,00	10	R\$ 110.000,00	
	TELHAS (TERMOACUSTICA)	vb	1,00	220.000,00	R\$ 220.000,00	

Fonte: RC Construções Metálicas, 2020.

4.7 ANÁLISE DO TEMPO DE EXECUÇÃO DA SUPERESTRUTURA

4.7.1 Tempo de execução da estrutura em concreto armado

De acordo com TOMMELEIN; RILEY; HOWELL (1999) Um dos problemas gerenciais que ainda desafiam as empresas construtoras é o cumprimento da programação das atividades, ou seja, executá-las em tempo consoante ao planejado. Os atrasos no ambiente da construção são comuns, o que afeta algumas atividades ou todo o fluxo de produção em virtude do andamento sequencial deste.

Conforme estudado, uma estimativa para que a obra seja concluída são necessários de 10 meses para execução total da estrutura, porém deve-se levar em conta que é uma estimativa e que esse tempo pode variar muito, pois depende de vários fatores para que tudo se conclua no tempo previsto, como por exemplo, o número de trabalhadores, os equipamentos utilizados, os materiais utilizados, o clima do local da obra, entre outros.

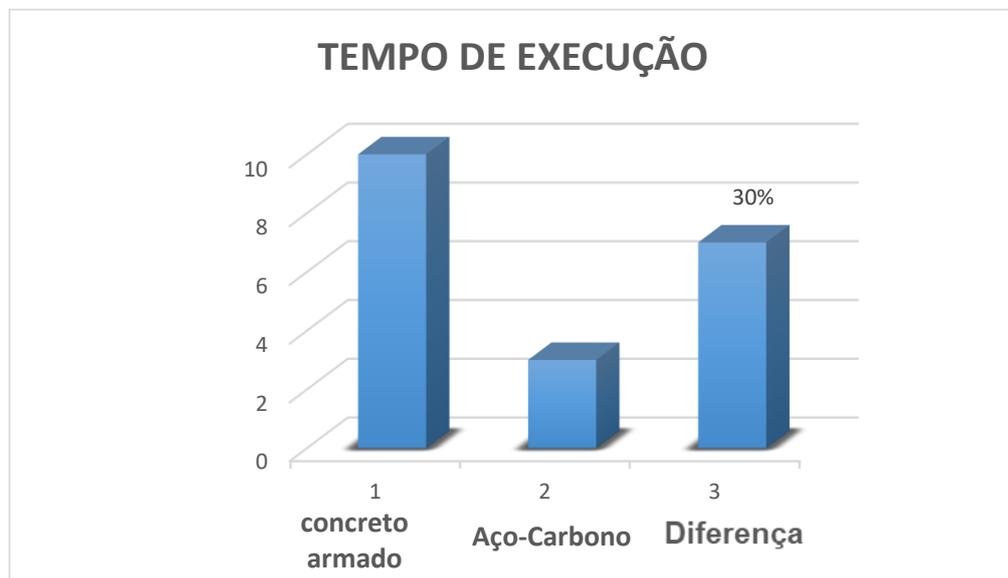
4.7.2 Tempo de execução da estrutura em aço-carbono

Segundo a empresa especialista em estrutura metálicas RC Construções Metálicas Ltda., o tempo necessário para a execução do edifício universitário projetado em aço-carbono é de 3 meses, tendo em vista o tempo que a usina estima para produzir todo o material e o tempo necessário para montagem das peças até a concepção final da estrutura.

4.7.3 Análise comparativa entre o tempo de execução da estrutura em concreto armado e em aço-carbono

De acordo com os dados obtidos entre o tempo de execução de cada estrutura, a estrutura metálica se mostra mais vantajosa do que a estrutura de concreto armado, como é apresentado no gráfico 3, permitindo que seja construído uma superestrutura rápida em termos de execução, com uma diferença de 7 meses de vantagem sobre a estrutura de concreto armado, uma diferença extremamente significativa, a qual promove inúmeros benefícios econômicos.

Gráfico 3 – Tempo de execução



Fonte: RC Construções Metálicas, 2020.

4.8 ANÁLISE DO CUSTO-BENEFÍCIO DO PRODUTO FINAL ESTUDADO

Após o estudo dos dois tipos de processos construtivos apresentado no trabalho, o concreto armado e o aço-carbono, foram expostos os dados que permite mostrar qual dos dois meios de construção apresenta o melhor custo benefício para esse projeto em específico.

Deve-se lembrar que cada obra tem suas particularidades e que o melhor custo-benefício pode variar entre os vários métodos construtivos que existem na engenharia civil.

Contudo, o projeto do edifício universitário apresentado neste trabalho mostrou-se mais vantajoso, em todos os aspectos analisados, ser executado em estrutura de aço-carbono. Levando em consideração que a estrutura metálica possibilita maior rapidez na concepção do projeto, na execução, menor custo e mantém a obra limpa, além de garantir grande controle de

qualidade do produto acabado, será mais viável para o empreendedor utilizar esse tipo de estrutura.

No entanto, mesmo a estrutura metálica conseguindo obter melhores resultados na pesquisa realizada, dependendo do local da obra pode-se encontrar dificuldades em relação a estrutura em concreto armado, pois, o concreto armado por se tratar de um método tradicional e mais antigo, apresenta uma quantidade maior de profissionais capacitados a executar esse tipo de estrutura, tornando esse sistema o mais indicado.

No quadro 6 indica o valor final de ambas as estruturas analisadas, e em seguida mostra a diferença em real entre elas, no qual obteve uma economia de R\$ 113.032,25.

Quadro 6 – Comparativo de custo final

COMPARATIVO DE CUSTO FINAL		
	Estrutura em concreto armado	Estrutura em aço-carbono
VALOR TOTAL	1.468.282,28	1.355.250,03
Diferença de preço	113.032,25	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos a partir das análises, observou-se a relevância que uma realização de um estudo prévio de análise para conseguir o melhor custo benefício de uma construção civil é muito válido e bastante significativo, visto que o cenário atual da sociedade é instável, é muito importante definir e apresentar o método que se mostra mais vantajoso quanto ao custo, qualidade, desempenho e tempo.

A construção civil se mostra cada vez mais exigente e necessita de métodos e materiais que otimizem a questão da qualidade, do tempo, do custo total, dessa forma a estrutura metálica com suas características singulares se sobressaem hoje com uma das alternativas mais viáveis para a maioria dos empreendimentos. Trata-se de uma solução que, definitivamente, apresenta mais oportunidades para os construtores e seus clientes.

Tendo em vista de que se trata de um edifício universitário, a instituição que realizará o investimento para construir, precisará finalizar a obra o mais rápido possível para que se tenha, o quanto antes, o retorno da aplicação de todo dinheiro e no quesito tempo, a estrutura metálica se sobressaiu muito bem em relação à estrutura de concreto armado. Desde a concepção do projeto até finalizar a obra, a instituição educacional anteciparia pouco mais de 7 meses para começar a usufruir do edifício executado em aço e levando em conta essa diferença muito significativa de tempo para conceber e executar, a estrutura metálica se mostrou muito mais favorável. É uma alternativa extremamente eficaz para redução do tempo.

A grande diferença de tempo entre as estruturas de concreto armado e aço-carbono se dá pelo fato de que a estrutura metálica são peças estruturais pré-fabricadas, ou seja, são feitas na indústria e chegam prontas no canteiro de obra, sendo necessário apenas a montagem dessas peças estruturais. Entretanto, na estrutura de concreto armado demanda mais tempo de execução devido aos elementos estruturais serem feitos no local da obra, necessitando de montagem e desmontagem de formas, escoramentos de vigas e lajes, e tempo de cura do concreto para obter a resistência necessária.

Com esse estudo de caso, foi possível também desvendar o mito que muitas pessoas pensam a respeito da estrutura metálica, no qual dizem que a estrutura em concreto armado é mais barato do que a estrutura metálica, pelo fato de ser um método mais usual e mais antigo no ramo da construção civil. Porém, pôde ser analisado que a estrutura metálica é mais viável economicamente em relação ao concreto armado, se tornando uma ótima opção tanto financeiramente quanto no tempo de execução da obra.

A produção da estrutura com a execução, ter a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços ao mesmo tempo, a diminuição de formas e escoramentos, entre outros pontos, tornam o uso do aço mais propício, reduzindo assim, em até 40% no tempo de execução quando comparado com outros materiais (FERREIRA, 1998).

Desta forma, a presente pesquisa teve seu objetivo alcançado, frente a essa diferença significativa de valores, custo-benefício, tempo, viabilidade, entre os dois projetos, pode-se proporcionar uma análise comparativa e provar que a estrutura em aço carbono é mais viável em relação a de concreto armado.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – procedimento: NBR8681.** 2004

CALLERA, Cleverson Aislan. **Industrializando processos na obra:** Instalações hidrossanitárias. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/artigos/industrializando-processos-na-obra-instalacoes-hidrossanitarias>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

CONCRETO, Portal do. **AGREGADOS PARA CONCRETO.** 2016. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas e concreto armado:** Segundo a NBR 6118:2014, 4. ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2014.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural:** Tópicos aplicados, 1. ed. São Paulo: PINI, 2008.

GASPAR, R. **Estruturas metálicas:** 1. ed. Brasil: Apostila, 2008.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço:** Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008, 8. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2009.

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas:** Cálculos, detalhes, exercícios e projetos, 2. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2005.

PRAVIA, Z. M. C.; FICANHA, R. A.; FABEANE, R. **Projeto e cálculo de estrutura de aço:** Edifício industrial detalhado, 1. ed. Brasil: ELSEVIER-CAMPUS, 2013.

SANTOS, A. F. **Estruturas metálicas:** Projeto e detalhes para fabricação, 3. ed. São Paulo: McGRAW-HILL, 1977.

SILVA, V.P. **Dimensionamento de estruturas de aço,** São Paulo: Apostila USP, 2012.

CHAVES, M. R. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões industriais leves.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

[HTTPS://BIOPDI.COM.BR/ARTIGOS/ENSAIO-DE-TRACAO, ENSAIO-DE-COMPRESSAO](https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao,ensaio-de-compressao)

Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação.

JOÃO CARLOS TEATINI DESOUZA. - 3. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.

TOMMELEIN, I.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A. Parade Game: **impact of work flow variability on trade performance**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 125, n. 5, p. 304-310, 1999.

FERREIRA, O.L. **O uso adequado do aço e sua contribuição na racionalização da construção**. 206p. Dissertação de Mestrado - FAU/UFRJ - Rio de Janeiro, 1998.