

UNIVERSIDADE DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

RAFAEL MODERNO LIMA

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MANUAL E
UTILIZANDO O SOFTWARE CYPECAD

AÇAILÂNDIA - MA

2023

RAFAEL MODERNO LIMA

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MANUAL E
UTILIZANDO O SOFTWARE CYPECAD**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como pré-requisito para elaboração da Trabalho de conclusão de curso para grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Brenda Gomes de Lima Moura

AÇAILÂNDIA-MA

2023

L732d

Lima, Rafael Moderno

Dimensionamento estrutural de um edifício em concreto armado: análise comparativa entre o método manual e utilizando o software are cypecad / Rafael Moderno Lima. – Açailândia: UEMASUL, 2023.
27 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2023.

Orientadora: Profa. Ma. Brenda Gomes de Lima Moura.

1. Projeto estrutural. 2. Dimensionamento manual. 3. Cypecad. I. Título.

CDU 624.04

RAFAEL MODERNO LIMA

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MANUAL E
UTILIZANDO O SOFTWARE CYPECAD**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como pré-requisito para elaboração da Trabalho de conclusão de curso para grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Brenda Gomes de Lima Moura

Aprovado em 30/11/2023

BANCA EXAMINADORA

Brenda Gomes de Lima Moura
Mestra em Ciências dos Materiais – UFMA
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho
Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias – IPOG/MA
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL

Deckson Lacerda de Sousa Costa
Mestre em Ciências dos Materiais – UFMA
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Dimensionamento Estrutural de um Edifício em Concreto Armado: análise comparativa entre o método manual e utilizando o software cypecad

Structural sizing of reinforced concrete: comparative analysis between the manual method and using cypecad software

Rafael Moderno Lima¹; Brenda Gomes de Lima Moura²

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCHSTL, Açailândia/MA Brasil. Email: rafaellima.201763125@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4495-5573>

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCHSTL, Açailândia/MA, Brasil. Email: brenda.lima@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7484-526>

Resumo: Este trabalho apresenta uma pesquisa que investiga as possíveis inconformidades de resultados dos métodos de cálculo manual e executados pelo software Cypecad. Para atingir esses objetivos, foi proposto um edifício de três pavimentos tipo, e realizado o cálculo manual com o auxílio de planilhas do Excel, e o automático com o software cypecad, coletando e analisando as áreas de aço das armaduras longitudinais, calculadas por cada um dos métodos. Os resultados da pesquisa revelaram uma proximidade para lajes e uma pequena diferença para vigas e pilares, quando estes possuem carregamentos maiores.

Os resultados desta pesquisa demonstram que o software Cypecad é uma ferramenta eficiente para o cálculo de estruturas, disponibilizando informações coesas e confiáveis quando comparados ao método de cálculo manual. Essa constatação tem importantes implicações para a eficácia e precisão no planejamento de estruturas, economizando tempo e esforço, sem colocar a segurança e a qualidade em risco.

Palavras chave: projeto estrutural, dimensionamento manual, Cypecad

Abstract: The present work presents a comprehensive research that investigates the possible differences in results between manual calculation methods and those performed by the cypecad software. To achieve these objectives, a three-story Type building was proposed, and the manual calculation was carried out with the help of Excel spreadsheets, and the automatic calculation was carried out with the cypecad software, collecting and analyzing the steel areas calculated by each of the methods. The research results revealed a similarity for columns and slabs and a small difference for beams, when they have higher loads.

The results of this research demonstrate that the cypecad software is an efficient tool for calculating structures, providing cohesive and reliable information when compared to the manual calculation method. This finding has important implications for the effectiveness and precision in planning structures, saving time and effort, without compromising safety and quality.

Keywords: structural design, manual dimensioning, Cypecad

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	METODOLOGIA.....	9
2.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO.....	10
2.2	SOFTWARE UTILIZADO.....	11
3	ETAPAS.....	11
3.1.1	Concepção e Pré-dimensionamento da Estrutura.....	13
3.1.1.1	Concepção das Vigas.....	13
3.1.1.2	Pilares.....	14
3.1.1.3	Lajes.....	15
4	CÁLCULO DAS ÁREAS DE AÇO DO MÉTODO MANUAL.....	15
4.1	ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DAS VIGAS.....	15
4.2	ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DA LAJES.....	16
4.2.1	Carregamentos Considerados.....	16
4.3	ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DOS PILARES.....	18
5	CÁLCULO DAS ÁREAS DE AÇO PELO CYPECAD.....	19
5.1	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	20
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
6.1	PILARES:.....	20
6.2	VIGAS.....	22
6.3	LAJES.....	23
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
	REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as estruturas feitas com a utilização de concreto armado são uma das mais utilizadas nas construções de pequeno a grande porte, se difundindo também por todo o mundo. Segundo as informações do levantamento do Conselho de Habitat Urbano (CBTUH), foram usados cerca de 15 milhões de m³ de concreto armado, para construir 144 edifícios em todo o mundo só no ano de 2020.

Com a grande significância do concreto armado, surge a importância da correta elaboração de um projeto estrutural, que garanta não só os quesitos de estado limite último, mas também o estado limite de serviço.

Segundo Kimura (2018), para a elaboração de uma estrutura em concreto armado, três etapas são fundamentais: concepção estrutural, análise e dimensionamento. Na concepção estrutural cabe ao profissional determinar as posições dos elementos na estrutura, estabelecendo as dimensões de pilares, vigas e lajes. Já na análise estrutural, é feito o cálculo de deslocamentos e esforços solicitantes, provocados por ações externas, esses cálculos são feitos por um modelo que irá representar a estrutura real.

Na fase de dimensionamento e detalhamento, são realizadas as especificações das armaduras necessárias e a quantidade de área de aço em cada elemento estrutural, para resistir aos esforços definidos na análise estrutural. Vale ressaltar, que na etapa de análise da estrutura, é essencial um modelo estrutural que busque uma proximidade da estrutural real, apresentando viabilidade, segurança e economia (SANCHES FILHO, 2023).

No dimensionamento de uma seção de um elemento fletido em concreto armado, surgem tanto esforços de tração como de compressão. O aço resiste bem aos esforços de tração, já o concreto tem uma boa resistência a compressão. Essa interação permite que possamos ter estruturas bem difundidas em diversos tipos de obras, sendo elas eficazes em receber e transferir os carregamentos da estrutura para o solo. Mas para que o concreto armado seja usado de maneira eficiente, é preciso dimensioná-lo de forma que as armaduras longitudinais (construtivas e principais) e transversais (estribos) resistam adequadamente aos esforços solicitantes (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Na etapa de análise estrutural, alguns modelos de cálculo são utilizados, entre eles, a dos métodos aproximados (vigas contínuas) que trata de um modelo simplificado onde os elementos são calculados de maneira isolada, ou seja, não levando em conta a interação entre eles, o que não acontece na vida real. Esse método se dá por conta da grande complexidade de se realizar análises numéricas. Logo, o método aproximado oferece soluções aproximadas de forma rápida e com eficiência real (KRIPKA, 2020).

Devido a essas limitações esse método não é muito utilizado em projetos elaborados com o auxílio computacional. Por sua vez, os softwares costumam utilizar o modelo de pórtico espacial, que consiste em um modelo tridimensional onde existe uma interação entre todos os elementos estruturais, o que mais se aproxima de um modelo real (KRIPKA, 2020).

Para o dimensionamento manual, que é o método aprendido durante a formação de um profissional da engenharia civil e que vem sendo cada vez mais escasso entre os profissionais da construção civil, ocorre uma redução de produtividade, quando comparado à softwares específicos. Contudo, sua utilização ainda é de fundamental importância, pois possibilita ao profissional validar os resultados dos softwares criando certo grau de confiança no dimensionamento das estruturas.

Segundo Kimura (2018), a grande maioria dos projetos estruturais em concreto armado, realizados nos dias atuais, são feitos com auxílio de cálculos computacionais. Os softwares de dimensionamento contribuem para a otimização do tempo e ainda geram economia para a realização de projetos, mas para tanto, é necessário que haja o conhecimento profissional de uma pessoa habilitada para poder operar essas ferramentas de maneira correta. Para realizar tais dimensionamentos muitos profissionais recorrem a programas tais como TQS, EBERIC da AltoQI, CYPECAD da CYPE Ingenieros.

Esses programas de dimensionamento estrutural vêm sendo muito utilizados e amplamente aprimorados, levando em consideração que as estruturas estão cada vez mais complexas, com o intuito de atender um rol de possibilidades no âmbito estrutural diante dos mais variados e desafiadores projetos estruturais. Ademais, o sistema estrutural é uma das partes que possuem mais importância na edificação, dessa forma todos os pontos do seu desenvolvimento precisam de plena e efetiva atenção para que tenha precisão e segurança (IPOG, 2021).

As licenças para operar esses softwares mesmo não sendo baratas são compensadas pelo ganho de segurança e produtividade na realização de tais projetos. Vale ressaltar que o dimensionamento por meio de softwares, apresenta ainda como vantagem a interação entre os elementos como um modelo global monolítico, ou seja, não analisa as peças de maneira isolada como é feito no dimensionamento manual. Essa interação entre os elementos faz com que a estrutura se aproxime ainda mais da realidade.

Mediante a vasta utilização desses softwares surgem dúvidas acerca da eficiência desses dimensionamentos “automáticos”, visto que, esses dispositivos podem apresentar limitações em seus algoritmos, que podem dificultar um perfeito cálculo. E para se ter um aproveitamento

mais eficiente dessas ferramentas de cálculo faz-se necessário o conhecimento através de comprovações práticas de suas funcionalidades.

Com base nisso, este trabalho tem como fim, fazer uma análise comparativa entre o dimensionamento estrutural manual e utilizando o software Cypecad, de um edifício em concreto armado. Para realizar esse comparativo serão dispostas as áreas de aço das armaduras longitudinais de cada método, informando se houve diferenças significativas do modelo de cálculo realizado pelo software Cypecad.

2 METODOLOGIA

A análise comparativa do presente trabalho, baseia-se nas áreas de aço das armaduras longitudinais da superestrutura. Para realizar o comparativo entre os dois métodos, primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico e análise de dados, acerca de assuntos que envolvem análise estrutural, colhidas em livros, trabalhos científicos, por meios das plataformas como Google Acadêmico e Capes, além de normas da ABNT, como a NBR 6120/2019 - Ações para o cálculo de edificações, NBR 6118/2014 - Projeto de Estruturas de Concreto e NBR 8681/2003- Ações e segurança nas estruturas.

Para a realização do estudo foi proposto um projeto, caracterizado como um edifício comercial composto por piso, primeiro pavimento, segundo pavimento e uma cobertura. O piso constitui-se em 4 escritórios, 1 recepção, 1 corredor e 1 banheiro; o primeiro pavimento em 4 quartos, 1 recepção, 1 corredor e 1 banheiro; para o segundo pavimento 4 salas, 1 recepção, 1 corredor e 1 banheiro.

Se trata de um edifício hipotético criado pelo autor, como mostra a Figura 1 e Figura 2, composto por pilares, vigas e lajes maciças de concreto armado. A escolha desse projeto com três pavimentos se deu pelo fato de poder ser possível variar as cargas de utilização dos pavimentos, a fim de, fazer comparativos entre os dimensionamentos dos respectivos pavimentos.

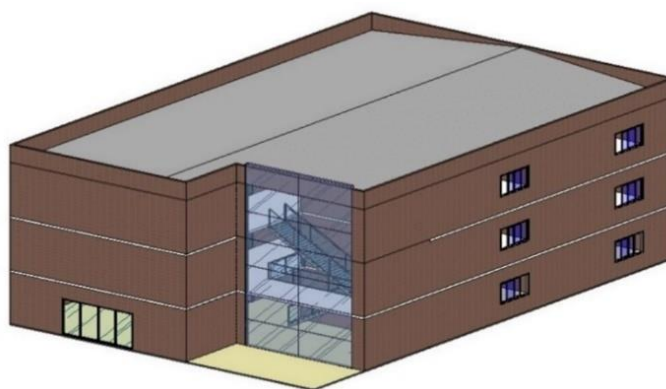


Figura 1: Edifício 3D
Fonte: Autor, 2023

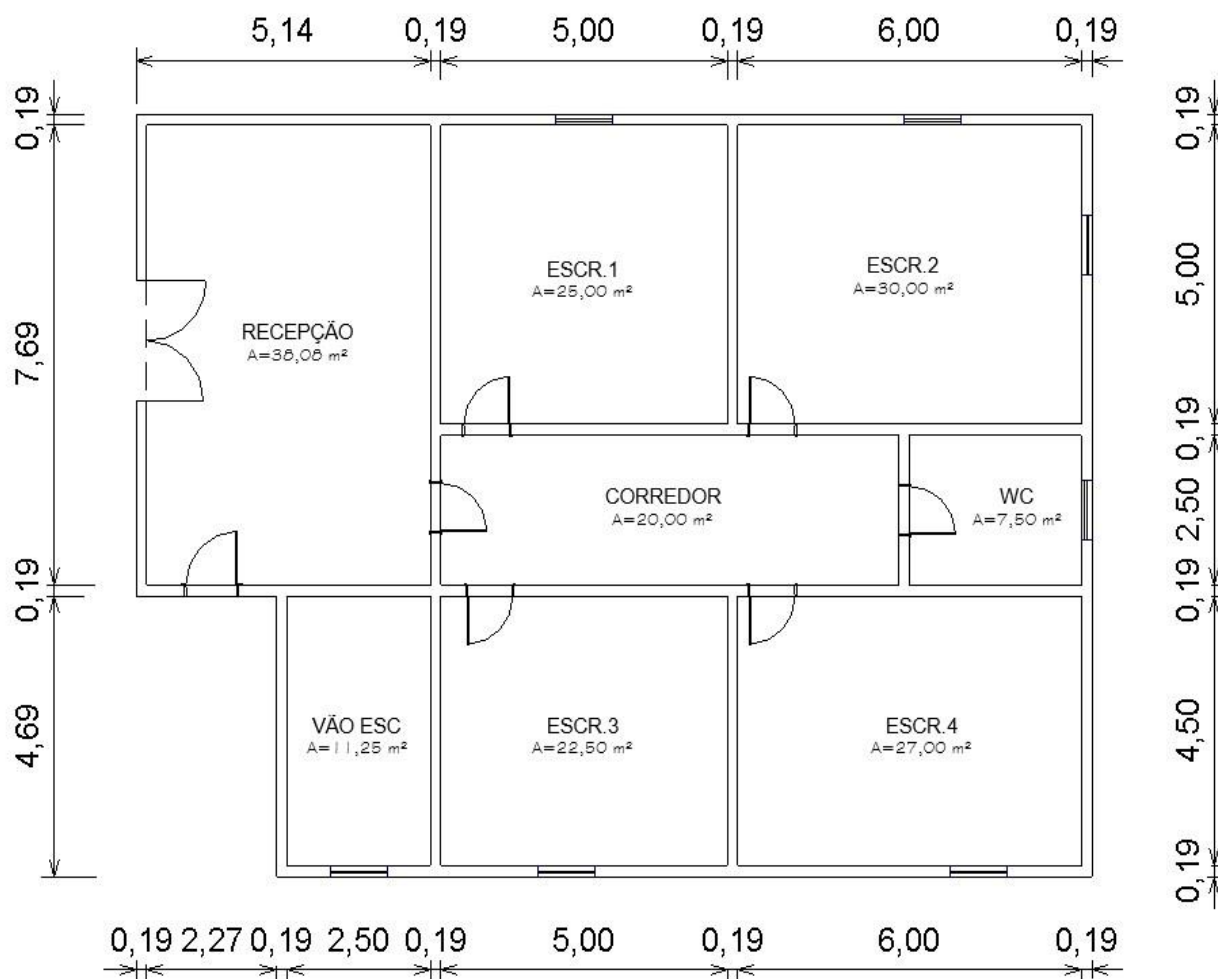


Figura 2: Projeto Arquitetônico Piso
Fonte: Autor, 2023

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO

O dimensionamento da estrutura foi executado levando em consideração o uso de concreto com f_{ck} de 30 MPa e aço CA-50. Além disso, foi considerado o ambiente urbano com uma classe de agressividade moderada II. O cobrimento das armaduras foi estabelecido em 3 cm, conforme as diretrizes de projeto. As especificações das cargas atuantes na estrutura foram determinadas com base na norma ABNT NBR 6120/2019.

2.2 SOFTWARE UTILIZADO

O software utilizado para análise e cálculo dos dados será a versão estudantil Cypecad 2023 da Cype Engenheiros, desenvolvido por uma empresa espanhola, que oferece todos os dados necessários para realização do projeto.

Trata-se de um software que traz um rol de possibilidades, onde realiza o cálculo das estruturas em concreto armado, concreto pretendido, pré-moldado. É muito versátil, além de ser possível trabalhar com vários tipos de pilares, lajes e fundações. O supracitado apresenta clareza em seus resultados caso haja inconformidade (IPOG, 2021).

O software estudado apresenta um núcleo para dimensionamento de vigas, pilares e lajes em concreto armado que possibilita a realização da análise dos esforços bem como deslocamentos provenientes dos carregamentos.

3 ETAPAS

Depois de feito o levantamento bibliográfico, as seguintes etapas foram seguidas. A Figura 3 ilustra os caminhos seguidos:

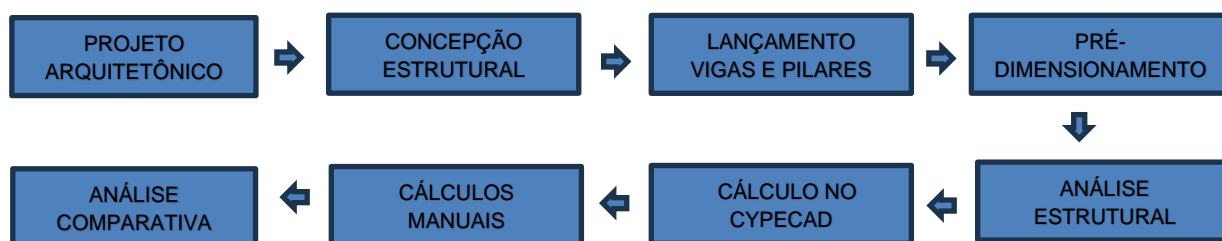


Figura 3: Fluxograma do Trabalho
Fonte: Autor, 2023

Na primeira etapa, foi realizado o projeto arquitetônico com o auxílio do software Revit, versão estudantil 2023.

Na segunda etapa prosseguiu-se a concepção estrutural, em que foram definidas as especificações iniciais da obra, como o tipo de estrutura a ser utilizada como lajes, vigas, colunas, fundações, entre outros, e a determinação das cargas e condições de limite iniciais.

Na terceira etapa, onde consiste nos lançamentos dos pilares vigas e lajes, também foi feita com o auxílio do software Revit que disponibilizou a planta baixa para processamento no Cypecad e este por sua vez gerou a planta de fôrma conforme Figura 4, a seguir.

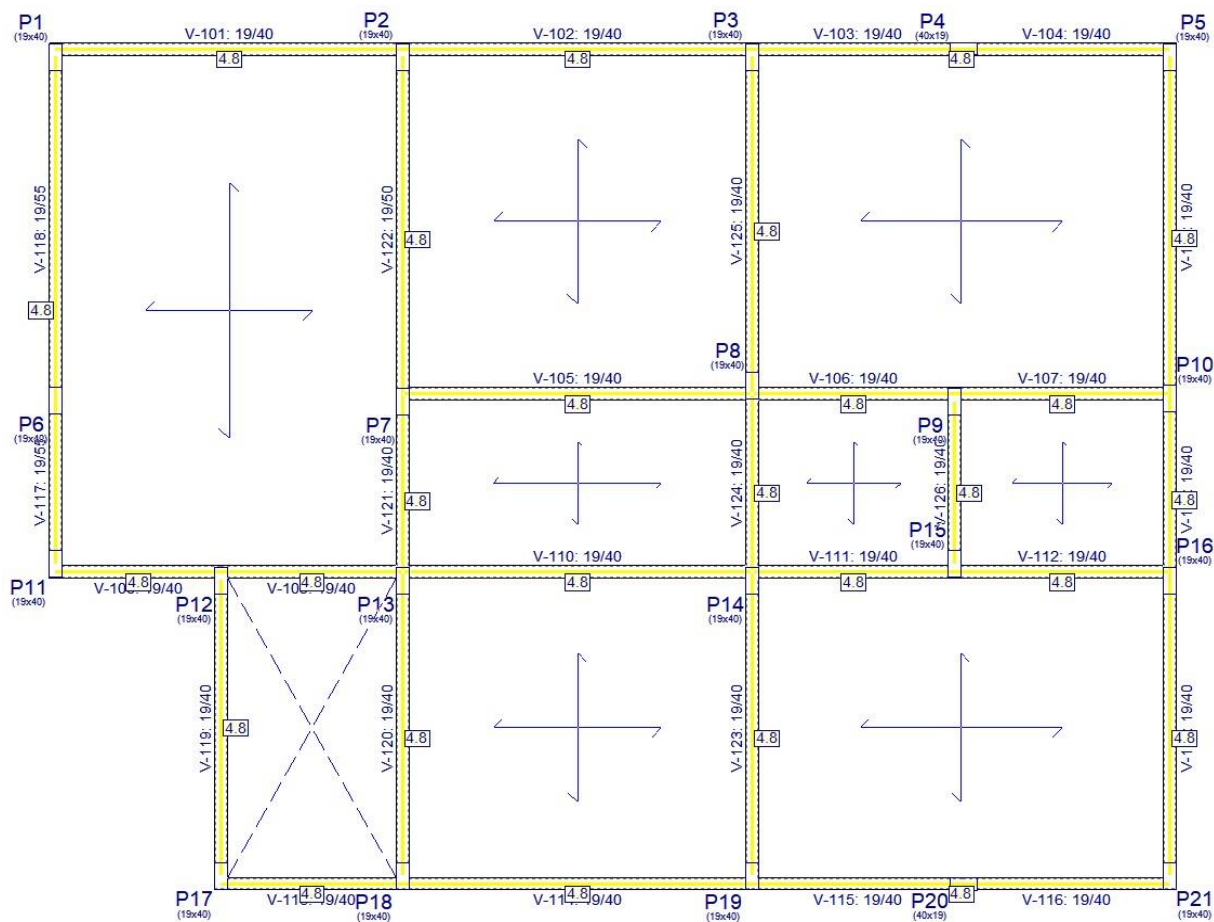


Figura 4: Planta de fôrma Piso
Fonte: Autor, 2023

Na quarta etapa, foi feito um pré-dimensionamento dos elementos estruturais, determinando as dimensões a serem adotadas para vigas, pilares e lajes, servindo para ambos os métodos.

Na quinta etapa, foi feita a análise estrutural, onde foram calculadas as forças, deformações e outras características da estrutura sob diferentes condições de carga.

Na sexta etapa, depois de já lançadas as vigas, pilares e lajes no software Cypecad, procedeu-se o cálculo da estrutura por meio do modelo de pórtico espacial, utilizado pelo software, que simula a edificação real.

Na sétima etapa, foi realizado os cálculos manuais para obtenção das áreas de aço tanto para as lajes, vigas e pilares. Para essa etapa foi utilizado como auxílio, a ferramenta Ftool e planilhas do Excel elaboradas pelo autor deste trabalho.

Na oitava etapa, depois de coletadas as áreas de aço das armaduras longitudinais, calculadas pelo Cypecad através do relatório disponibilizado pelo software, foram feitas os comparativos e análises dos resultados dos métodos utilizados.

3.1.1 Concepção e Pré-dimensionamento da Estrutura

A ordem de lançamento dos elementos estruturais conforme preconiza Kimura (2018), foi dada primeiramente pelas vigas seguidos pelos pilares e posteriormente pelas lajes.

3.1.1.1 Concepção das Vigas

Foram lançadas as vigas em todos os pavimentos, desde a viga V-101 a V-411, conforme Figura 4, apresentada acima. Todas as vigas foram preliminarmente definidas com seção de 9x20 cm, mas com essas dimensões, não passaram nas verificações de flecha limite, sendo necessário adotar vigas de, no mínimo, 19x40 cm. A Figura 5 mostra essas verificações para vigas de 9x20 cm.

Estado	Tipo	Zona
✘ Erro	Resistência	P17 - 0.668 m, Negativos
✘ Erro	Resistência	P17 - 0.668 m, Negativos
✘ Erro	Resistência	P17 - 0.668 m, Negativos
✘ Erro	Resistência	0.334 m - 3.006 m, Positivos
✘ Erro	Resistência	0.334 m - 3.006 m, Positivos
✘ Erro	Resistência	0.334 m - 3.006 m, Positivos
✘ Erro	Resistência	2.672 m - P12, Negativos
✘ Erro	Resistência	2.672 m - P12, Negativos
✘ Erro	Resistência	2.672 m - P12, Negativos

Figura 5: Registro de erros cypecad

Fonte: Autor, 2023

Para o pré-dimensionamento das vigas, Ferraz (2019) recomenda que as mesmas tenham a largura igual à dos tijolos utilizados na alvenaria e que tenham vãos entre 3 a 5m. Já para a altura das vigas as seguintes equações são sugeridas:

$$\text{Para vigas biapoiadas, } h = \text{vão}/10$$

$$\text{Para vigas contínuas, } h = \text{vão}/12$$

Com base nessas informações, foram adotadas vigas com as seguintes dimensões para secção transversal: 19x40cm, 19x45cm, 19x50cm e 19x55cm.

3.1.1.2 Pilares

Para o lançamento dos pilares, seguindo da esquerda para a direita e de cima para baixo, de acordo com o que preconiza Osvaldemar e Marchetti (2019) seguiu-se:

- Lançamento dos pilares pelos cantos
- Alinhados formando pórticos
- Nos encontros de vigas
- Vãos na ordem de 4 a 6m

Com as devidas locações das vigas e pilares, fez-se necessário o lançamento das cargas previstas pela ABNT NBR 6120/2019. Logo após o lançamento das cargas, recomenda-se o uso do método das áreas de influência para se realizar um pré-dimensionamento das áreas das seções transversais dos pilares. Este sistema consiste em dividir a área do pavimento em áreas de influência para cada pilar, conforme Figura 6, e a partir disso definir as cargas atuantes em cada uma das vigas e pilares. As áreas dos pilares podem ser descritas através das equações seguintes, de acordo com ABNT NBR: 6118/2023.

Pilares intermediários

$$Ac = \frac{1,4 * Nd}{0,6 * fck * 0,42}$$

Pilares de canto e extremidade

$$Ac = \frac{Nd}{0,6 * fck * 0,42}$$

Onde, por exemplo, para P1 temos:

$$Nd = \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{X}{2}\right) * 15kN/m^2, \quad Ac = \text{área pilar}; \quad fck = \text{resistência característica do}$$

concreto.

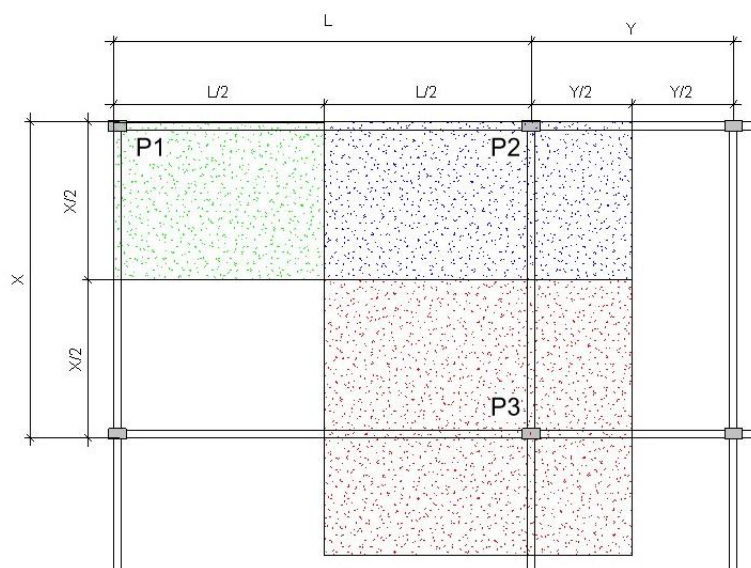


Figura 6: Cargas para pré-dimensionamento

Fonte: Autor, 2023

Feitas essas análises, foram adotadas as dimensões de 19x40x300cm para todos os pilares, isso foi feito para uniformizar, dentro do possível, esses valores para facilitar, conforme Marchetti (2019), a execução no canteiro de obras.

3.1.1.3 Lajes

A espessura mínima recomendada, sem protensão, de acordo com a NBR 6118/2023, é de 7 cm para lajes com cargas residenciais e de 10 cm para lajes com cargas comerciais. Mas por conta das grandes dimensões dos cômodos do edifício lajes com dimensões de 7 ou 10 cm de espessura não passaram nas verificações de deslocamento sendo adotado a espessura de 15 cm, como mostra a Figura que será abordada mais à frente.

4 CÁLCULO DAS ÁREAS DE AÇO DO MÉTODO MANUAL

4.1 ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DAS VIGAS

Para o cálculo das áreas longitudinais de aço das vigas, Marchetti (2019), disponibiliza as seguintes fórmulas para os corretos dimensionamentos:

$$Mcd = 0,68 * fcd * x * bw * (d - 0,4 * x)$$

Onde:

Mcd =momento de cálculo, fcd = resistência do concreto, x = posição da linha neutra bw = largura da viga, d = altura útil da viga.

Depois de verificadas as posições das linhas neutras, prossegue-se com o estabelecimento dos domínios de cálculo onde:

$$\text{Domínio 2} \rightarrow x \leq X_{2,3}; \quad \text{em que } X_{2,3} = 0,259 * d$$

$$\text{Domínio 3} \rightarrow x \leq X_{3,4}; \quad \text{em que } X_{3,4} = 0,628 * d$$

A área de aço das vigas, depois de encontradas os respectivos momentos de cálculo em cada elemento, se dá pela fórmula abaixo:

$$As = \frac{Msd}{Tsd * (d - 0,4 * x)}$$

Onde:

Mcd =momento de cálculo, d = altura útil viga, x = posição da linha neutra, As = área de aço necessária, Tsd = resistência a tração aço.

4.2 ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DA LAJES

Para o cálculo das lajes maciças em concreto armado é preciso determinar se as armaduras são em uma ou duas direções.

Se a razão de ly (lado de maior vão) por lx (lado de menor vão) for menor que 2 a laje será armada em duas direções, se essa relação for maior que dois, as lajes serão armadas em uma única direção.

Feitos os pré-dimensionamentos dos pilares e vigas fez-se necessário estabelecer os tipos de vínculos das lajes: se são simplesmente apoiadas ou engastadas. O Quadro 1, a seguir, mostra como as lajes foram consideradas, levando em conta os critérios específicos da NBR 6118/2023:

LAJES	lx. MENOR	lx.MAIOR	VINCULAÇÃO
L1/L2	5,14	5,18	BIENGASTADA
L2/L3	5,18	5,18	BIENGASTADA
L1/L4	5,14	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L2/L4	2,69	5,18	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L4/L6	5,19	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L3/L4	5,18	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L3/L5	5,18	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L4/L5	2,69	2,69	BIENGASTADA
L4/L7	4,69	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L5/L7	4,69	2,69	SOMENTE MENOR lx ENGASTADA
L6/L7	4,69	4,69	BIENGASTADA

Quadro 1: Vinculação das lajes

Fonte: Autor, 2023

4.2.1 Carregamentos Considerados

As ações permanentes e variáveis relacionadas abaixo, foram utilizadas para cálculo de cada um dos métodos e foram extraídas da supracitada NBR 6120/2019. Os carregamentos das cargas de utilização foram adotados com valores diferentes para cada um dos pavimentos, a fim de, fazer um comparativo das áreas de aço para diferentes tipos de carregamentos.

- Peso específico do concreto armado: 25kN/m³
- Peso próprio do revestimento para o piso de 5 cm:1,4kN/m²
- Peso próprio da alvenaria em bloco cerâmico vazado, espessura 9cm:1,6kN/m²
- Peso telhado 0,3 kN/m²
- Peso forro acartonado :0,25 kN/m²
- Cargas variáveis de utilização para manutenção em coberturas:1,5 kN/m²
- Cargas de utilização para salas comerciais de uso geral adotadas para o piso: 5 kN/m²
- Cargas de utilização para dormitórios adotadas para o primeiro pavimento:2,5 kN/m²
- Cargas de utilização para reuniões de público, para segundo pavimento: 1,5 kN/m²

Os valores dos carregamentos foram combinados e majorados com base na ABNT NBR 8681/2003.

Para que se determine as áreas de aço das lajes, depois de se estabelecer as vinculações e o tipo de laje, foi preciso dispor dos momentos positivos, para cálculo das armaduras principais:

$$M = \mu x * \frac{p * l x^2}{100}$$

Onde:

μx é tabelado pela ABNT NBR: 6118 / 2023, p = cargas atuantes de cálculo, $l x$ = menor dimensão da laje.

As áreas de aço das armaduras longitudinais principais foram determinadas pela fórmula abaixo:

$$A_s = \frac{k_s * M d}{d}$$

Onde:

k_s é tabelado pela ABNT NBR: 6118-2023, $M d$ = momento de cálculo, d = altura útil, A_s = área de aço

4.3 ÁREA DE AÇO LONGITUDINAL DOS PILARES

Para determinação das áreas de aço dos pilares é preciso estabelecer o comprimento efetivo (le). O comprimento efetivo de um pilar é uma medida utilizada na análise estrutural para determinar a sua capacidade de resistir à cargas e momentos fletores. É uma simplificação que leva em consideração o efeito de flambagem lateral, que é a tendência de um pilar flexionar lateralmente quando está sujeito a uma carga axial.

De acordo com Osvaldemar e Marchetti (2019, pag.282) o comprimento efetivo de um pilar pode variar com base em vários fatores, incluindo as condições de apoio, a geometria do pilar e as propriedades do material.

A esbeltez de um pilar é uma medida que relaciona a altura do pilar com seu raio de giração, e é usado para avaliar a tendência do pilar à flambagem. A flambagem é um fenômeno em que um pilar, sob compressão, pode falhar lateralmente antes de atingir sua capacidade de carga máxima devido à sua forma ou proporções (LEONARD; MONNING, 2018, pag.269).

O índice de esbeltez (λ) de um pilar é frequentemente calculado usando a seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{le}{i}$$

Onde:

- le é o comprimento efetivo do pilar (comprimento real ou comprimento efetivo, dependendo das condições de extremidade),
- i é o raio de giração da seção do pilar.
- O raio de giração (i) é uma medida que está relacionada com a forma da seção transversal do elemento analisado. Quanto maior o λ , mais esbelto é o pilar, o que significa que ele está mais sujeito à flambagem.

Para cálculo final das armaduras longitudinais dos pilares, Porto e Fernandes (2015, pag. 104) estabelece a seguinte fórmula:

$$A_s = \frac{w * A_c * f_{cd}}{f_{yd}}$$

Onde: w = tabelado pela ABNT NBR 6118/2014, A_c = Área do pilar, f_{cd} = resistência a compressão do concreto, f_{yd} = resistência a tração do aço

5 CÁLCULO DAS ÁREAS DE AÇO PELO CYPECAD

O processo de cálculo de estruturas de concreto com o Cypecad seguiu os seguintes passos, como mostra a Figura 7:



Figura 7: fluxograma de cálculo do cypecad

Fonte: Autor, 2023

Primeiro passo: feita a modelagem da estrutura, que consiste em criar um modelo digital da estrutura. Isso envolve a definição de parâmetros como a geometria do edifício, disposição das lajes, pilares, vigas e fundações. O Cypecad fornece uma interface amigável para criar o modelo 3D da estrutura.

Segundo passo: é feita a aplicação das cargas. Deve-se inserir as cargas que atuam sobre a estrutura. Isso inclui cargas de ocupação, entre outras, de acordo com as normas e regulamentos aplicáveis.

Terceiro passo: escolha dos materiais. Definidos os materiais de construção, que serão usados na estrutura, como o concreto e o aço, é importante especificar as suas características, como resistência à compressão do concreto e características do aço, como ilustra a Figura 8, onde são informados ao software os dados do projeto.

Quarto passo: no processamento da estrutura, o Cypecad calcula automaticamente, com base nas informações que foram disponibilizadas, os resultados necessários para execução do projeto em canteiro de obra, como quantidade necessária de aço dos elementos estruturais.

A imagem mostra a interface de definição de materiais no software Cypecad, dividida em duas seções principais: 'Betão armado' e 'Perfis'.

Betão armado

- Betão**
 - Lajes: C30, em geral
 - Fundação: C30, em geral
 - 'Tubulões': C30, em geral
 - Pilares: C30, em geral
 - Muros: C30, em geral
 - Características do agregado: Granito (15 mm)
- Aço**
 - Varões: CA-50 e CA-60
 - Pemos: ISO 898.C4.6

Perfis

- Aço**
 - Laminados e compostos: A-36 250Mpa
 - Enformados: CF-26
- Madeira**
 - Vigas: C24 - Vigotas: C24 - Estruturas 3D: C24
- Alumínio extrudido**
 - EN AW-5083 - F

Figura 8: Definição das resistências do concreto e aço

Fonte: Autor, 2023

5.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

O Cypecad realiza a análise estrutural da edificação, calculando as reações nas fundações, distribuição de cargas em pilares, vigas e lajes, além das tensões e deslocamentos da estrutura. O software utiliza métodos de análise estrutural, como o Método dos Elementos Finitos (MEF), para realizar esses cálculos. A Figura 9 mostra os deslocamentos provocados pelos carregamentos nas lajes, onde, em vermelho, estão os maiores deslocamentos.

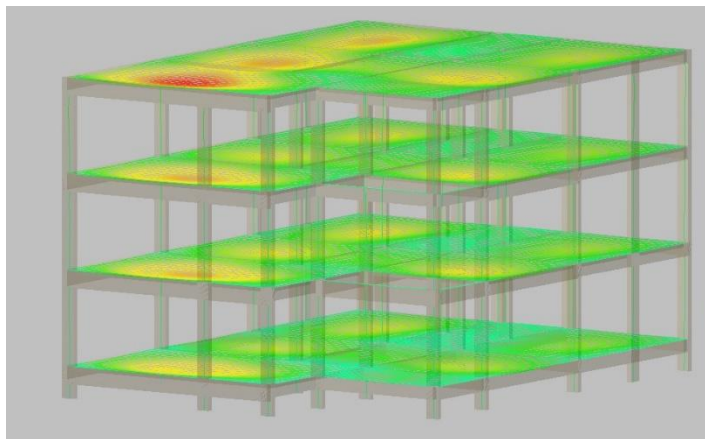


Figura 9: Deslocamentos das lajes

Fonte: Autor, 2023

Os resultados, gráficos gerados pelo software, para garantir que a estrutura esteja de acordo com os requisitos de segurança e desempenho, podem ser consultados pelos relatórios disponibilizados pelo software.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados a seguir, foram retirados das análises de projeto manual do edifício, realizado por meio de planilhas, e dos relatórios gerados pelo software Cypecad, na aba resultados. O edifício em questão tem um total analisado de 48 pilares, 24 lajes e 87 vigas. Com o fim de executar um comparativo mais eficiente, as áreas de aço longitudinais dos respectivos elementos foram somadas.

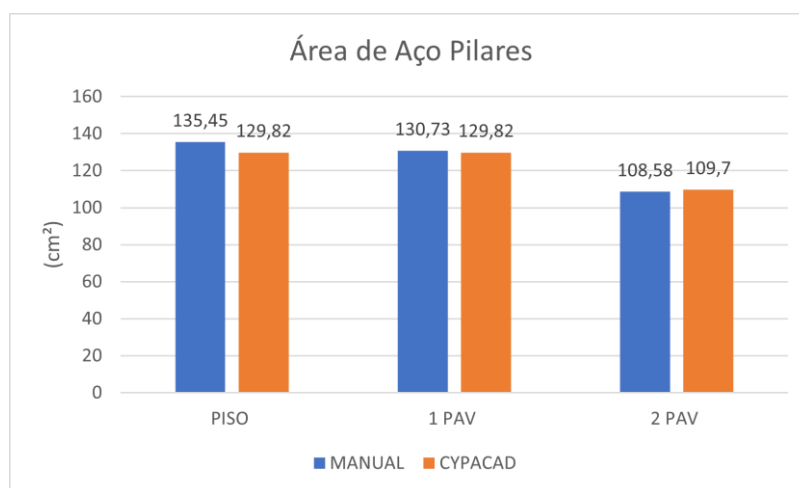
6.1 PILARES:

A Tabela 1, a seguir, mostra os valores referentes aos pilares do piso, 1 pavimento e 2 pavimento.

ÁREA DE AÇO (cm ²)											
PISO				1 PAVIMENTO				2 PAVIMENTO			
PILARES	MANUAL cm ²	CYPE cm ²	Fd kN	PILARES	MANUAL cm ²	CYPE cm ²	Fd kN	PILARES	MANUAL cm ²	CYPE cm ²	Fd kN
P-1	9,85	9,82	552,6	P-1	9,79	9,82	391,8	P-1	6,59	7,36	242,6
P-2	10,58	10,5	1209,2	P-2	10,12	10,5	875,1	P-2	9,92	10,5	547,4
P-3	6,98	7,36	886,9	P-3	7,38	7,36	635,0	P-3	7,38	7,36	396,3
P-4	6,02	5,59	530,6	P-4	5,56	5,59	382,7	P-4	5,48	5,59	240,2
P-5	5,21	4,71	383,6	P-5	4,67	4,71	274,8	P-5	4,56	4,71	169,5
P-6	4,89	4,71	715,8	P-6	4,68	4,71	521,2	P-6	3,25	4,71	329,2
P-7	18,56	17,86	1634,9	P-7	18,69	17,8	1195,3	P-7	7,39	7,36	756,8
P-8	9,49	9,42	1350,1	P-8	9,65	9,42	980,0	P-8	4,69	4,71	621,3
P-9	5,12	4,71	383,6	P-9	4,59	4,71	274,8	P-9	4,68	4,71	169,5
P-10	5,24	4,71	568,4	P-10	4,68	4,71	408,0	P-10	4,69	4,71	253,4
P-11	4,92	4,71	715,8	P-11	4,69	4,71	521,2	P-11	4,58	4,71	242,0
P-12	4,69	4,71	383,6	P-12	4,57	4,71	274,8	P-12	4,68	4,71	169,5
P-13	4,58	4,71	1050,1	P-13	4,66	4,71	714,1	P-13	4,57	4,71	460,9
P-14	7,25	7,16	1282,5	P-14	8,02	7,16	932,5	P-14	4,69	4,71	584,9
P-15	5,24	4,71	383,6	P-15	4,68	4,71	274,8	P-15	4,89	4,71	169,5
P-16	5,26	4,71	383,6	P-16	4,68	4,71	274,8	P-16	4,56	4,71	169,5
P-17	5,3	4,71	383,6	P-17	4,68	4,71	274,8	P-17	4,67	4,71	169,5
P-18	5,14	4,71	568,4	P-18	4,8	4,71	408,0	P-18	4,68	4,71	253,4
P-19	5,75	5,59	863,5	P-19	5,56	5,59	627,6	P-19	5,62	5,59	390,0
P-20	5,38	4,71	488,8	P-20	4,58	4,71	350,8	P-20	4,69	4,71	220,8
total	135,45	129,8		total	130,73	130		total	108,58	109,7	

*Tabela 1: Área de aço pilares
Fonte: Autor, 2023*

Os dados da Tabela 1 foram transformados em gráfico, como mostra a Figura 10, para facilitar o entendimento.



*Figura 10: Área de aço pilares
Fonte: Autor, 2023*

Os resultados dos dimensionamentos para os dois métodos de cálculo foram bem similares para o primeiro e segundo pavimento, e apresentado uma pequena diferença de 4,15% para o piso, onde, de fato, os carregamentos são maiores comparados com os demais pavimentos.

6.2 VIGAS

A Tabela 2, a seguir, mostra os valores referentes as áreas de aço das vigas.

ÁREAS (cm ²)											
VIGAS	MANUAL	CYPE	MOM.	VIGAS	MANUAL	CYPE	MOM.	VIGAS	MANUAL	CYPE	MOM.
	cm ²	cm ²	kN.m		cm ²	cm ²	kN.m		cm ²	cm ²	kN.m
V-101	3,19	3,2	42,3	V-201	4,28	3,2	55,4	V-301	5,54	4,1	69,9
V-102	2,58	2,6	34,7	V-202	2,49	2,6	33,5	V-302	3,05	3,2	40,6
V-103	1,14	1,44	6,9	V-203	1,14	1,44	5,6	V-303	1,14	1,44	6,5
V-104	1,14	1,44	13,5	V-204	1,14	1,44	15,2	V-304	1,14	1,44	19,4
V-105	4,05	4,1	52,8	V-205	5,35	4,1	67,7	V-305	7,65	5	92,1
V-106	1,14	1,44	15,8	V-206	1,14	1,44	11,9	V-306	1,14	1,64	13,3
V-107	2,16	2,25	29,2	V-207	2,28	2,25	30,8	V-307	2,97	3	39,6
V-108	1,14	1,44	6,8	V-208	1,14	1,44	10,4	V-308	1,14	1,44	13,2
V-109	1,14	1,44	13,3	V-209	1,14	1,44	2,0	V-309	1,14	1,44	2,8
V-110	4,36	4,2	56,5	V-210	6,39	4,75	79,1	V-310	9,78	6	112,9
V-111	1,14	1,44	14,3	V-211	1,14	1,44	10,0	V-311	1,14	1,44	12,6
V-112	1,97	2	26,8	V-212	2,1	2	28,5	V-312	2,75	2,6	36,8
V-113	1,14	1,44	5,5	V-213	1,14	1,44	2,2	V-313	1,14	1,44	2,5
V-114	2,88	3	38,5	V-214	3,7	3,2	48,5	V-314	5,26	4,1	66,8
V-115	1,14	1,44	7,2	V-215	1,14	1,44	4,9	V-315	1,14	1,44	5,6
V-116	1,14	1,44	13,3	V-216	1,14	1,44	14,9	V-316	1,14	1,44	19,0
V-117	1,14	1,89	4,8	V-217	1,14	1,44	0,7	V-317	1,14	0,64	2,5
V-118	4,07	3	52,9	V-218	4,27	3	55,3	V-318	5,55	3,6	70,0
V-119	1,39	1,44	19,1	V-219	1,14	1,44	10,2	V-319	1,14	1,44	10,5
V-120	3,47	3,6	45,7	V-220	2,16	2,25	29,3	V-320	2,73	2,6	36,5
V-121	1,14	1,44	9,0	V-221	1,14	1,44	7,7	V-321	1,14	1,44	8,8
V-122	8,45	6	99,9	V-222	8,35	6	98,9	V-322	13,36	7,6	141,1
V-123	3,99	4,1	52,0	V-223	3,91	4,1	51,1	V-323	5,14	5	65,5
V-124	1,14	1,44	8,8	V-224	1,14	1,44	2,4	V-324	1,14	0,64	1,1
V-125	5	5	63,8	V-225	4,78	4,75	61,3	V-325	8,7	6	102,3
V-126	1,14	0,64	0,8	V-226	1,14	0,64	2,4	V-326	1,14	1,44	5,2
V-127	2,06	2	27,9	V-227	2,06	2	28,0	V-327	2,62	2,6	35,1
V-128	1,14	1,44	2,1	V-228	1,14	0,64	0,5	V-328	1,14	0,64	4,4
V-129	2,97	3	38,8	V-229	2,89	3	38,5	V-329	3,7	3,6	48,5

total	68,55	69,3
-------	-------	------

total	72,11	71,3
-------	-------	------

total	95,9	78,4
-------	------	------

Tabela 2: Área de aço das vigas
Fonte: Autor, 2023

As informações coletadas na Tabela 2 foram transformadas em gráfico, conforme 11, abaixo, apresentando-se de forma resumida o comparativo dos resultados para vigas, onde os valores se mostraram bem próximos para o primeiro pavimento e o segundo pavimento, já para o piso, onde existe o maior carregamento nas vigas, os valores destoaram 18,24%, sendo a maior diferença registrada em todo o projeto.

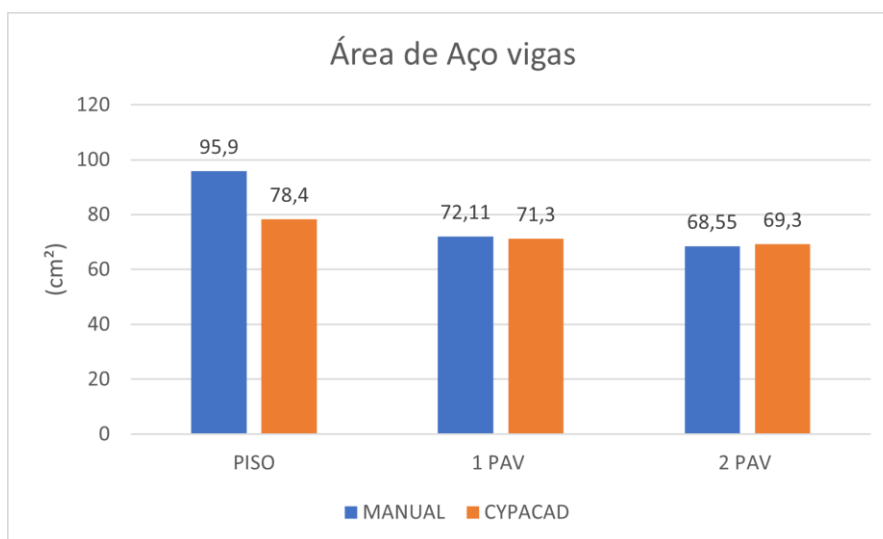


Figura 11: Comparativo área de aço vigas

Fonte: Autor, 2023

6.3 LAJES

A Tabela 3, a seguir, mostra os valores referentes as áreas de aço das lajes.

ÁREAS AÇO (cm²)											
1 PAVIMENTO				2 PAVIMENTO				PISO			
LAJES	MANUAL	CYPE	Fd	LAJES	MANUAL	CYPE	Fd	LAJES	MANUAL	CYPE	Fd
	cm²	cm²	kN/m²		cm²	cm²	kN/m²		cm²	cm²	kN/m²
L-1	5,12	3,87	10,78	L-1	4,89	5	15,68	L-1	3,59	4	12,18
L-2	3,26	2,496	10,78	L-2	2,563	2,688	15,68	L-2	2,479	2,56	12,18
L-3	4,41	2,496	10,78	L-3	3,22	3,2	15,68	L-3	2,5	2,496	12,18
L-4	2,42	2,56	10,78	L-4	2,49	2,56	15,68	L-4	2,54	2,56	12,18
L-5	2,43	2,56	10,78	L-5	1,62	1,6	15,68	L-5	1,58	1,6	12,18
L-6	2,44	2,56	10,78	L-6	2,478	2,56	15,68	L-6	2,52	2,56	12,18
L-7	2,56	2,5	10,78	L-7	3,11	3,2	15,68	L-7	2,69	2,7	12,18
L-8	2,38	2,488	10,78	L-8	2,64	2,777	15,68	L-8	2,56	2,49	12,18
total	25,02	24,3		total	23,011	23,585		total	20,459	20,966	

Tabela 3: Área de aço das lajes

Fonte: Autor, 2023

Com a análise das informações da Tabela 3, que foram convertidas em gráfico, conforme Figura 12, é possível perceber que não houveram diferenças discrepantes entre os métodos de cálculo para as lajes. Isso pode ser explicado pela alta rigidez das lajes, não sofrendo tantas alterações no modelo pórtico espacial, utilizado pelo cypecad.

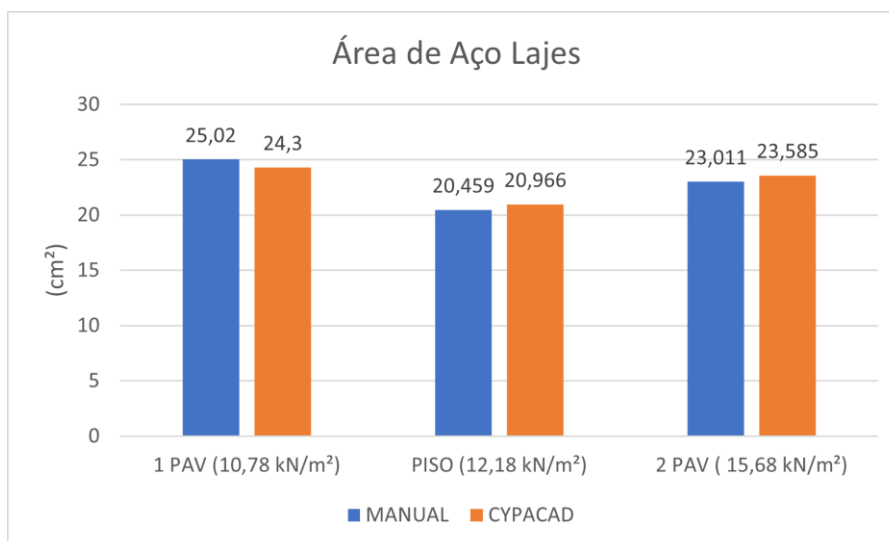


Figura 12: Comparativo área de aço lajes
Fonte: Autor, 2023

Em geral, não houveram diferenças significativas nos dimensionamentos manual e pelo Cypecad, salvo em relação as vigas do piso, que foram as mais solicitadas e os pilares do piso, também mais solicitados. Nesses dois últimos casos, mesmo não havendo diferenças consideráveis, o método manual apresentou resultados um pouco acima do esperado comparado com os resultados do cypecad. Isso mostra que para carregamentos maiores existe uma tendência de que o método manual apresente valores maiores de área de aço para os elementos, comparado com o Cypecad.

Essa diferença pode ser explicada por conta do modelo de análise estrutural realizado pelo cypecad, que leva em conta a estrutura como um pórtico espacial, onde as interações entre os elementos construtivos sofrem mais interação entre si; diferente do método manual que leva em conta os elementos de uma forma isolada. E essas interações do modelo utilizado pelo Cypecad, não ocasionaram aumento da área de aço dos elementos construtivos, e sim uma pequena diminuição, o que dependendo do tamanho da edificação pode ocasionar certa economia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa dos resultados revelou uma concordância notável entre os dois métodos de dimensionamento. As áreas de aço das vigas, pilares e lajes, obtidas pelo dimensionamento manual coincidiram de perto com as áreas calculadas pelo software Cypecad.

Esses resultados se aproximam do trabalho de Otavio (2017) em que os valores do comparativo dos métodos tiveram diferenças irrelevantes. Este resultado positivo sugere que o software utilizado é uma ferramenta robusta e confiável para o dimensionamento de estruturas em concreto armado, oferecendo uma alternativa eficaz ao dimensionamento manual.

No entanto, é importante destacar que a validação contínua e a verificação dos resultados do Cypecad por meio de métodos manuais são de grande importância para assegurar precisão e a confiabilidade em aplicações práticas de engenharia.

Em resumo, podemos concluir que o software Cypecad automatiza e simplifica o processo de cálculo de estruturas de concreto, garantindo que os edifícios projetados sejam seguros e atendam às normas de construção aplicáveis. Ele oferece aos profissionais da área de engenharia e arquitetura uma ferramenta poderosa para economizar tempo, reduzir erros e otimizar projetos de concreto armado. Portanto o software Cypecad é uma ferramenta eficaz para o dimensionamento de estruturas, produzindo resultados consistentes e confiáveis quando comparados com o dimensionamento manual.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M.; Campos, D. **Metodologias de pesquisa em ciências: análises quantitativa e qualitativa**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- OSVALDEMAR, Manuel Henrique Campos Botelho; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado eu ti Amo**. 10. ed. Sao Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2019. BRASILEIRO, A. M. M. **Manual de produção de textos acadêmicos e científicos**. São Paulo: Atlas. 2013.
- CARVALHO, L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: Dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos**. 2012.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118: 2003**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edufscar, 2004. 374p.
- CARVALHO, R., FILHO, J. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014**. (4. ed., Ed.) São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- IPOG. **Conheça 8 softwares para cálculo estrutural que irão otimizar seu trabalho**. 2021. Disponível em: <https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/software-para-calculo-estrutural/>. Acesso em: 09 de fev. de 2023.
- SOARES, E. T. C. **Estudo comparativo entre estruturas de alvenaria estrutural e concreto armado**. Monografia – curso de bacharelado em ciência e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2011. <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis-professional/overview>
- PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.
- .MARCHETTI, Manuel Henrique Campos Botelho Osvaldemar. **Concreto Armado eu ti Amo**. 10. ed. Sao Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- KRIPKA, Moacir. **Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura**. 3. ed. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- SANCHES FILHO, Emil de Souza. **Concreto estrutural: análise, dimensionamento, patologias**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2023

FERRAZ, Nelson Newton. **Guia da construção civil:** do canteiro ao controle de qualidade. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2019.

LEONARD, Fritz; MONNING, Eduard. **Construções de concreto:** princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2018.