



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JOEL VÍCTOR DANTAS E SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA METÁLICA DE AÇO**

**ARARUNA
2022**

JOEL VÍCTOR DANTAS E SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA METÁLICA DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada a Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de graduado em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientadora (a): Prof. Me. Lays Raianne Azevedo da Costa

Araruna

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Joel Victor Dantas e.
Análise comparativa do custo de um edifício comercial dimensionado em concreto armado e estrutura metálica de aço [manuscrito] / Joel Victor Dantas e Silva. - 2022.
48 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.

"Orientação : Profa. Ma. Lays Raianne Azevedo da Costa ,
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Análise estrutural. 2. Custos. 3. Aço. I. Título

21. ed. CDD 624.171

Joel Víctor Dantas e Silva

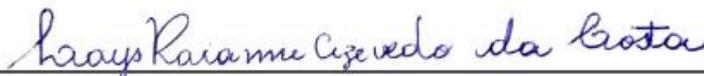
ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL
DIMENSIONADO EM CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA METÁLICA DE AÇO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada a Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de graduado em Engenharia Civil.

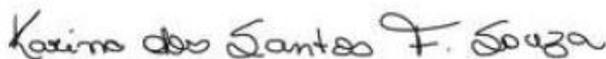
Área de concentração: Estruturas

Aprovado em: 01 / 12 / 2022.

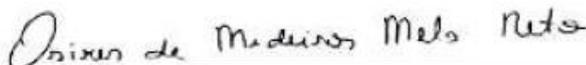
BANCA EXAMINADORA



Profª. Me. Lays Raianne Azevedo da Costa (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profª. Esp. Karina dos Santos Fernandes de Souza (Examinadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Osires de Medeiros Melo Neto (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda a sua bondade, misericórdia, provisão e eterna companhia nas incontáveis madrugadas de estudo.

À minha família por todo apoio e auxílio necessário para realização deste ciclo, em especial meus pais, Jesus de Ritinha de Miúdo e Vigélia Darc Dantas.

À minha eterna dupla, Wilton Severiano, por todas as caronas, brincadeiras, discussões e apoio.

Aos meus amigos que tornaram todo o processo menos desgastante, em especial Adson Albuquerque, Alexandre Pimenta, Allyson Diniz, Arthur Costa, Carlos Macêdo, Eryclapton Gomes, João Vítor Guedes, Maria Ana, Pedro Targino e William Carlos por serem minha família universitária.

À toda família de João Augusto por me acolher como um dos seus.

À minha orientadora, Lays Costa, por toda prontidão e auxílio no desenvolvimento deste trabalho, assim como nas matérias ministradas.

A todos os funcionários da UEPB campus VIII.

Por fim, agradeço a cada um que contribuiu de forma direta ou indireta para minha formação.

O temor ao Senhor é o princípio da sabedoria.

(Provérbios 9:10)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo comparar os custos de construção da estrutura em concreto armado e em aço para um edifício comercial dimensionado na cidade de Natal, Rio Grande do Norte. Para o dimensionamento estrutural em ambos os materiais foi utilizado o software CypeCad e, por meio do quantitativo gerado pelos relatórios do programa, o orçamento da obra foi desenvolvido por meio do OrçaFascio que utiliza a tabela fornecida pelo Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices para Construção Civil (SINAPI) para custos unitários. Com os resultados obtidos foi possível analisar que, dentro das condições abordadas, optar pelo uso de concreto armado influenciaria em uma economia de quase 40% em relação ao uso do aço. Contudo, a parte financeira é apenas uma das variáveis construtivas, para a real escolha do material utilizados fatores como prazo para execução, disponibilidade de mão-de-obra e oferta de materiais precisam ser levados em consideração.

PALAVRA-CHAVE: Custos. Concreto armado. Aço. Estruturas.

ABSTRACT

The present work aimed to compare the construction costs of the structure in reinforced concrete and in steel for a commercial building dimensioned in the city of Natal, Rio Grande do Norte. For the structural dimensioning in both materials, the CypeCad software was used and, through the quantitative generated by the program reports, the budget of the work was developed through OrçaFascio, which uses the table provided by the National System of Research of Costs and Indexes for Civil Construction (SINAPI) for unit costs. With the results obtained, it was possible to analyze that, within the conditions addressed, opting for the use of reinforced concrete would influence an economy of almost 40% in relation to the use of steel. However, the financial part is just one of the constructive variables, for the actual choice of material used, factors such as deadline for execution, availability of labor and supply of materials need to be taken into account.

KEYWORDS: Costs. Reinforced concrete. Steel. Structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos Estruturais	14
Figura 2 - Corpos de prova cilíndricos.....	17
Figura 3 – Forças de compressão atuando em corpo de prova	17
Figura 4 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão do concreto... 18	
Figura 5 – Deformações em corpos cilíndricos de concreto.....	19
Figura 6 – Gráfico tensão pela deformação do concreto.....	20
Figura 7 – Perfis laminados com abas paralelas de padrão europeu.....	26
Figura 8 – Perfis de chapas dobrados.....	26
Figura 9 – Perfis composto por chapas ou perfis laminados	27
Figura 10 – Composição de um parafuso	28
Figura 11 – Tipos de soldas	28
Figura 12 - Fluxograma da metodologia geral utilizada.....	30
Figura 13 - Arquitetura da edificação	31
Figura 14 – Dados gerais projeto em concreto armado	32
Figura 15 – Estrutura em concreto armado	33
Figura 16 – Dados gerais projeto em aço	34
Figura 17 – Estrutura em aço	35
Figura 18 – Ligações parafusadas	36
Figura 19 – Fundação da estrutura em aço.....	36
Figura A. 1 – Quantitativo geral da estrutura em concreto armado	45
Figura A. 2 – Quantitativo de barras de aço por diâmetro da estrutura em concreto armado	45
Figura A. 3 – Quantitativo de perfis metálicos da estrutura em aço	46
Figura B. 1 – Detalhamento ligações entre vigas e pilares	47
Figura B. 2 – Detalhamento fundação.....	47
Figura C. 1 – Valores de tensões admissíveis para cada tipo de solo conforme o Cypecad	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade de acordo com o ambiente	22
Quadro 2 – Propriedades mecânicas dos aços-carbono.....	24
Quadro 3 – Propriedades mecânicas dos aços de baixa liga.....	25
Quadro 4 - Orçamento estrutura em concreto armado.....	38
Quadro 5 - Orçamento estrutura em aço.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Estrutura	14
3.1.1	Elementos Estruturais	14
3.1.2	Cargas Atuantes.....	15
3.2	Concreto Armado	16
3.2.1	Resistência à Compressão.....	16
3.2.2	Resistência à Tração.....	19
3.2.3	Módulo de Elasticidade do Concreto	19
3.2.4	Durabilidade	20
3.2.5	Formas e Molduras	22
3.2.6	Mão de Obra e Manutenção	22
3.3	Estruturas em Aço	23
3.3.1	Propriedades do Aço	23
3.3.2	Tipos de Aço Estrutural	24
3.3.3	Perfis Metálicos	25
3.3.4	Ligações Metálicas	27
3.4	Estados Limites	29
4	METODOLOGIA PROPOSTA	30
4.1	Definição da Arquitetura	30
4.2	Projeto em Concreto Armado	31
4.2.1	Dados Gerais de Projeto	31
4.2.2	Dimensionamento da estrutura em Concreto Armado	32
4.3	Projeto em Aço	33
4.3.1	Dados Gerais de Projeto	34
4.3.2	Dimensionamento da estrutura em Aço	35
4.4	Orçamento	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38

6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICES	45

1 INTRODUÇÃO

Quando peças de concreto são dispostas de forma que sofram esforços consideráveis de tração, acaba-se por facilitar a ocorrência de fissuras nesta estrutura pois tal material apresenta baixa resistência a esse alongamento, gerando patologias e insegurança.

Desta forma, barras de aço são alocadas nas peças de concreto durante sua modulação com o intuito de combater os esforços de tração, reduzindo os custos e dimensões das estruturas, a união do concreto e aço foi chamada de concreto armado.

Todavia, mesmo com a utilização de concreto armado existe, em alguns casos, a necessidade de criar estruturas robustas para suportar as cargas impostas, o que muitas vezes entra em confronto com a estética e distribuição do espaço da edificação. Tal problemática estimula estudos para que novos materiais construtivos possam vir a substituir o concreto armado, desde que seja financeiramente viável e tecnicamente seguro.

Para determinar se a utilização de um material alternativo é economicamente viável, tem-se que considerar todo o processo construtivo de ambos os elementos, levando em conta a mão de obra necessária, quantitativo de materiais, tempo necessário para finalização da atividade e o preço unitário de cada item. Logo, toda logística construtiva deve ser examinada, assim como as particularidades da obra em questão.

Uma das possibilidades de substituição ao concreto armado são estruturas metálicas feitas de aço, as quais conseguem vencer grandes vãos sem que possuam seções transversais volumosas. A rápida execução deste serviço também é evidenciada, visto que se trata de peças pré-fabricadas, reduzindo o tempo de obra.

Isto posto, este trabalho teve como intuito dimensionar, por meio do uso de softwares, a superestrutura de um edifício comercial utilizando aço e concreto armado, para que fosse possível desenvolver a análise comparativa do custo de cada material para o mesmo cenário.

2 OBJETIVOS

Alguns objetivos são evidenciados nesse projeto, tais quais guiam e norteiam o seu percurso, são eles:

2.1 Objetivo Geral

Estabelecer através de análise comparativa do dimensionamento estrutural em concreto armado e em aço qual material construtivo tende a apresentar menor custo para a estrutura de um edifício comercial.

2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar edifício comercial em aço e concreto armado através do software CypeCad.
- Comparar os custos da obra em concreto armado e em aço e averiguar quais desses materiais é mais viável economicamente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os processos construtivos relacionam diferentes períodos históricos e servem para descrição de uma sociedade, sendo alvo de constantes avanços em prol de garantir melhores condições de serviços e segurança.

Na Roma antiga, ainda guiados pelo conhecimento empírico, utilizavam-se de argamassa composta por areia, pedra moída e cinzas vulcânicas nas suas edificações, de maneira em que a arquitetura, a maioria contendo formas de arcos e cúpulas, compensava a falta do aço na composição estrutural (FRANCO, 2015).

Quando estruturas na construção civil são abordadas, discorre sobre o sistema que irá suportar as cargas da edificação. De acordo com Souza e Rodrigues (2008, p. 05) “as estruturas se caracterizam por serem as partes mais resistentes de uma construção. São elas que absorvem e transmitem os esforços, sendo essenciais para a manutenção da segurança e da solidez de uma edificação.”

Após desenvolvimento tecnológico e intelectual, comandados pelos anseios de garantir maior segurança estrutural aos edifícios, a combinação de concreto e aço se tornou a alternativa mais acolhida no âmbito construtivo, potencializado pelas facilidades de manuseio e trabalhabilidade do material.

Para a produção do concreto, nas notas de aulas da disciplina de concreto armado, Almeida (2002, p. 03) explica que se trata do resultado da mistura entre aglomerante (cimento), agregados (areia e pedras) e água, o que torna este um elemento de fácil extração.

A tratar das armaduras, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através NBR 7480/2022 determina que podem ser utilizadas barras e fios de aço, lisas ou nervuradas, assim como os respectivos diâmetros, instruindo sobre a utilização quanto à resistência de cada elemento ao escoamento, principal esforço combatido pelo aço no concreto armado.

Deste modo, o concreto armado para Araújo (2010, p.01) é: “o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior”. Em contrapartida, buscando velocidade de execução e maior controle técnico, estruturas metálicas despontam como ótima alternativa construtiva, podendo ser economicamente mais viáveis e estruturalmente seguras.

No âmbito estrutural, Pfeil W e Pfeil M (2009, p.01) afirmam que as principais propriedades necessárias no aço são: boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre tensão resistente e de escoamento. Para dimensionar estruturas em concreto armado ou metálicas, são utilizadas como principais diretrizes, respectivamente, as normas ABNT NBR 6118/2014 (projeto de estruturas de concreto) e ABNT NBR 8800/2008 (projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios).

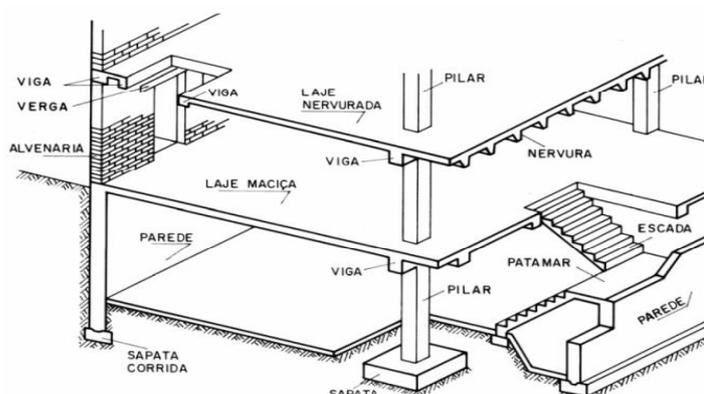
3.1 Estrutura

As estruturas na construção civil são sistemas físicos responsáveis pela sustentação e estabilidade da edificação, resistindo às ações externas e transmitindo os esforços até o solo, devendo garantir segurança, bom desempenho de serviço e durabilidade. Seguindo Soriano (2014, p.01), sabe-se que estes exercícios podem variar sua magnitude, posição, direção e sentido ao longo do tempo.

3.1.1 Elementos Estruturais

De forma geral, os elementos básicos de uma estrutura são: lajes, vigas, pilares e fundações, de modo em que cada um desempenha um papel específico na sustentação do edifício. Outros elementos estruturais que se pode listar são as escadas e paredes. A Figura 1 traz a representação desses elementos estruturais distribuídos em uma construção.

Figura 1 - Elementos Estruturais



Fonte: Luciano Caetano do Carmo (2014).

As lajes são elementos planos que constituem o piso de cada pavimento, sendo responsáveis por absorver o peso presente no local e transferir estes esforços para as vigas que sustentam o componente. Caracterizadas por possuírem uma dimensão (espessura) relativamente menor que as demais (ABNT NBR 6118/2014).

As vigas e pilares são elementos lineares, sendo a viga responsável pela absorção dos esforços oriundos das lajes, transferindo estes até os pilares. A flexão atua de forma preponderante nessas estruturas (ABNT NBR 6118/2014). A fundação se trata de elementos volumétricos, sendo o componente estrutural responsável pela transmissão das cargas do edifício até o solo.

3.1.2 Cargas Atuantes

Diferentes são as cargas atuantes sobre a estrutura de uma edificação, de forma que quanto maior for a construção, tende-se a ter mais forças atuando sobre ela e em maior intensidade. Identificar a composição de cargas atuantes sobre o prédio é uma etapa de fundamental importância para o dimensionamento estrutural, visto que é o fator guia para elaboração do projeto.

Quanto a classificação destas cargas de acordo com ABNT NBR 8681/2004 (ações e segurança nas estruturas - procedimento), temos:

- Cargas permanentes: provenientes do peso próprio da estrutura e dos elementos construtivos, possuindo valores constantes ao longo do tempo; determinadas com boa precisão.
- Cargas acidentais (variáveis): proveniente de fatores externos como ocupação humana no local, peso das mobílias, peso de veículos, força do vento etc., possuindo valores que variam conforme o tempo; estimadas de acordo com a norma.

Para orientação das cargas no dimensionamento é levado em consideração as tabelas fornecidas na norma ABNT NBR 6120/2019 (ações para o cálculo de estruturas de edificações).

3.2 Concreto Armado

Devido à baixa resistência do concreto à tração (aproximadamente 10% da resistência à compressão), barras de aço são dispostas no seu interior, formando o concreto armado. A associação entre concreto e aço só é possível devido a aderência. Araújo (2010, p.01) esclarece que a aderência é responsável por garantir que a deformação ocorrida nas barras de aço seja praticamente igual a que ocorrem no concreto.

Em zonas de tração as peças de concreto tendem a fissurar devido sua baixa resistência, desta forma, a armadura (nomenclatura adotada para se referir a estrutura de aço no interior do concreto) passa a absorver estes esforços. O concreto também atua como barreira protetora entre os componentes do ar atmosférico e o aço, livrando o metal de efeitos corrosivos que possam causar patologias a esta estrutura, a garantir maior durabilidade da edificação.

3.2.1 Resistência à Compressão

Em busca de garantir maior segurança, para a determinação da resistência à compressão de uma estrutura deve ser considerada apenas a contribuição do concreto, ignorando a resistência das barras de aço presentes no elemento.

Esta resistência é obtida através de exames de carregamento rápido, onde segue o padrão operacional da ABNT NBR 5739/2018 (concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos).

Os moldes dos corpos de prova são definidos de acordo com a ABNT NBR 5738/2015 (concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova). Deste modo, para corpos de prova cilíndricos deve ser usados diâmetros entre 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, de forma que a altura seja sempre o dobro deste diâmetro.

A Figura 2 apresenta dois corpos de prova cilíndricos com dimensões de 15x30 cm e 10x20 cm.

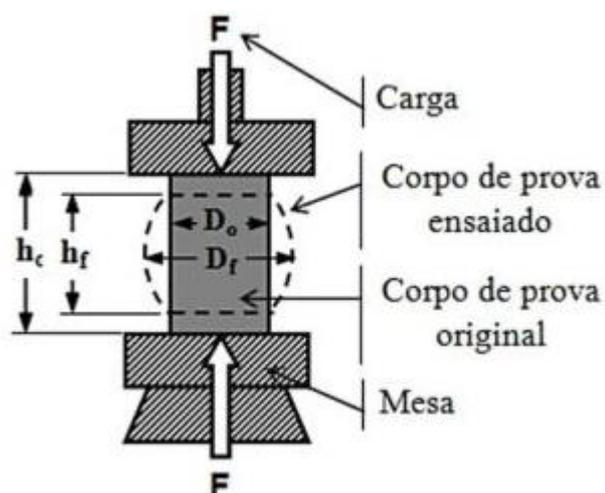
Figura 2 - Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Bastos (2019, p. 16).

Após o período de cura do corpo de prova, este é posto na máquina composta por dois pratos de compressão, de modo que o eixo do corpo de prova esteja coincidindo com o da máquina, assim a resultante das forças passará pelo centro do elemento. A Figura 3 representa a aplicação das cargas durante a execução do ensaio de compressão, bem como as deformações sofridas pelo corpo de prova.

Figura 3 – Forças de compressão atuando em corpo de prova



Fonte: Otmza Engenharia Mecânica (2020).

Obtém-se então a resistência média a compressão desse concreto, denominada de f_{cm} . Contudo, como a resistência do concreto, f_c , é uma variável aleatória, recorre-se a Teoria das Probabilidades através de uma análise pela curva de Gauss (ARAÚJO, 2010, p.03).

Com o valor do f_{cm} , pode-se determinar então a resistência característica do concreto, f_{ck} , que será a resistência à compressão considerada no projeto.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \cdot S$$

Sendo S o desvio padrão das resistências, fator que está diretamente relacionado com o controle de qualidade assumido na produção do concreto, este pode ser obtido por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

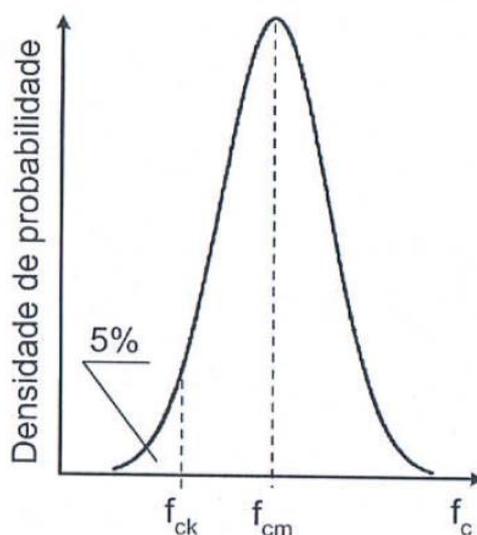
Onde f_{ci} é se trata dos valores genéricos das resistências obtidos em n corpos de provas.

No geral, a resistência a compressão do concreto depende de inúmeros fatores, Araújo (2010, p.05) cita alguns deles: composição, tempo de cura, velocidade de aplicação da carga, duração do carregamento, idade do concreto, estado de tensões e formas e dimensão dos corpos de prova.

Desta forma, o valor do f_{ck} obtido em Mega Pascal (MPa) é o utilizado como referência para a resistência à compressão daquele concreto ensaiado. Sendo a resistência característica um valor que consiste em apenas 5% de probabilidade de se obter resistências inferiores à esta.

A Figura 4 demonstra um gráfico que expõe o modelo gaussiano de probabilidade de obtenção da resistência do concreto.

Figura 4 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão do concreto



Fonte: Araújo (2010, p. 04).

3.2.2 Resistência à Tração

Em busca de maior garantir maior segurança, para o combate à esforços de tração em estruturas de concreto armado é considerado apenas a contribuição do aço presente no elemento, desconsiderando o esforço por parte do concreto.

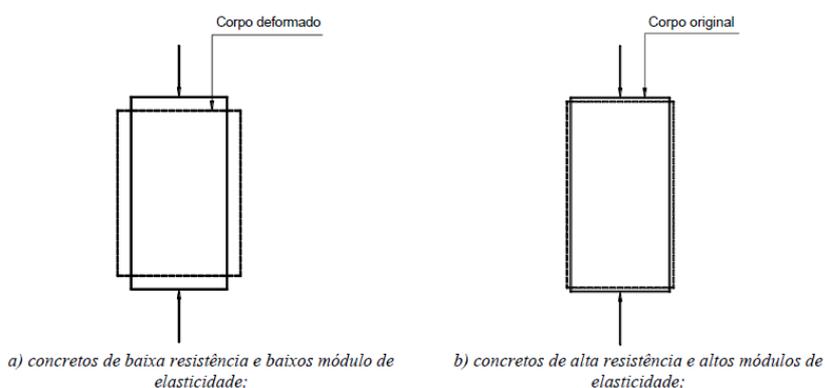
Visto isso, através de inúmeros corpos de provas submetidos à tração, determina-se a resistência ao escoamento característica do aço (f_{yk}). Para barras se tem a classificação de CA-25 e CA-50, já para os fios CA-60, onde “indicam Concreto Armado e o número na sequência indica o valor de f_{yk} , em kgf/mm² ou kN/cm², aborda Bastos (2019, p.28) na nota de aula chamada Fundamentos do Concreto Armado.

Sendo assim, para fins de cálculos estruturais, o tipo de aço adotado para composição das peças de concreto armado é determinado de acordo com as solicitações estruturais, combatendo flexões, trações, flambagens e demais esforços que poderiam causar o colapso da estrutura.

3.2.3 Módulo de Elasticidade do Concreto

Para Bastos (2019, p.20) o módulo de elasticidade do concreto é “um parâmetro numérico relativo à medida da deformação que o concreto sofre sob a ação de tensões, geralmente tensões de compressão”, de modo em que o valor do módulo de elasticidade é diretamente proporcional à resistência a compressão do concreto, sendo então dependente das características e materiais utilizados na confecção desse concreto. Tem-se a representação da diferença de comportamentos em concretos com baixo e alto módulo de elasticidade na Figura 5.

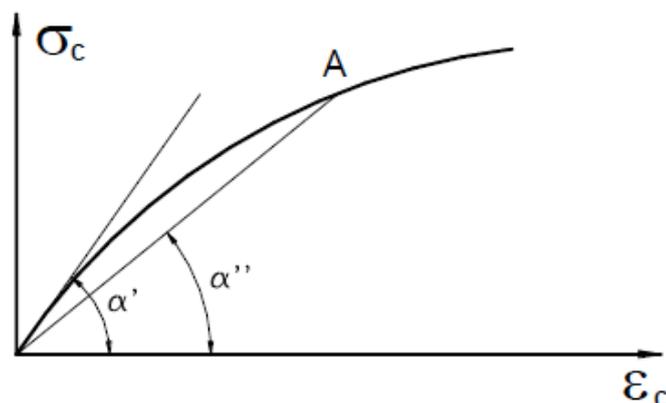
Figura 5 – Deformações em corpos cilíndricos de concreto



Fonte: Bastos (2019, p. 20).

O módulo de elasticidade é obtido por meio do gráfico tensão x deformação ($\sigma \times \varepsilon$) do concreto, onde pela tangente do ângulo (α') formado por uma reta tangente à curva do diagrama $\sigma \times \varepsilon$ se determina o valor do módulo de elasticidade tangente inicial. A Figura 6 contém o gráfico que exemplifica a deformação do concreto conforme a tensão aplicada varia.

Figura 6 – Gráfico tensão pela deformação do concreto



Fonte: Bastos (2019, p. 21).

O valor deste módulo de elasticidade é de fundamental importância para determinação da deformação nas estruturas de concreto, cálculo de flechas em lajes e vigas, entre outros (BASTOS, 2019).

3.2.4 Durabilidade

Conforme o item 6.1 da ABNT NBR 6118/2014, determina-se que as estruturas sejam projetadas e construídas de forma que, mantendo-se os cuidados necessários e requeridos do concreto armado, essa estrutura conserve sua segurança, estabilidade e aptidão de serviço durante o tempo de vida útil.

Através do item 6.2.1 a norma de projeto de estruturas de concretos ABNT NBR 6118/2014 também define vida útil como sendo o período em que as estruturas se mantêm sem alterações significativas de acordo com as orientações de projeto e construção, além da realização dos reparos e manutenções que venham ser necessárias decorrentes de danos acidentais.

Não obstante, ao ignorar os cuidados e reparos necessários, assim como admitir processos construtivos incorretos, patologias e mecanismos de deterioração podem acometer a estrutura de concreto armado.

Os principais mecanismos de deterioração no concreto armado são (BASTOS, 2019):

- Lixiviação: causada pelo contato do concreto com águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Apesar de sozinha não ser um grande problema estrutural, a lixiviação causa danos estéticos ao concreto, fazendo com que haja ocorrência de manchas brancas na superfície do concreto.
- Expansão de sulfato: causada pelo contato do concreto com águas ou solos que possuam presença de sulfato, ocasionando reações expansivas e de deterioração.
- Reação álcali-agregado: é ocasionado pela reação entre álcalis do concreto e agregados reativos, gerando produtos capazes de microfissurar o concreto, diminuindo a resistência, homogeneidade e durabilidade do concreto.
- Despassivação por carbonatação: ocorre devido ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura, ocasionando a corrosão e expansão volumétrica do aço, gerando uma série de problemas estruturais ao elemento.
- Despassivação por ação de cloretos: trata-se da ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro, ocasionando corrosão do aço, trincas no concreto e demais problemas estruturais.

Além das patologias no concreto armado, mecanismos de deterioração das estruturas em geral também devem ser avaliados. De acordo com Bastos (2019, p.38) os principais mecanismos de deterioração de uma estrutura são todos aqueles relacionados a movimentações de origem térmica, ações cíclicas ou dinâmicas, fluência e retração

Movimentações de origem térmica diz respeito sobre a alteração no volume estrutural ocasionado por alterações na temperatura, gerando tensões adicionais ao elemento, o mesmo ocorre na fluência e retração. Já ações cíclicas e dinâmicas geram fadigas ao material, podendo fazer com que varie o esforço de tração para compressão e vice-versa (BASTOS, 2019, p.38).

O ambiente em que o material será construído também interfere no seu dimensionamento e cuidados, visto que dependendo da localidade se tem um

ambiente com maior classe de agressividade, denominação que retrata os agentes químicos e físicos que atuam no concreto. O Quadro 1 demonstra as classes de agressividade de acordo com cada ambiente.

Quadro 1 – Classes de agressividade de acordo com o ambiente

Classe de Agressividade do Ambiente	Agressividade	Classificação do Ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial I	
IV	Muito Forte	Industrial II	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118 (2014, com adaptações).

Deste modo, todos esses fatores interferem na durabilidade da estrutura, sendo de fundamental importância o cuidado e atenção na hora de projetar, executar e fazer reparos nesta estrutura.

3.2.5 Formas e Molduras

O concreto armado pode ser moldado em diferentes formas, apresentando espessuras, detalhes, designs e traços de acordo com o projeto e condições estruturais, apresentando-se então como um material amplamente versátil na construção civil.

3.2.6 Mão de Obra e Manutenção

Para execução de estruturas em concreto armado, a mão de obra exigida não necessita de grande qualificação, facilitando o processo construtivo. Em paralelo, a manutenção de elementos em concreto armado tende a ter baixo custo de operação e longa durabilidade.

3.3 Estruturas em Aço

O aço é uma liga de ferro e carbono, a qual o percentual de carbono na composição pode variar entre 0,008% e 2,11% de acordo com Chiaverini (apud PFEIL W; PFEIL M, 2009, p.01). A quantidade de carbono está diretamente ligada com a resistência à tração do elemento e a sua ductilidade, visto que aço com maiores teores de carbono são mais resistentes a esforços de tração, mas em contrapartida, apresentam menor ductilidade (PFEIL W; PFEIL M, 2009, p.10).

As ligações em estruturas de aço podem ocorrer de diferentes formas, assim como a o perfil da barra e o tipo de aço a ser utilizado (MUNIZ et al., 2020). Tais variedades devem ser escolhidas em concordância com as necessidades estruturais e mecânicas, também adotando sempre zelo pelo financeiro.

3.3.1 Propriedades do Aço

As propriedades mecânicas são as características mais importantes do aço, visto que servem como base para elaboração dos projetos e execução das estruturas, sendo importante também no processo de fabricação (DIAS, 2002, p.26). Desta forma, seguindo a abordagem de Dias (2002, p.26) e Pinheiro (2005, p.10), tem-se algumas propriedades do aço:

- Diagrama tensão-deformação: diagrama montado através de ensaios que estabelece a deformação progressiva de uma barra metálica submetida a um crescente esforço de tração.
- Elasticidade: capacidade que um material possui de voltar as suas dimensões iniciais após sucessivos ciclos de carregamento e descarregamento.
- Plasticidade: trata-se da deformação permanente provocada por uma tensão igual ou superior ao limite de escoamento.
- Ductibilidade: capacidade de deformação plástica sem que haja o rompimento da barra.
- Tenacidade: capacidade de absorção de energia ao ser submetido a cargas de impacto.
- Dureza: resistência ao risco ou abrasão.

- Fadiga: resistência a carregamentos repetidos.

3.3.2 Tipos de Aço Estrutural

Os aços podem ser divididos em dois grupos: aço-carbono e aço baixa liga. Ambos os tipos de aços podem receber tratamento térmico e terem sua resistência aumentada, contudo, tal prática dificulta a soldagem destes aços, tornando a prática pouco usual para estruturas correntes (PFEIL W; PFEIL M, 2009, p.11).

3.3.2.1 Aço-carbono

Aços-carbonos são os tipos mais utilizados atualmente. Possuem em sua composição o carbono e manganês, elementos que aumentam a resistência da barra de aço, além de silício e cobre. Podem ser distinguidos em função do teor de carbono, existindo as categorias baixo carbono, médio carbono e alto carbono, tais quais apresentam, respectivamente, menos de 0,29%; entre 0,30% e 0,59% e 0,6% até 2% da sua composição sendo carbono.

Pfeil W e Pfeil M (2009, p.10) afirmam que segundo a ABNT e *American Society for Testing and Materials* (ASTM) os principais tipos de aço-carbono utilizados em estruturas são descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades mecânicas dos aços-carbono

Especificação	Teor de Carbono (%)	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência a Ruptura (MPa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A36	0,25-0,29	250	400-500

Fonte: Pfeil W e Pfeil M (2009, p. 10, com adaptações).

Conforme ASTM os aços do tipo ASTM A 307 e A 325 também são muito utilizados em parafusos comuns e de alta resistência.

3.3.2.2 Aço de Baixa Liga

Trata-se de aços-carbonos acrescidos de elementos de liga, de forma que através desta adição existe melhoras nas propriedades mecânicas do elemento, tendo

como um dos principais intuitos aumentar a resistência mecânica à corrosão (MUNIZ, et al., 2020, p.07). Conforme o teor de cada elemento presente na composição é obtido diferentes tipos de aço. Os principais aços de baixa liga utilizados são descritos na Quadro 3 (PFEIL W; PFEIL M, 2009, p.10).

Quadro 3 – Propriedades mecânicas dos aços de baixa liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência a Ruptura (MPa)
ASTM 572 Gr 50	C < 0,23%; Mn < 1,35%	345	450
ASTM A 588	C < 0,17%; Mn < 1,2%; Cu < 0,5%	345	485
ASTM A 992	C < 0,23%; Mn < 1,5%	345	450

Fonte: Pfeil W e Pfeil M (2009, com adaptações).

Muniz et al. (2020, p.07) informa que aços de baixa liga são adequados para construção civil, contudo, deve haver uma análise econômica para determinar sua utilização.

3.3.3 Perfis Metálicos

Muniz et al. (2020, p.08) aborda que os perfis mais utilizados são os que possuem seção transversal em formato de L, I, H ou U (também chamados de perfis C). Tais perfis podem ser obtidos por laminação, por meio de dobragem a frio ou através de soldagem.

Os perfis laminados são obtidos por meio do pré-aquecimento e posterior deformação da placa através da passagem pelos laminadores, alcançando assim o formato desejado, seja de chapas grossas ou finas, perfis etc. (DIAS, 2002, p.22).

Pfeil W e Pfeil M (2009, p.21) explicam que os perfis laminados podem ser designados conforme suas dimensões externas (altura ou altura x largura) seguidas da massa do perfil em kg/m. As nomenclaturas da indústria americana e europeia são diferentes das utilizadas no Brasil. O fato de perfis laminados não apresentarem soldas ou emendas, representa baixos níveis de tensões residuais localizadas, explana Dias (2002, p.62).

A Figura 7 demonstra alguns tipos de perfis laminados.

Figura 7 – Perfis laminados com abas paralelas de padrão europeu



Fonte: Pfeil W e Pfeil M (2009, p. 21).

Já as chapas dobradas podem ser produzidas através da dobragem a frio, onde sua fabricação é feita através de prensas especiais com a presença de gabaritos. Contudo, o uso de chapas finas para confecção desses perfis implica em problemas de instabilidade estrutural não existente nos perfis laminados. (PFEIL W; PFEIL M, 2009, p.22). Visto isso, perfis deste tipo são recomendados para construções leves sendo utilizados em treliças.

Perfis dobrados são demonstrados na Figura 8.

Figura 8 – Perfis de chapas dobradas



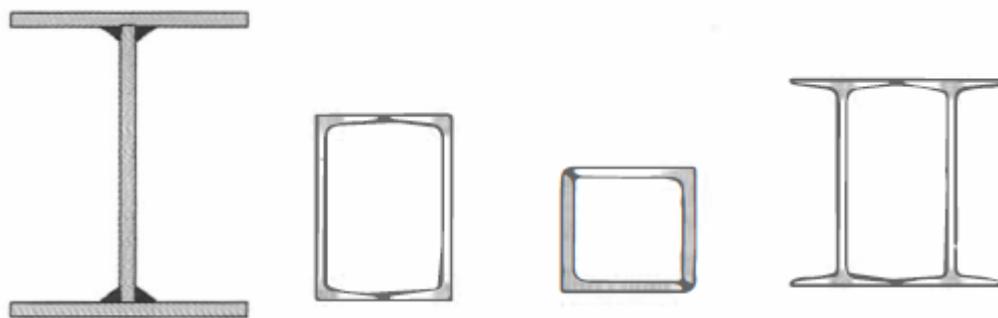
Fonte: Pfeil W e Pfeil M (2009, p. 22).

Outra variação são os perfis soldados, tratando-se de perfis formados pela associação de chapas ou de perfis laminados simples, ligados pela solda, assumindo diferentes formas e dimensões.

Três tipos de perfis são padronizados conforme a ABNT NBR 5884/2013 (perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – requisitos gerais), sendo eles: CS – colunas soldadas, VS – vigas soldadas e CVS – colunas e vigas soldadas.

A Figura 9 exemplifica perfis compostos com ligação soldada.

Figura 9 – Perfis composto por chapas ou perfis laminados



Fonte: Pfeil W e Pfeil M (2009, p. 23).

3.3.4 Ligações Metálicas

As siderúrgicas fornecem perfis aos fabricantes de estruturas metálicas com dimensões padronizadas, desta forma, para atender as necessidades estruturais, tais peças devem passar por processos de corte e conexão com outros elementos. Além de resistir às tensões que são impostas nesta ligação, as conexões também devem estar em acordo com o custo da obra, visto que o projeto de conexões interfere de forma considerável no valor da construção. Portanto, o tipo de conexão utilizado deve ser escolhido de acordo com o seu comportamento, limitações construtivas, facilidades de fabricação e montagem (DIAS, 2002).

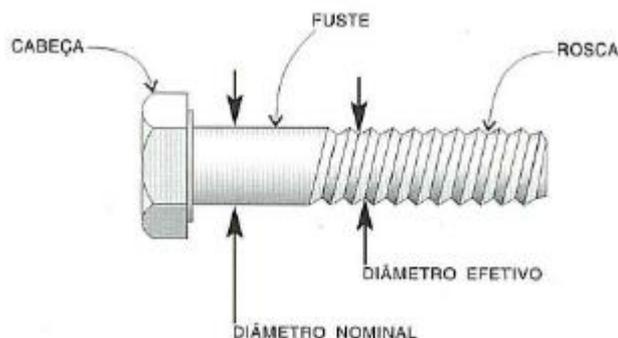
3.3.4.1 Ligações Parafusadas

Os parafusos são compostos pelas seguintes partes: cabeça, fuste e rosca. São identificados pelo diâmetro nominal, contudo, sua resistência à tração é calculada de acordo com diâmetro efetivo. Os parafusos utilizados nas conexões de peças metálicas são do tipo comum e de alta resistência.

Os parafusos comuns possuem baixa resistência mecânica e sua instalação é feita com chave manual comum e sem controle de torque. Sua utilização se restringe a peças secundárias, tais quais guarda-corpos, corrimãos etc. (DIAS, 2002, p.97). Os parafusos de alta resistência, como o próprio nome sugere, possuem maior resistência e dessa forma se torna necessário menos parafusos por conexão, logo, chapas de ligações menores, gerando economia de aço. Esses parafusos devem ser instalados

com controle de torque e são empregados nas ligações importantes (DIAS, 2002, p.98). A composição de um parafuso é demonstrada pela Figura 10.

Figura 10 – Composição de um parafuso



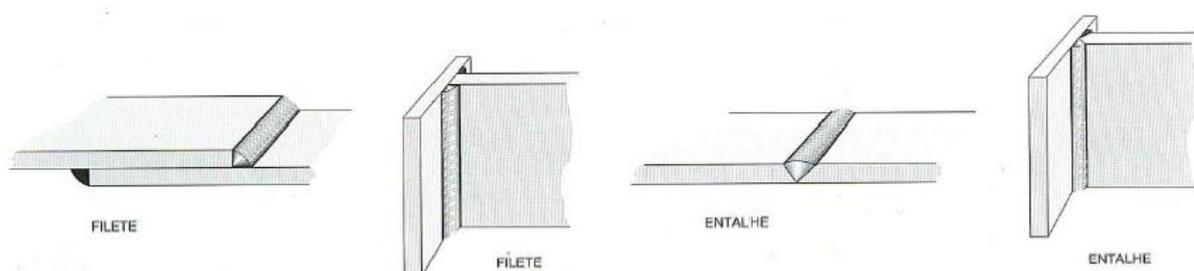
Fonte: Dias (2002, p. 97).

3.3.4.2 Ligações Soldadas

Pode-se definir soldagem como uma técnica que consegue unir dois ou mais materiais. Seu emprego em estruturas metálicas possui algumas vantagens como: maior rigidez da ligação, menor custo de fabricação, menor quantidade de aço e melhor acabamento, facilitando a limpeza da peça. Já as principais desvantagens são a dificuldade para desmontagem e dificuldade em manter o controle de obra (DIAS, 2002, p.99).

Os tipos de solda mais empregados são: solda de filete e solda de entalhe. Dias (2002, p.100) afirma que a solda de entalhe é esteticamente mais agradável e reduz os efeitos de esforços alternados, contudo sua aplicação é mais complexa, de forma que devido a solda de filete ser mais simples, acaba por ser mais utilizada. A Figura 11 trata de demonstrar os dois tipos de soldas citadas acima.

Figura 11 – Tipos de soldas



Fonte: Dias (2006, p. 100).

3.4 Estados Limites

A segurança deve ser a referência para construção civil, tanto na elaboração de projetos e planejamento de obra, como na execução dos serviços. A segurança que as estruturas devem apresentar está fundamentada em dois aspectos. O primeiro é que a estrutura nunca venha a colapsar, sendo o mais importante, e o segundo está relacionado ao conforto e despreocupação quanto a utilização da construção (BASTOS, 2019, p.48).

A ABNT NBR 6118/2014 define esses dois aspectos como sendo os Estados Limites das estruturas, de forma que o Estado Limite Último (ELU) é relacionado a estruturas não alcançarem a ruptura e o Estado Limite de Serviço (ELS) se relaciona a segurança e conforto na utilização da estrutura. Esses estados limites são situações que as construções nunca devem ultrapassar.

ELU são os estados relacionados a qualquer tipo de colapso ou deterioração da estrutura, ou de parte dela, que impeça a utilização da mesma. Para Araújo (2010, p.60) as principais verificações a serem feitas quanto aos limites últimos de uma estrutura são quanto a:

- Ruptura ou deformação plástica excessiva do material
- Instabilidade do equilíbrio, considerando efeitos de segunda ordem
- Perda do equilíbrio da estrutura
- ELU provocado por solicitações dinâmicas
- Transformação da estrutura em um sistema hipostático

ELS faz referência ao estado limite o qual a estrutura passa a gerar desconforto ou insegurança quanto a sua utilização, seja por deformação (incluindo vibrações) ou por fissuras que possam comprometer a durabilidade da obra.

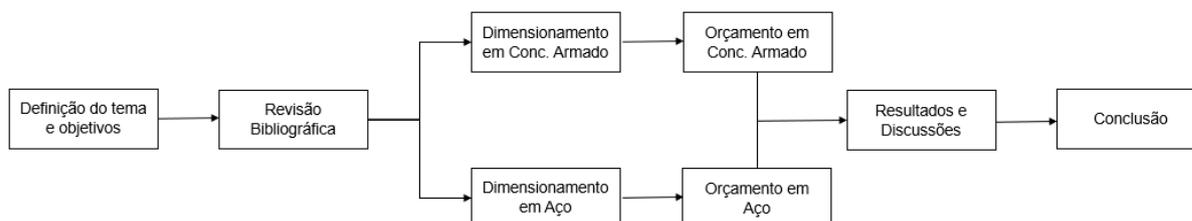
4 METODOLOGIA PROPOSTA

O presente trabalho teve como desenvolvimento o projeto estrutural em concreto armado e em aço, possuindo como objetivo a comparação de custos e viabilidade entre ambos os materiais.

Os dois projetos estruturais foram desenvolvidos por meio do software CypeCad versão para estudantes. No programa, são definidas as normas que se pretende utilizar como orientadoras do cálculo, assim como configurações gerais tais quais tipos de aço, distribuição das armaduras, resistência do concreto etc.

Para realizar o orçamento de cada material, os relatórios de obra com os respectivos quantitativos foram gerados pelo CypeCad e por meio da versão gratuita do OrçaFascio foi calculado o custo de construção da estrutura com cada material. O fluxograma que é apresentado na Figura 12 representa a metodologia geral utilizada para o desenvolvimento deste trabalho:

Figura 12 - Fluxograma da metodologia geral utilizada



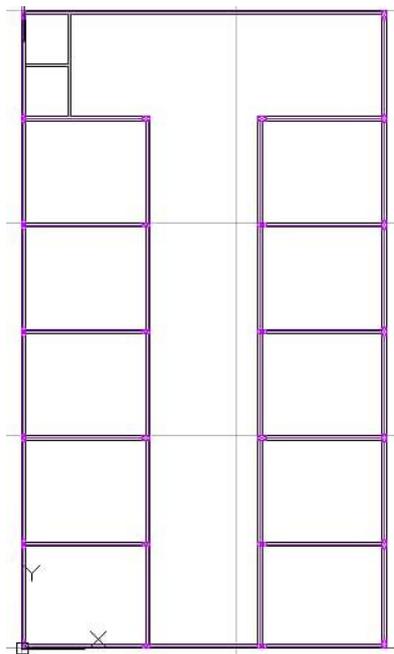
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1 Definição da Arquitetura

Com o objetivo de trabalhar em uma edificação voltada ao uso comercial, foi considerado que o prédio em questão serviria como galeria de lojas, suas dimensões são de 17 metros frontais por 30 metros laterais, o pé direito é de três metros.

Planejada com seis vãos de cinco metros, a edificação possui apenas um pavimento e conta com área construída de 510 m². Foi pensado cinco lojas em cada lado, de forma que existirá um corredor central e praça de alimentação ao final deste. A respeito da localização, a cidade escolhida foi Natal, Rio Grande do Norte. A Figura 13 exemplifica como seria a distribuição de ambientes do prédio através do desenho utilizando o software AutoCad 2023, na versão para estudantes.

Figura 13 - Arquitetura da edificação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2 Projeto em Concreto Armado

O Cypecad antes de qualquer cálculo estrutural solicita que seja informado definições básicas para execução das verificações e dimensionamento. O software fornece também as pranchas de projeto e possibilita a visualização em 3d e de possíveis cortes que sejam solicitados.

4.2.1 Dados Gerais de Projeto

Nesse sentido, conforme as orientações da NBR 6118/2014, o concreto a ser utilizado na estrutura foi determinado com resistência à compressão de 25 MPa em toda a supraestrutura (pilares, vigas e laje) e de 30 MPa na fundação. As barras de aço foram limitadas em aço CA-50 e CA-60.

Considerando a localização do edifício, a classe de agressividade ambiental trabalhada foi a CAA II, logo, agressividade moderada em um ambiente urbano. Desta forma, optou-se por cobrimentos de 2,5 centímetros nas lajes, e três centímetros nas demais peças. A carga de vento adotada foi concordante ao direcionamento do software, neste caso, 27 m/s.

Quanto ao tipo de solo que irá ser trabalhado, considerando os resultados obtidos por Nunes (2002) que indicam o solo da capital potiguar como sendo predominantemente arenoso, foi-se assinalado um solo do tipo areia semidensa. Os valores para as tensões admissíveis das combinações fundamentais e sísmicas e acidentais foram os fornecidos pelo próprio software, sendo de 2 kgf/cm² e 3 kgf/cm² respectivamente.

De modo geral, os dados do projeto em concreto armado foram definidos conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Dados gerais projeto em concreto armado

Normas: ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9

Concreto armado

Concreto

Pisos: C25, em geral

Fundação: C30, em geral

Tubulões: C25, em geral

Pilares: C25, em geral

Cortinas: C25, em geral

Características do agregado: Granito (19 mm)

Aço

Barra: CA-50 e CA-60

Parafusos: ISO 898.C4.6

Perfis

Aço

Laminados e soldados: A-36 250Mpa

Dobrados: CF-26

Madeira

Vigas: C25 - Vigotas: C25 - Estruturas 3D: C25

Alumínio extrudado

EN AW-5083 - F

Ações

Carga permanente e sobrecarga

Com ação do vento: NBR 6123 (Brasil)

Com ação sísmica

Verificar resistência ao fogo

Estados limites (combinações)

Ações adicionais (cargas especiais)

Coeficientes de flambagem

Pilares de betão e mistos

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Pilares em aço

β_x : 1.000 β_y : 1.000

Ambiente

Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)

Blocos de coroamento: CAA I

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.2 Dimensionamento da estrutura em Concreto Armado

Seguindo o planejamento arquitetônico, foi realizado o desenho de distribuição estrutural através do AutoCad. Deste modo, pensando na estética e melhor aproveitamento dos espaços, os pilares e as vigas foram dimensionados de modo que concordassem com a arquitetura da edificação e suportassem as cargas impostas.

Para os pilares desde o início foram estipuladas as dimensões de 20x40 centímetros, com estas dimensões alternando os eixos de acordo com a localização do elemento.

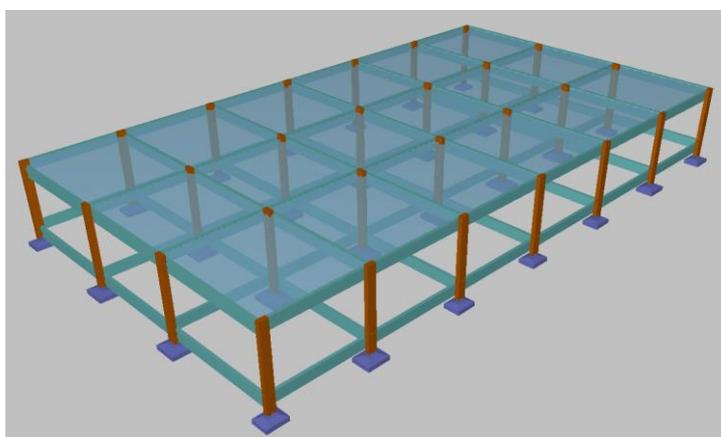
As vigas inicialmente possuíam 20 centímetros de largura com altura equivalente à 10% do vão livre. Tais medidas se mostraram inviáveis quanto ao processo construtivo e as verificações. Deste modo, a largura foi definida como 15 centímetros, o que possibilitou diminuir a altura da viga, estabelecendo o padrão de vigas com 50 e 55 centímetros de altura.

A laje de cobertura é maciça com espessura de 12 centímetros, e nela são impostas principalmente as cargas do peso próprio, do telhado – considerando uma telha de aço ondulada de 0,8mm de espessura – e o forro de gesso em placas. Os cálculos também levaram em consideração que esta cobertura tem acesso para inspeção.

As principais cargas nas vigas do térreo são referentes ao seu peso próprio e a alvenaria, considerando tijolo de bloco cerâmico vazado 11,5cm e revestimento de 2cm em cada face. As vigas da cobertura recebem a carga da laje.

A representação gráfica do projeto em concreto armado finalizado pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 – Estrutura em concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.3 Projeto em Aço

Como o mesmo software foi utilizado para o dimensionamento estrutural em aço, definiu-se os dados iniciais de projeto para então dimensionar os perfis de aço.

4.3.1 Dados Gerais de Projeto

As normas que guiaram o dimensionamento de aço foram a NBR 14761/2019 para aços dobrados e NBR 8800/2008 para aços laminado. Com relação aos perfis a serem utilizados, inicialmente foi definido como A-36 para aços dobrados e A-572 (345 MPa) para aços laminados.

Como o objetivo é a comparação de custos considerando as mesmas condições para ambos os materiais, a classe de agressividade ambiental e as cargas atuantes foram consideradas as mesmas.

O tipo de solo trabalhado foi o mesmo do admitido para a estrutura em concreto armado, sendo considerado para as tensões admissíveis das combinações fundamentais e sísmicas e acidentais os valores de 2 kgf/cm² e 3 kgf/cm² respectivamente.

Assim, de modo geral os dados de projeto em aço foram definidos de acordo com a Figura 16.

Figura 16 – Dados gerais projeto em aço

Normas: ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9	
Perfis	
Aço laminado	A-572 345MPa
Aço dobrado	A-36
Madeira	Serrada - Coníferas - C20
Alumínio	EN AW-5083 - F
Concreto	C20, em geral
Ações	
<input type="checkbox"/> Com sismo dinâmico	
Resistência ao fogo	
Estados limites (combinações)	
Hipóteses adicionais	
Fundação	
Processo construtivo	
Opções	
Pilares	Fundação
Vigas	Ligações
Concreto armado	
Betão para pilares	C20, em geral
Betão para vigas de laje	C20, em geral
Betão para elementos de fundação	C20, em geral
Aço de varões	CA-50 e CA-60
Características do agregado	Granito (15 mm), 30 mm
Recobrimentos	Desperdícios de aço
Terreno de fundação	
<input type="checkbox"/> Verificar deslizamento de sapatas	
Aderência (a')	0.000 kgf/cm ²
Ângulo de atrito terreno-sapata (d')	25.00 graus
Combinações fundamentais	2.04 kgf/cm ²
Combinações sísmicas e acidentais	3.06 kgf/cm ²
Ambiente	
Vigas	CAA II
Blocos	CAA II

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.3.2 Dimensionamento da estrutura em Aço

Após o lançamento da estrutura, os perfis foram definidos para cada grupamento estrutural. Os pilares e vigas foram definidos como perfil laminado, contudo, para as terças se optou pelo perfil dobrado.

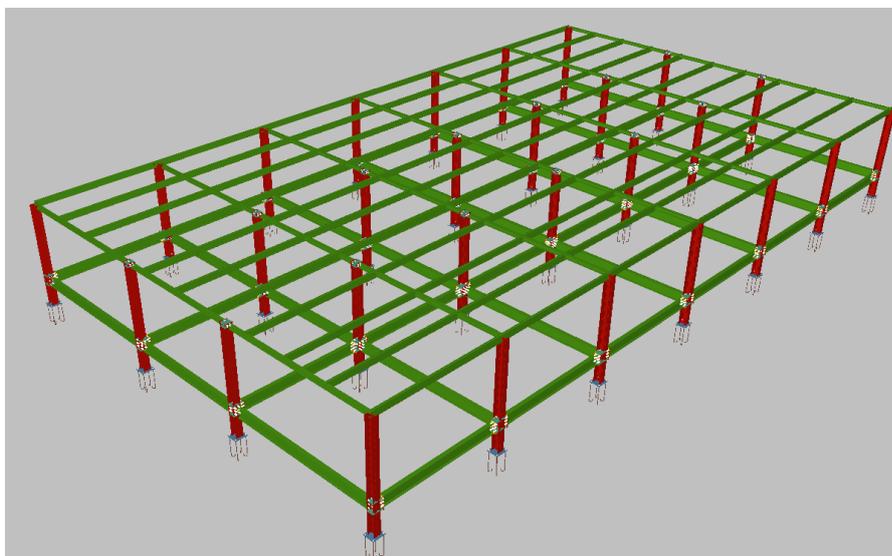
Inicialmente os perfis escolhidos foram de HP 200x53 para os pilares, já as vigas variavam entre IPN 180 (W 200x19,3) e IPN 200 (W 250x17,9) para as inferiores, e HE 140 A (W 150x22,5) para as superiores, todos em aço laminado. As terças foram definidas como sendo em aço dobrado de perfil CF 100x2 em U enrijecido.

Após o processo de cálculo os perfis iniciais precisaram ser modificados para atender as necessidades estruturais de projeto assim como de ligações. Portanto, os perfis ficaram com as seguintes configurações finais:

- Pilares: HP 260x75
- Vigas: IPN 380 (W360x91,0) e HE 140 A.
- Terças: CF-250x4.0

A representação gráfica do projeto em aço finalizado pode ser vista na Figura 17.

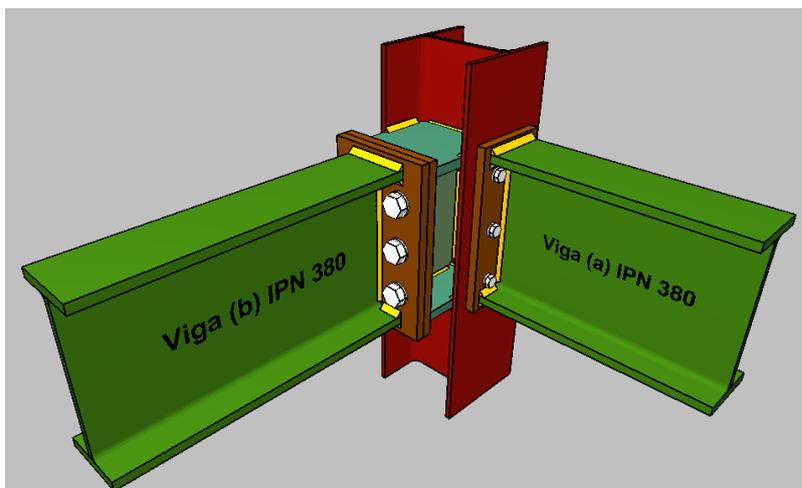
Figura 17 – Estrutura em aço



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Vale salientar que as ligações entre vigas e pilares foram todas definidas como ligações parafusadas contendo a presença de chapas metálicas, o que visa garantir maior controle na execução da obra. Uma exemplificação destas ligações pode ser vista na Figura 18.

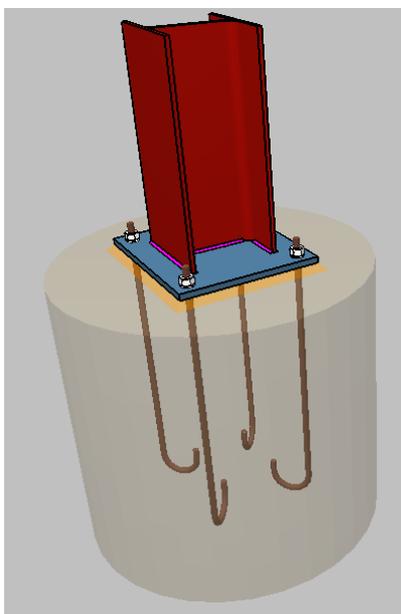
Figura 18 – Ligações parafusadas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Já as ligações entre pilares e peças de fundação foram feitas através de placas de bases parafusadas com presença de ganchos de ancoragem através de chapas e porcas simples engastadas em blocos de concreto. A Figura 19 traz a representação da ligação entre pilares e peças de fundação.

Figura 19 – Fundação da estrutura em aço



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.4 Orçamento

Em busca de otimizar a ação orçamentária, o software online OrçaFascio foi utilizado para o cálculo do custo de construção da estrutura de acordo com cada material. Vale salientar que o programa tem como banco de dados a tabela fornecida pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices para a Construção Civil (SINAPI), que indica os valores dos itens de acordo com a região com atualizações mensais. No caso deste trabalho, os dados considerados foram da última atualização liberada, respectiva aos valores do mês de setembro de 2022, para o estado do Rio Grande do Norte.

Os valores utilizados no orçamento foram os valores unitários não desonerados, ou seja, considerando os encargos sociais. Os valores optados foram os não desonerado pois fornecem ao trabalho maior realismo, tendo em vista que a desoneração da folha salarial ocorre apenas para empresas privadas, ou contratos, desde que haja contribuição sobre o valor de receita bruta.

Para calcular os custos da obra referente a cada material foi seguido os quantitativos de acordo com os relatórios do CypeCad, o qual forneceu os valores considerando 10% de acréscimo referente a possíveis desperdícios. Para serviços não computados pelo software de projetos, como a utilização do concreto magro para as sapatas, o cálculo foi feito manual, também considerando 10% de acréscimo.

Os quantitativos e respectivos relatórios produzidos pelo software estão disponíveis no Apêndice A deste trabalho. Como a versão utilizada foi a gratuita, não foi possível a obtenção dos relatórios gerados pelo próprio programa, desta forma, as tabelas orçamentárias contendo as quantidades e valores de cada item foram feitas no Excel, seguindo o orçamento do software.

Outra limitação existente é a não consideração dos valores dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) por parte do software, o que dificulta uma análise mais aprofundada sobre os itens e possíveis retornos financeiros que as construções gerariam.

Todo o processo construtivo foi levado em consideração nos cálculos, considerando tanto os insumos como a mão de obra necessária para construção da edificação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores para construção da estrutura em concreto armado e em aço foram respectivamente R\$ 347.773,65 e R\$ 570.555,98, de forma que a utilização do concreto armado apresenta uma economia de aproximadamente 39,05% referente a utilização do aço como material estrutural. O Quadro 4 é referente ao orçamento da estrutura em concreto armado.

Quadro 4 - Orçamento estrutura em concreto armado

(continua)

ÍTEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UNIDAD E	QUANT.	VALOR UNT.	TOTAL
1	-	SINAPI	ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO	-	-	-	-
1.1	96523	SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA (INCLUINDO ESCAVAÇÃO PARA COLOCAÇÃO DE FÔRMAS). AF_06/2017	m3	34,47	87,31	3009,58
1.2	96541	SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	m2	8,64	211,94	1831,16
1.3	92419	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m2	24,36	86,14	2098,37
1.4	92451	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m2	211,98	242,5	51405,15
1.5	92482	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 1 UTILIZAÇÃO. AF_09/2020	m2	472,68	306	144640,08
1.6	96546	SINAPI	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	337	15,97	5381,89
1.7	92760	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	2	16,36	32,72
1.8	92761	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	9	15,77	141,93
1.9	92762	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	1901	14,29	27165,29
1.10	92763	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	114	12,15	1385,1
1.11	92764	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	139	11,86	1648,54
1.12	92769	SINAPI	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	508	15,89	8072,12
1.13	92800	SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM. AF_06/2022	KG	2602	12,67	32967,34
1.14	96619	SINAPI	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5 CM. AF_08/2017	m2	32,83	31,67	1039,73
1.15	96558	SINAPI	CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 30 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_11/2016	m3	7,48	646,8	4838,06

(continuação)

ÍTEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANT.	VALOR UNT.	TOTAL
1	-	SINAPI	ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO	-	-	-	-
1.16	103672	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	m3	6,72	614,23	4127,63
1.17	103675	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	m3	94,38	614,42	57988,96
TOTAL OBRA (R\$)							347773,65

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O Quadro 5 apresenta o orçamento da estrutura utilizando o aço.

Quadro 5 - Orçamento estrutura em aço

ÍTEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANT.	VALOR UNT.	TOTAL
1	-	SINAPI	ESTRUTURA EM AÇO	-	-	-	-
1.1	100765	SINAPI	PILAR METÁLICO PERFIL LAMINADO/SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES PARAFUSADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020_P	KG	8396,36	17,02	142906,05
1.2	100763	SINAPI	VIGA METÁLICA EM PERFIL LAMINADO OU SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES PARAFUSADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020_P	KG	23008,04	17,86	410923,59
1.3	92580	SINAPI	TRAMA DE AÇO COMPOSTA POR TERÇAS PARA TELHADOS DE ATÉ 2 ÁGUAS PARA TELHA ONDULADA DE FIBROCIMENTO, METÁLICA, PLÁSTICA OU TERMOACÚSTICA, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL. AF_07/2019	m2	286,41	58,4	16726,34
TOTAL OBRA (R\$)							570555,98

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os valores para construção da estrutura em concreto armado e em aço foram respectivamente R\$ 347.773,65 e R\$ 570.555,98, de forma que a utilização do concreto armado apresenta uma economia de aproximadamente 39,05% referente a utilização do aço como material estrutural.

Para o orçamento em concreto armado foi posto em conta as composições da escavação para fundação da obra, concreto magro utilizado, armação de toda as barras metálicas, produção de fôrmas para moldagem dos elementos de concreto armado e concretagem das peças.

Destaca-se o valor da moldagem e desmoldagem das formas e concretagem das peças, sendo as composições de maiores preços de acordo com a tabela SINAPI (2022).

O tipo de laje escolhida foi a maciça, tal opção se deu pela maior disponibilidade de mão de obra e de recursos para execução. Este elemento apresentou alto custo,

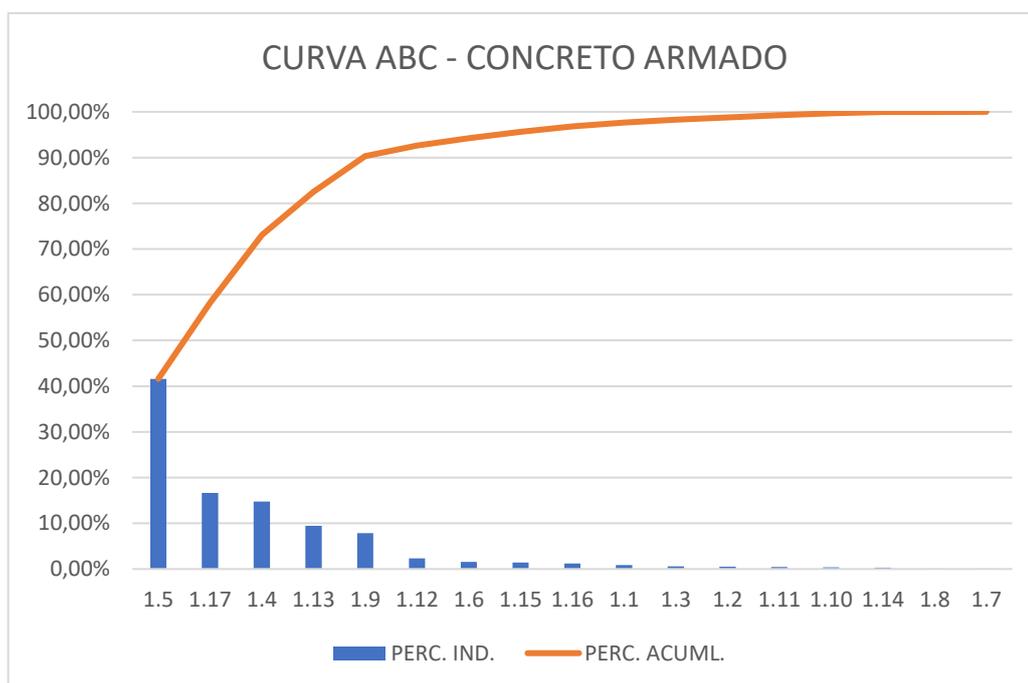
sendo responsável por mais que 50% de toda a construção em concreto armado, algo que em termos práticos torna a sua escolha inviável, sendo preferível uma laje nervurada.

Para o orçamento em aço foi considerado as composições para instalação dos perfis de aço, sendo as vigas o elemento de maior custo construtivo. Em termos de execução o aço exige uma mão de obra mais qualificada, contudo, o concreto armado demanda mais tempo para ser construído, visto que os perfis metálicos são produzidos em fábricas e apenas montados na obra.

Quanto ao solo, os valores para as tensões admissíveis foram genéricos visto que não foi determinado um local exato para esta construção, tampouco realizado ensaios para determinar a resistência do terreno. Neste cenário, a tendência é que haja imprecisão quanto ao dimensionamento das fundações, ocasionando em alterações nos valores gastos.

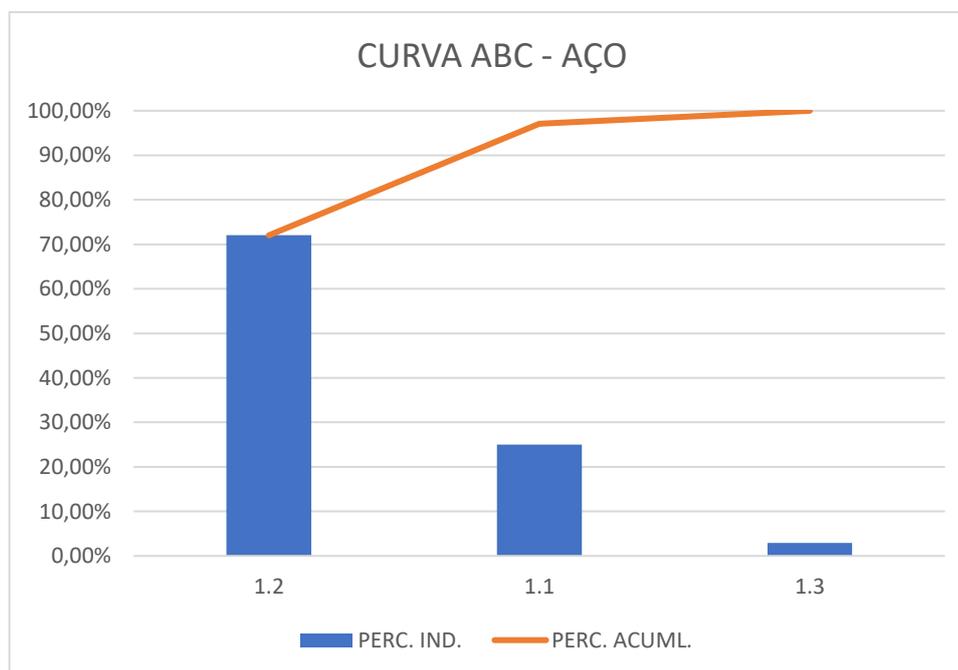
Os Gráficos 1 e 2 trazem as curvas ABC referente aos dois materiais.

Gráfico 1 – Curva ABC da estrutura em concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Gráfico 2 – Curva ABC da estrutura em aço



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os gráficos expõem que o caráter de custos dos itens orçados para estrutura de ambos os materiais segue o princípio de Pareto, de forma que uma quantidade próxima a 20% das composições equivale à quase 80% do valor total para execução deste edifício.

Em termos práticos, através da curva ABC se nota que para gerar maior economia na execução da obra, deve-se procurar economizar na execução das lajes e vigas (montagem, concretagem e desmontagem) para o concreto armado, e na execução das vigas para a estrutura em aço, que são justamente os itens de maior gasto total. Soluções economicamente viáveis para estes itens seriam optar pela laje nervurada, melhorar o arranjo estrutural e rever o dimensionamento dos perfis.

Visto que cada obra possui suas próprias particularidades, estas devem ser consideradas no cálculo do BDI desta respectiva obra.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho consegue determinar que para o edifício comercial analisado a estrutura em concreto armado possuiu menor custo de execução quando comparada com a estrutura metálica de aço, gerando uma economia de aproximadamente 39,05%.

Quanto ao uso de softwares, o AutoCad, CypeCad e OrçaFascio desempenham de forma eficiente suas funções, facilitando e otimizando os processos de dimensionamento estrutural e orçamento de construções, além de seguir as normas e orientações das tarefas executadas.

Ao analisar estritamente o orçamento realizado se observa a considerável vantagem financeira que o concreto armado possui em comparação ao aço. Não obstante, inúmeros fatores influenciam na escolha do material, tais como estética, prazo para execução, preferência pessoal, disponibilidade de mão de obra etc. Logo, a confirmação da vantagem absoluta de um material em relação ao outro não se faz possível, visto tantas variáveis que influenciam na escolha.

É válido considerar limitações na realização deste trabalho, visto que havia baixa experiência em dimensionamento de estruturas metálicas e orçamento de obras por parte do autor. Tais argumentos justificam a não confirmação de um material predominantemente melhor, contudo, não anula os resultados.

REFERÊNCIAS

FRANCO, José Tomás. Concreto Romano: uma alternativa mais sustentável à produção do atual concreto. **Arch Daily**, 2015. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/776685/concreto-romano-uma-alternativa-mais-sustentavel-a-producao-atual-de-cimento>>. Acessado em: 27 jul. 2022.

SOUZA, Marta F. S. M.; RODRIGUES, Rafael B. Sistemas estruturais de edificações e exemplos. **FEC Unicamp**, 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2022.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. Concreto: Notas de aula da disciplina. **FEC Unicamp**, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em 26 de julho de 2022. Acesso em: 27 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Cidade Nova - RS: Editora DUNAS, 2010.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço – Dimensionamento prático**. Rio de Janeiro: LTC. 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800**: Projeto em estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

SORIANO, Humberto Lima. **Introdução à dinâmica das estruturas**. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: Elsevier, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio. Fundamentos do Concreto Armado. **FEB Unesp**, 2019. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2022.

MUNIZ, Arthur Araújo. et al. **Análise comparativa entre estrutura de concreto armado e estrutura metálica: edifício de 10 pavimentos**. Goiás: Goiânia, 2020.

DIAS, Luiz Andrade de Mattos. **Estruturas metálicas: conceitos, técnicas e linguagens**. 4. ed. São Paulo - SP: Zigurate Editora, 2002.

PINHEIRO, Antônio Carlos F. B. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2. ed. São Paulo - SP: Edgard Blücher, 2005.

NUNES, Elias; NUNES, Eweton E. F. Aspectos Geomorfológicos da cidade de Natal (RN), e suas implicações ambientais. **Lsie Unb**, 2002. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/4/1/91.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A – QUANTITATIVOS GERADOS PELO CYPECAD

Figura A. 1 – Quantitativo geral da estrutura em concreto armado

Total obra

Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Zapatas isoladas	34.56	7.480	353
Total	-	7.480	353

Elemento	Fôrmas (m ²)	Superfície (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes maciças	-	472.68	56.720	2523
Vigas	423.95	66.66	37.660	2066
Pilares	97.44	-	6.720	670
Total	-	539.34	101.100	5259
Índices (por m²)	-	-	0.186	9.67
Superfície total: 543.82 m²				

Figura A. 2 – Quantitativo de barras de aço por diâmetro da estrutura em concreto armado

Total obra

	Tipo de aço	Referência	Comprimento (m)	Peso (kg)
Zapatas isoladas	CA-50	Ø10	496.86	337
		Total + 10%		337
	CA-60	Ø5	90.72	16
		Total + 10%		16
Lajes maciças	CA-60	Ø5	11666.77	2015
		Total + 10%		2015
	CA-50	Ø6.3	1884.65	508
		Total + 10%		508
Vigas de concreto	CA-60	Ø5	2050.32	354
		Total + 10%		354
	CA-50	Ø6.3	9.00	2
		Ø8	21.00	9
		Ø10	2136.20	1448
		Ø12.5	107.30	114
	Ø16	79.90	139	
	Total + 10%		1712	
Pilares em concreto	CA-50	Ø10	668.64	453
		Total + 10%		453
	CA-60	Ø5	1256.64	217
		Total + 10%		217

Figura A. 3 – Quantitativo de perfis metálicos da estrutura em aço

2.1.2.5.- Tabela resumo

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	HP	HP 260 x 75	112.000	112.000		1.070			8396.36	8396.36	
		IPN	IPN 380	239.000	239.000		2.557			20074.81	20074.81	
		HEA	HE 140 A	119.000	119.000		0.374			2933.23	2933.23	
						470.000			4.001			31404.40
Aço dobrado	A-36	C	CF-250x4.0	330.000	330.000	330.000	0.568	0.568	0.568	4455.07	4455.07	4455.07

APÊNDICE B – DETALHAMENTO LIGAÇÕES DA ESTRUTURA EM AÇO

Figura B. 1 – Detalhamento ligações entre vigas e pilares

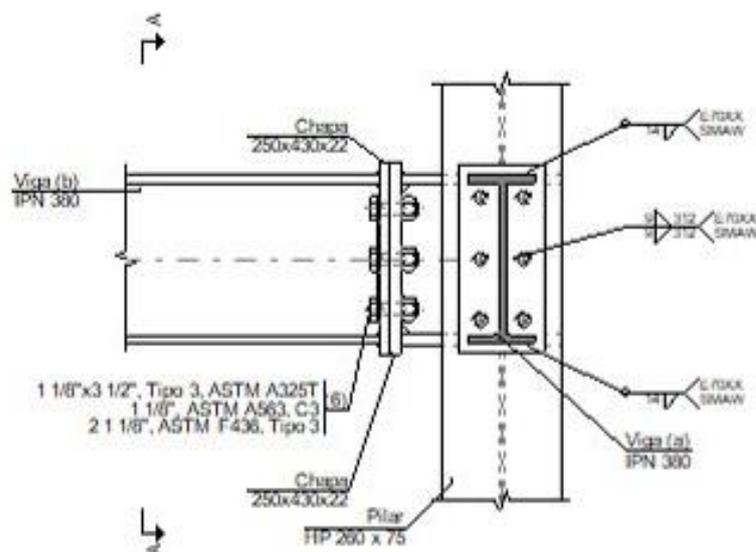
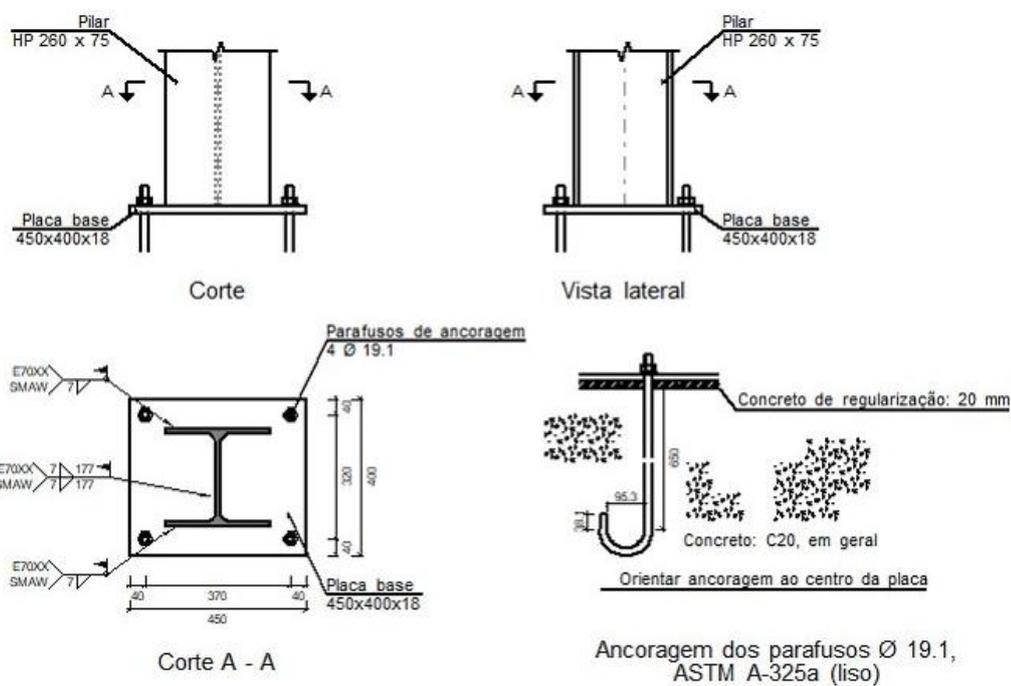
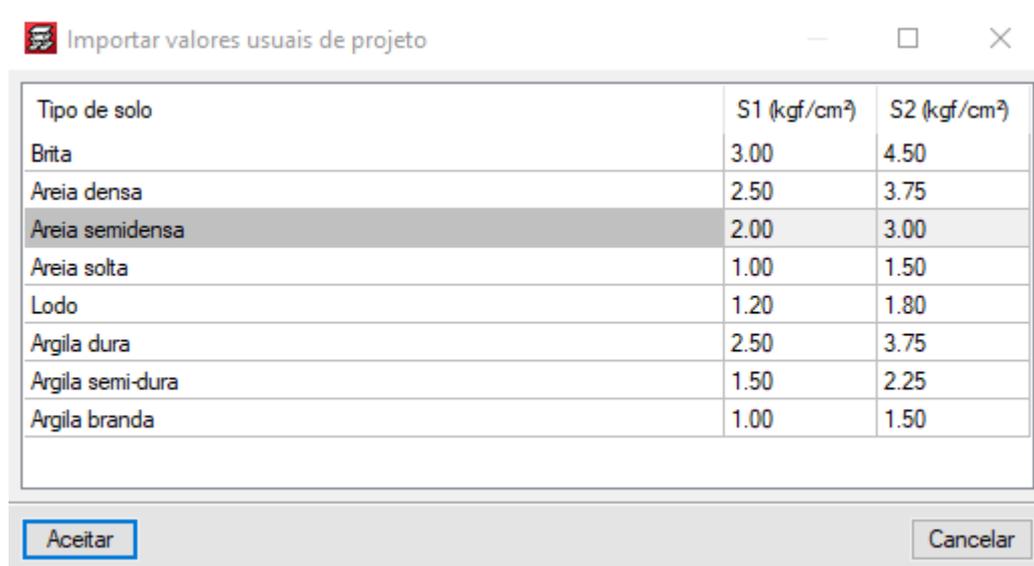


Figura B. 2 – Detalhamento fundação



APÊNDICE C – DADOS SOBRE O TIPO DO SOLO CONFORME O CYPECAD

Figura C. 1 – Valores de tensões admissíveis para cada tipo de solo conforme o Cypecad



The image shows a software dialog box titled "Importar valores usuais de projeto". It contains a table with three columns: "Tipo de solo", "S1 (kgf/cm²)", and "S2 (kgf/cm²)". The table lists various soil types and their corresponding values. The row for "Areia semidensa" is highlighted. At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Aceitar" and "Cancelar".

Tipo de solo	S1 (kgf/cm²)	S2 (kgf/cm²)
Brita	3.00	4.50
Areia densa	2.50	3.75
Areia semidensa	2.00	3.00
Areia solta	1.00	1.50
Lodo	1.20	1.80
Argila dura	2.50	3.75
Argila semi-dura	1.50	2.25
Argila branda	1.00	1.50