

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HEITOR RODRIGUES OLIVEIRA FROIS**

**IGOR BRANDÃO MIRANDA**

**PROJETO DE UM MEZANINO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE  
FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS COMERCIAIS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2021**

**HEITOR RODRIGUES OLIVEIRA FROIS  
IGOR BRANDÃO MIRANDA**

**PROJETO DE UM MEZANINO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE  
FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS COMERCIAIS**

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

**ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO  
Especialista**

**ANÁPOLIS / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

FROIS, HEITOR RODRIGUES OLIVEIRA/ MIRANDA, IGOR BRANDÃO

Projeto de um mezanino em estruturas metálicas com a implementação de ferramentas computacionais comerciais.

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

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Mezanino	2. SAP2000
3. CYPECAD	4. Estruturas metálicas
I. ENC/UNI	II. Bacharel

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FROIS, Heitor Rodrigues Oliveira; MIRANDA, Igor Brandão. Projeto de um mezanino em estruturas metálicas com a implementação de ferramentas computacionais comerciais. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 103p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Heitor Rodrigues Oliveira Frois

Igor Brandão Miranda

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Projeto de um mezanino em estruturas metálicas com a implementação de ferramentas computacionais comerciais.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

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



Heitor Rodrigues Oliveira Frois

E-mail: heitorfrois@hotmail.com



Igor Brandão Miranda

E-mail: igorbrandaomiranda@gmail.com

**HEITOR RODRIGUES OLIVEIRA FROIS**  
**IGOR BRANDÃO MIRANDA**

**PROJETO DE UM MEZANINO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE  
FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS COMERCIAIS**

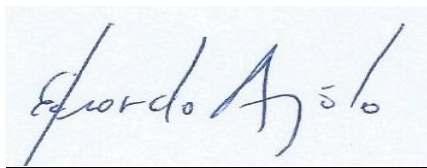
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



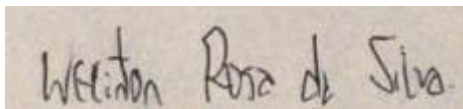
---

**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)**  
**(ORIENTADOR)**



---

**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEVANGÉLICA)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**



---

**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 24 de maio de 2021.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado calma e sabedoria para concluir não só esse trabalho, mas todo o curso de Engenharia Civil.

Agradeço aos meus pais, por serem meus maiores exemplos, estarem sempre ao meu lado me apoiando, e por não medirem esforços para me ajudar a alcançar os meus objetivos.

À minha irmã, por ser a minha melhor amiga e apoio nos momentos difíceis.

À minha namorada, por me apoiar em todos os meus projetos e por ser um exemplo de perseverança e dedicação aos estudos.

Às minhas avós, por serem mulheres fortes e sábias.

Ao meu orientador e amigo, Professor Especialista Aurélio, por ter sido atencioso e paciente.

Aos meus professores por terem transmitido o conhecimento de forma simples e eficaz.

Ao meu colega de TCC e grande amigo, Heitor, por ter batalhado ao meu lado no desenvolvimento desse trabalho e por ter me acompanhado durante todo o período da faculdade.

E por último, à UniEvangélica, por ter proporcionado momentos inesquecíveis de crescimento pessoal e intelectual. (Igor Brandão Miranda)

Foram cinco anos de uma luta diária. Grandes passos foram dados durante esse período, barreiras de comodidade, insegurança e falta de conhecimento foram quebradas. Então, a princípio, agradeço ao meu Deus, por estar sempre presente no decorrer desse ciclo. Ele que deu forças quando me julgava fraco e incapaz. Um Deus que abre portas, faz o impossível acontecer, e que me levantou quando mais precisei.

Em outra oportunidade, agradeço a minha mãe, Aparecida, que sem ela, nada desse sonho seria capaz de se realizar. Uma mulher guerreira, que me ensinou a ser forte, a saber lidar com os empecilhos da vida. Obrigado mãe por todo apoio.

Em seguida agradeço aos meus colegas de faculdade, foram bons momentos em sala de aula vividos até aqui. Agradeço também a todos meus professores pelo conhecimento passado. Em especial meu professor, orientador e amigo, Aurélio, pelo suporte dado para conclusão deste trabalho.

Ainda, agradeço a pessoa do meu amigo e colega deste trabalho, Igor, obrigado pela parceria, pela disposição em dividir o conhecimento e a responsabilidade deste trabalho. Obrigado pelo apoio, pelas gargalhadas na faculdade e pelo suporte nessa etapa. (Heitor Rodrigues Oliveira Frois).

## RESUMO

Este estudo apresenta o dimensionamento de um mezanino metálico nos softwares CYPECAD e SAP2000 e a comparação dos resultados obtidos em ambos. Lançou-se o mezanino no Revit para melhor visualização do mesmo e no AutoCAD para produção das plantas baixas e de locação estrutural. Foram analisados os valores dos esforços exercidos nas vigas, pilares e lajes, assim como o deslocamento dessa última. Os softwares foram configurados de modo a se obter estruturas semelhantes em ambos. Ocorreram incongruências nos valores obtidos nos mesmos, mas, em sua grande maioria, os resultados foram próximos. Para melhor compreensão dos métodos utilizados, foi inserido um breve contexto histórico e conceitos gerais do aço. Além disso, abordou-se brevemente sobre a análise estrutural.

Por fim, verificou-se o esforço cortante total na laje piso com a maior taxa de compatibilidade com 99,61%, isso considerando a análise do peso próprio, sobrecarga e as cargas permanentes. Identificou-se também como a menor taxa de compatibilidade, o momento cortante, com taxa de 76,46% na laje teto. Destaca-se também os pilares centrais da estrutura, sendo eles os quais recebem os maiores esforços normais e cortantes, com coeficiente de aproveitamento de 65,9% para o CYPECAD e 69,3% para o SAP2000.

**Palavras-chave:** CYPECAD, SAP2000, mezanino metálico, análise estrutural, *softwares*, pilar, viga, laje, deformação, esforços, cortante, momento fletor.

## **ABSTRACT**

This study presents the design of a metallic mezzanine in the CYPECAD and SAP2000 software and the comparison of the results obtained in both. The mezzanine was launched in Revit for better visualization and in AutoCAD for the production of floor plans and structural location. The values of the efforts exerted on the beams, columns and slabs were analyzed, as well as the displacement of the latter. The software was configured in order to obtain similar structures in both. There were inconsistencies in the values obtained in them, but, for the most part, the results were close. For a better understanding of the methods used, a brief historical context and general steel concepts were inserted. In addition, the structural analysis was briefly addressed.

Finally, there was a total shear force on the floor slab with the highest compatibility rate with 99.61%, considering the analysis of own weight, overload and permanent loads. It was also identified as the lowest compatibility rate, the cutting moment, with a rate of 76.46% in the ceiling slab. The central pillars of the structure also stand out, being the ones that receive the highest normal and cutting efforts, with a utilization coefficient of 65.9% for CYPECAD and 69.3% for SAP2000.

**Keywords:** CYPECAD, SAP2000, metallic mezzanine, structural analysis, softwares, column, beam, slab, deformation, efforts, cutting, bending moment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - ENIAC: O primeiro computador eletrônico .....	22
Figura 2 - Interface CYPECAD® .....	24
Figura 3 - Interface do SAP2000 no modo análise.....	25
Figura 4 – Fábrica de chocolates de Noisiel-Sur-Marne. ....	26
Figura 5 - Edifício Martinelli durante sua construção.....	27
Figura 6 - Vergalhões de Aço.....	28
Figura 7 - Perfil Laminado em Aço - U.....	29
Figura 8 - Perfil Soldado em Aço - I.....	30
Figura 9 - Tubos de Aço .....	30
Figura 10 - Fios Trefilados .....	31
Figura 11 - Cordoalhas de Aço.....	32
Figura 12 - Parafuso comum .....	33
Figura 13 - Ligação por atrito.....	34
Figura 14 - Soldas de Filete .....	35
Figura 15 - Soldas de Entalhe.....	36
Figura 16 - Diagrama de tensão-deformação de um aço estrutural, em escala deformada. ....	40
Figura 17 - Quatro níveis de abstração.....	41
Figura 18 - Corte transversal da estrutura real de um galpão e seu respectivo modelo estrutural .....	42
Figura 19 - Superposição de soluções básicas no método das forças.....	43
Figura 20 - Representação do mezanino no Revit.....	44
Figura 21 - Planta baixa do piso do mezanino.....	45
Figura 22 - Numeração das paredes. ....	46
Figura 23 - Locação dos pilares, valores em metros (m).....	50
Figura 24 - Nível dos pisos da estrutura no CYPECAD. ....	51
Figura 25 - Associação de máscara do CAD aos pisos da estrutura no CYPECAD.....	51
Figura 26 - Inserção de novos pilares no CYPECAD .....	52
Figura 27 - Série de perfis utilizada nos pilares. ....	53
Figura 28 - Lançamento dos pilares. ....	53
Figura 29 - Representação 3D da estrutura com os pilares já lançados, CYPECAD.....	54
Figura 30 - Série de perfis utilizada nas vigas.....	54
Figura 31 - Lançamento das vigas.....	55



Figura 32 - Representação 3D da estrutura com as vigas já lançadas, CYPECAD. ....	55
Figura 33 - Espessuras mínimas para lajes. ....	56
Figura 34 - Lançamento das lajes. ....	56
Figura 35 - Representação 3D da estrutura com as lajes já lançadas, CYPECAD. ....	57
Figura 36 - Informações sobre as lajes. ....	57
Figura 37 - Lançamento das cargas das paredes de Dry Wall. ....	58
Figura 38 - Opções de liberdades para o software ao dimensionar a estrutura no CYPECAD. .....	59
Figura 39 - Erros apontados pelo CYPECAD. ....	59
Figura 40 - Limites para deslocamentos. ....	60
Figura 41 - Flechas das lajes para a espessura de 7 para a teto e 8 para a piso, no CYPECAD. .....	61
Figura 42 - Flechas das lajes para a espessura de 7 para a teto e 9 para a piso, no CYPECAD. .....	61
Figura 43 - Flechas das lajes para a espessura de 8 para a teto e 9 para a piso, no CYPECAD. .....	62
Figura 44 - Numeração das vigas. ....	63
Figura 45 - Seções das vigas da laje teto (à esquerda) e da laje piso (à direita) após o cálculo do CYPECAD. ....	63
Figura 46 - Reforços de punção nas lajes piso e teto. ....	64
Figura 47 - Plano de configuração para montagem do Grid. ....	65
Figura 48 - Plano 2D e 3D com as coordenadas do Grid. ....	66
Figura 49 - Importação dos perfis I e H. ....	66
Figura 50 - Seleção de perfis dos pilares. ....	67
Figura 51 - Vista dos pilares inseridos. ....	67
Figura 52 - Seleção de perfis das Vigas ....	68
Figura 53 - Plano x-y e vista 3D das vigas lançadas. ....	68
Figura 54 - Plano x-y e vista 3D das lajes inseridas. ....	69
Figura 55 - Configuração do apoio. ....	69
Figura 56 - Inserindo rótulas e apoios. ....	70
Figura 57 - Valores mínimos das cargas verticais. ....	70
Figura 58 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações. ....	71
Figura 59 - Inserindo sobrecarga de ocupação na laje. ....	72
Figura 60 - Inserindo carga da parede 7. ....	72

Figura 61 – Checagem do deslocamento em z. ....	73
Figura 62 - Seção dos perfis pós-análise. ....	74
Figura 63 - Cortante total na laje piso causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	84
Figura 64 - Cortante total na laje teto causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	84
Figura 65 - Momento fletor na laje piso causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP, respectivamente. ....	85
Figura 66 - Momento fletor na laje teto causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	85
Figura 67 - Deformação na laje piso causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	86
Figura 68 - Deslocamento na laje teto causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	86
Figura 69 - Cortante total na laje piso causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	87
Figura 70 - Cortante total na laje teto gerado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	88
Figura 71 - Momento fletor na laje piso causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	89
Figura 72 - Momento fletor na laje teto gerado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	89
Figura 73 - Deformação na laje piso causada pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	90
Figura 74 - Deslocamento máximo na laje teto causa pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	91
Figura 75 - Cortante total na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	92
Figura 76 - Cortante total na laje teto gerada pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	92
Figura 77 - Momento fletor na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	93
Figura 78 - Momento total na laje teto gerado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	93

Figura 79 - Deslocamento na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	94
Figura 80 - Deslocamento máximo gerado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	94
Figura 81 - Cortante total na laje piso causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	95
Figura 82 - Cortante Total na laje teto pela ação das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	96
Figura 83 - Momento fletor na laje piso causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	97
Figura 84 - Momento Fletor total na laje teto pela ação das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	97
Figura 85 - Deslocamento na laje piso em z causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	98
Figura 86 - Deslocamento em z na laje teto pelas ações das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete.....	35
Quadro 2 - Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial .....	36
Quadro 3 - Teor de carbono.....	37
Quadro 4 - Resistência de alguns tipos de aço-carbono .....	38
Quadro 5 - Resistência de alguns tipos de aços de baixa-liga.....	38
Quadro 6 - Materiais utilizados. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cargas aplicadas nas paredes. ....	47
Tabela 2 - Cargas aplicadas nas janelas.....	48
Tabela 3 - Cargas aplicadas nas portas.....	49
Tabela 4 - Seções dos pilares no CYPECAD e SAP2000.....	75
Tabela 5 - Seções das vigas (piso) no CYPECAD e SAP2000.....	75
Tabela 6 - Seções das vigas (teto) no CYPECAD e SAP2000.....	76
Tabela 7 - Esforços pilar 1 no CYPECAD e no SAP2000.....	76
Tabela 8 - Esforços pilar 2 no CYPECAD e no SAP2000.....	77
Tabela 9 - Esforços pilar 3 no CYPECAD e no SAP2000.....	77
Tabela 10 - Esforços pilar 4 no CYPECAD e no SAP2000.....	78
Tabela 11 - Esforços pilar 5 no CYPECAD e no SAP2000.....	78
Tabela 12 - Esforços pilar 6 no CYPECAD e no SAP2000.....	79
Tabela 13 - Esforços na viga 1 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	79
Tabela 14 - Esforços na viga 2 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	80
Tabela 15 - Esforços na viga 3 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	80
Tabela 16 - Esforços na viga 4 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	80
Tabela 17 - Esforços na viga 5 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	80
Tabela 18 - Esforços na viga 6 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000. ....	81
Tabela 19 - Esforços na viga 1 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	81
Tabela 20 - Esforços na viga 2 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	81
Tabela 21 - Esforços na viga 3 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	82
Tabela 22 - Esforços na viga 4 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	82
Tabela 23 - Esforços na viga 5 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	82
Tabela 24 - Esforços na viga 6 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000. ....	82
Tabela 25 - Cortante total nas lajes causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.....	83
Tabela 26 - Momento fletor nas lajes causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.....	85
Tabela 27 - Deformação nas lajes causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	86
Tabela 28 - Cortante total nas lajes causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.....	87

Tabela 29 - Momento fletor nas lajes causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	88
Tabela 30 - Deformação nas lajes causada pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	90
Tabela 31 - Cortante total nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	91
Tabela 32 - Momento fletor nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	93
Tabela 33 - Deslocamento nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	94
Tabela 34 - Cortante total nas lajes causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	95
Tabela 35 - Momento fletor nas lajes causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	96
Tabela 36 - Deslocamento nas lajes em z causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente. ....	98
Tabela 37 - Taxas de compatibilidade entre os softwares .....	101

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EUA	Estados Unidos da América
NBR	Norma Brasileira
MPa	Unidade padrão de pressão e tensão no SI
SI	Sistema Internacional de Unidades
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
ASTM	American Society for Testing and Materials
$f_y$	Limite de escoamento
$f_u$	Resistencia à ruptura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	19
1.2 OBJETIVOS .....	20
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
1.3 METODOLOGIA .....	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>2 SOFTWARES .....</b>	<b>22</b>
2.1 HISTÓRICO .....	22
2.2 CYPECAD® .....	23
2.3 SAP2000 .....	24
<b>3 O AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>26</b>
3.1 HISTÓRICO .....	26
3.2 DEFINIÇÃO .....	28
3.3 PRODUTOS SIDERÚRGICOS EM AÇO .....	28
<b>3.3.1 Barras .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2 Chapas .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3 Perfis Laminados.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.4 Perfis Soldados e Compostos .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.5 Tubos .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.6 Fios Trefilados .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.7 Cordoalhas .....</b>	<b>31</b>
3.4 TIPOS DE LIGAÇÕES .....	32
<b>3.4.1 Ligações Parafusadas .....</b>	<b>32</b>
3.4.1.1 Parafusos Comuns.....	33
3.4.1.2 Parafusos de Alta Resistência .....	33
<b>3.4.2 Ligações Soldadas.....</b>	<b>34</b>
3.4.2.1 Soldas Filete.....	34
3.4.1.1 Soldas de Entalhe .....	35
3.5 TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS.....	36
<b>3.5.1 Aços Carbono.....</b>	<b>37</b>



<b>3.5.2</b>	<b>Aços de Baixa Liga</b> .....	<b>38</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Aços Ligados Tratados Termicamente</b> .....	<b>39</b>
3.6	SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM AÇO .....	39
3.6	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO .....	39
<b>3.6.1</b>	<b>Diagrama Tensão-Deformação</b> .....	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ESTRUTURAL</b> .....	<b>41</b>
4.1	HISTÓRICO .....	41
4.2	DEFINIÇÃO .....	41
<b>4.2.1</b>	<b>Níveis de Abstração da Análise Estrutural</b> .....	<b>41</b>
4.2.1.1	Primeiro Nível: Estrutura Real.....	41
4.2.1.2	Segundo Nível: Modelo Estrutural .....	42
4.2.1.3	Terceiro Nível: Modelo Discreto .....	42
4.2.1.3	Quarto Nível: Modelo Computacional .....	43
<b>5</b>	<b>PRÉ-DIMENSIONAMENTO</b> .....	<b>44</b>
5.1	CARGAS ATUANTES .....	44
<b>5.1.1</b>	<b>Cargas das Paredes</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Cargas das Janelas e Portas</b> .....	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO NO CYPECAD</b> .....	<b>50</b>
6.1	LANÇAMENTO DOS PILARES .....	50
6.2	LANÇAMENTO DAS VIGAS.....	54
6.3	INSERÇÃO DAS LAJES .....	55
6.4	LANÇAMENTO DAS CARGAS .....	57
6.5	CÁLCULO ESTRUTURAL NO CYPECAD .....	58
<b>6.5.1</b>	<b>Erros nas Lajes</b> .....	<b>59</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Adoção de novas seções</b> .....	<b>62</b>
<b>6.5.3</b>	<b>Seções com reforço por punção ou cortante</b> .....	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO NO SAP2000</b> .....	<b>65</b>
7.1	CRIAÇÃO DOS GRIDS .....	65
7.2	LANÇAMENTO DOS PILARES .....	66
7.3	LANÇAMENTO DAS VIGAS.....	68
7.4	INSERÇÃO DAS LAJES .....	68
7.5	CONDIÇÕES DE APOIO .....	69

7.6	LANÇAMENTO DAS CARGAS .....	70
7.7	CÁLCULO ESTRUTURAL NO SAP2000.....	72
<b>7.7.1</b>	<b>Lajes.....</b>	<b>73</b>
<b>7.7.2</b>	<b>Adoção de novas seções.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>75</b>
8.1	PILARES E VIGAS .....	75
<b>8.1.1</b>	<b>Seções dos Perfis .....</b>	<b>75</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Análise Estrutural .....</b>	<b>76</b>
8.1.2.1	Pilares.....	76
8.1.2.2	Vigas .....	79
8.1.2.2.1	<i>Grupo 2 (Piso)</i> .....	79
8.1.2.2.1	<i>Grupo 3 (Teto)</i> .....	81
8.2	LAJES .....	83
<b>8.2.1</b>	<b>Peso Próprio .....</b>	<b>83</b>
8.2.1.1	Cortante Total .....	83
8.2.1.2	Momento Fletor .....	85
8.2.1.3	Deslocamento em z .....	86
<b>8.2.2</b>	<b>Cargas Permanentes.....</b>	<b>87</b>
8.2.2.1	Cortante Total .....	87
8.2.2.2	Momento Fletor .....	88
8.2.2.3	Deslocamento em z .....	90
<b>8.2.3</b>	<b>Sobrecarga .....</b>	<b>91</b>
8.2.3.1	Cortante Total .....	91
8.2.3.2	Momento Fletor .....	93
8.2.3.3	Deslocamento em z .....	94
<b>8.2.4</b>	<b>Combinação .....</b>	<b>95</b>
8.2.4.1	Cortante Total .....	95
8.2.4.2	Momento Fletor .....	96
8.2.4.3	Deslocamento em z .....	97
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>100</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do século XVIII, com o advento da revolução industrial, o uso do aço na construção civil cresceu substancialmente. Discorrendo sobre a análise estrutural, Neto (2018) diz que essa, “é, atualmente, uma tarefa muito mais simples se comparada há alguns anos, em razão da inserção de softwares na engenharia. Com a utilização de pacotes computacionais específicos, o projetista usa seu tempo com maior eficiência.” No início da utilização de elementos computacionais na construção civil, engenheiros e arquitetos mais ortodoxos duvidavam da real capacidade dos mesmos, porém, com o tempo, ficou inevitável a adoção dessas ferramentas, visto que anteriormente, os cálculos para dimensionamento de estruturas tomavam várias páginas e, conseqüentemente, muito tempo. Para Sebastião (2019) “Estes softwares permitem ao engenheiro utilizar uma ferramenta que lhe facilita, tanto a produtividade dos seus projetos, como também, uma análise mais aprimorada das diversas estruturas com que muitas das vezes têm de lidar.”.

Segundo ARAÚJO (2019) “o uso de estruturas metálicas proporciona projetos mais bem elaborados, com maiores possibilidades arquitetônicas, devido ao grande potencial que oferecem em relação a desenho e arrojo arquitetônico.” Sabe-se que na atualidade é predominante a utilização de estruturas metálicas, logo, evidencia-se os benefícios do uso de softwares para o correto dimensionamento de edificações que utilizam esse tipo de sustentação. Com o aumento populacional nas grandes cidades, a construção de edifícios cada vez mais altos se tornou uma exigência do mercado. Os cálculos que antes já eram complicados, demorariam anos para serem concluídos se feitos manualmente.

Para Ferraz (2018) “O profissional de engenharia tem a necessidade de otimizar seu tempo ao realizar seus projetos, pois atualmente é uma realidade do engenheiro trabalhar com prazos”. Com a demanda por praticidade na construção civil sendo cada vez maior, o uso de elementos que aumentassem a velocidade de projeto e execução dos elementos estruturais se tornaram indispensáveis. Porém, mesmo com a elevada capacidade atual dos softwares de estruturas e projetos, a capacidade individual do projetista é essencial para trabalho bem sucedido. São muitos os softwares disponíveis no mercado, entre eles: FTOOL, VISUAL METAL, AUTOMETAL, METÁLICAS 3D, SAP e CYPECAD®.

Especialmente no caso apresentado neste trabalho, será dimensionado um mezanino com o auxílio de dois programas computacionais, o CYPECAD® e o SAP2000, estes foram

escolhidos com base, principalmente, na sua popularidade. Como dito anteriormente, são inúmeras as ferramentas computacionais disponíveis nessa área, porém, os dois são mais difundidos e acessíveis. Posteriormente, será feita uma análise dos resultados obtidos tanto no CYPECAD® quanto no SAP2000, e diante disso, possíveis incongruências entre os resultados poderão existir, sendo evidenciados os consequentes impactos que podem vir a ser causados pelas mesmas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O profissional de engenharia, desde os primórdios da profissão, é voltado à resolução de problemas. Nos séculos XX e XXI, com o surgimento da informática, esses profissionais ganharam aliados para a resolução destes infortúnios. Porém, para se sustentar no mercado, esses precisam dominar as ferramentas computacionais hoje presentes, entre elas o CYPECAD® e o SAP2000.

O aço está entre os materiais mais utilizados na construção civil, enquanto os softwares revolucionaram a forma como a engenharia é exercida. Logo, o conhecimento de ambos se mostra necessário, desde as partes mais básicas, como formas de aplicação, até possíveis incongruências que possam ocorrer ao se dimensionar estruturas metálicas em softwares diferentes. É de suma importância para o projetista que este saiba identificar quando estas anomalias acontecerem, atuando com tempestividade para corrigi-las, evitando possíveis danos futuros.

Para atingir uma maior viabilidade econômica em obras de engenharia civil são necessárias pesquisas que possibilitem um maior conhecimento do dimensionamento de estruturas, sempre em busca de um maior custo-benefício. Logo, é importante a existência de estudos que versem sobre a parte de sustentação das obras deste ramo. Um fator vital para o aprimoramento da análise estrutural é o constante avanço nos ramos de informática, fazendo com que aquela deva estar, também, em contínuo desenvolvimento, podendo utilizar da melhor forma as ferramentas à sua disposição, como hardwares e softwares. (HIGAKI, 2014)

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Apresentar uma proposta de projeto de um mezanino em estruturas metálicas com a utilização de ferramentas computacionais de dimensionamento e análise estrutural como CYPECAD® e SAP 2000.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os métodos de cálculo analítico de estruturas;
- Apresentar um breve histórico sobre a utilização do aço como material construtivo em engenharia civil;
- Apresentar os parâmetros de projeto em estruturas metálicas;
- Apresentar a utilização das ferramentas usuais comerciais para análise de estruturas e projetos;
- Analisar a variabilidade dos resultados obtidos na modelagem computacional do mezanino tais como deslocamentos, momentos e cortantes.

## 1.3 METODOLOGIA

Esse trabalho se apresenta por meio de uma modelagem computacional de um mezanino com pé direito de 3m. A área do mesmo é de 33,5 m<sup>2</sup>, tendo dimensões retangulares de 5 m x 6,7 m. Sendo dimensionado em estruturas metálicas, considerando a análise estrutural da edificação e o dimensionamento da mesma com a utilização de ferramentas computacionais comerciais como o CYPECAD® e o SAP 2000.

Neste projeto, serão consideradas cargas adicionais e de segurança, como as cargas das paredes, portas e janelas. Além disso, esta estrutura será utilizada, em tese, para o funcionamento de um escritório de venda de mercadorias. Serão utilizados perfis laminados em I para as vigas e H para os pilares e todas as ligações serão do tipo rotulada.

Com o auxílio do SAP 2000 apresenta-se a análise estrutural da edificação com os deslocamentos existentes pelas suas características geométricas e mecânicas. Com o auxílio do CYPECAD® o projeto estrutural do mezanino é desenvolvido com a apresentação dos

elementos estruturais em aço adotados e ligações parafusadas e soldadas propícias na expectativa de obter melhores valores de resistência e desempenho estrutural.

Ao final do trabalho, apresenta-se os resultados obtidos e as vantagens da modelagem computacional adotada, além de possíveis incongruências entre os resultados dos dois softwares.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho possui sete capítulos. Primeiramente será feita uma introdução do que será abordado, assim como os objetivos e a justificativa desse estudo.

Em seguida, no segundo capítulo, haverá uma explicação dos softwares que serão utilizados nesta análise, o CYPECAD® e o SAP2000, com um histórico e definição destes.

O terceiro capítulo terá o aço como assunto principal, definindo-o e apresentando os diversos tipos e aplicações deste.

O quarto capítulo tratará sobre a análise estrutural, sendo mostrado um histórico, definição e uma explicação sobre os níveis de abstração desta.

No quinto capítulo, um pré-dimensionamento será realizado, calculando-se as cargas geradas pelo *Dry Wall* e pelas janelas e portas.

No sexto capítulo o mezanino será dimensionado no CYPECAD e no sétimo capítulo no SAP2000.

No oitavo capítulo, os resultados obtidos no dimensionamento realizado no capítulo cinco serão comparados e possíveis incongruências serão evidenciadas.

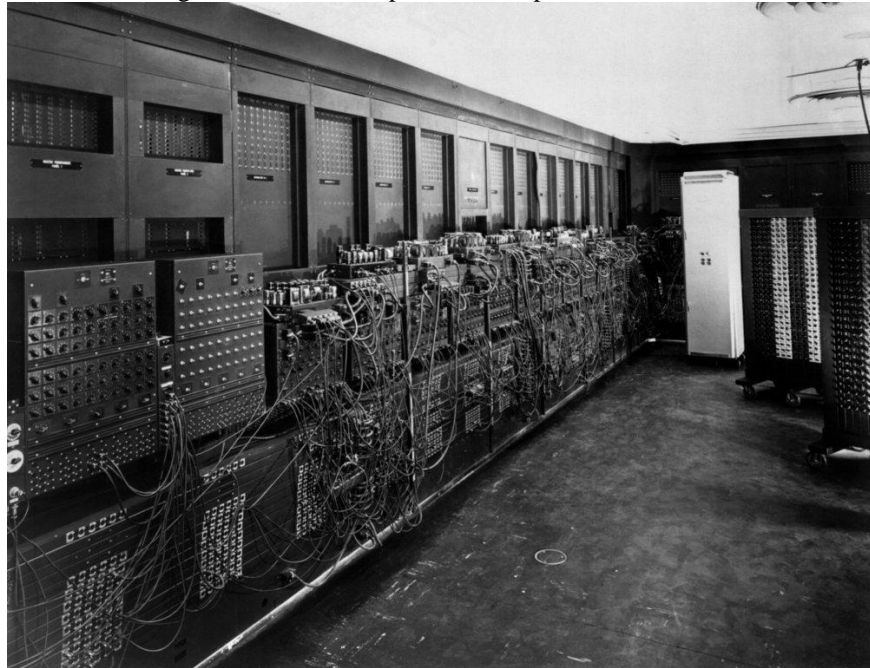
No sétimo capítulo estarão presentes as considerações finais do trabalho, evidenciando as principais ideias advindas da pesquisa exposta neste artigo.

## 2 SOFTWARES

### 2.1 HISTÓRICO

As ideias fundamentais da computação datam de mais de sete mil anos atrás, com o início da lógica matemática. Os primeiros “computadores” na realidade eram calculadoras especializadas na resolução de determinados cálculos, sendo bastante limitados. Na segunda guerra mundial, ocorreu um substancial evolução dos hardwares até então existentes. Tendo o primeiro computador eletrônico, o ENIAC (*Electronic numeric integrator and computer*), surgido logo após o pós-guerra em 1945. (FONSECA, 2007)

Figura 1 - ENIAC: O primeiro computador eletrônico



Fonte: Universidade da Pensilvânia, 1946.

Nesse contexto, a engenharia precisava apresentar novos caminhos, mais rápidos e seguros, para acompanhar o avanço da tecnologia global. Desde 1960, o computador vem sendo utilizado na análise estrutural, sendo no começo, em sua grande maioria, em universidades e centros de pesquisa. Com o passar do tempo, o uso do mesmo foi se universalizando, sendo que nos anos 80 e 90, com a criação dos programas gráficos interativos, o computador passou a ser utilizado rotineiramente nos escritórios de cálculo estrutural e empresas de consultoria. (MARTHA,2010)

Dentro do contexto anteriormente citado, nasceu o CYPECAD®, criado pela CYPE, uma empresa com mais de 35 anos de história, que iniciou seus projetos com softwares

dedicados a patologia e estruturas. Desde sua criação, este é um dos líderes do ramo de softwares para desenvolvimento estrutural.

O SAP, por sua vez, foi criado pelo Professor Edward L. Wilson da Universidade da Califórnia, tendo em 1972 sua primeira versão. A sigla SAP é a abreviação de Structural Analysis Program. Desde sua criação, o programa vem evoluindo com criação de novas funcionalidades para análise dinâmica e avanço nos recursos gráficos.

## 2.2 CYPECAD®

É um software voltado para dimensionamento e detalhamento de estrutura de madeiras, concreto armado e estruturas metálicas. Possui um amplo menu, que proporciona ao projetista recursos como, locação e detalhamento de pilares e vigas, lançamento de escadas e lajes.

O CYPECAD® apresenta um menu intuitivo, dando eficácia em seu manuseio. A inserção de dados no programa se dá sempre que desejável ao programador. Logo após a introdução das informações necessárias o programa efetua os cálculos.

Para melhor fluidez do programa e eficácia na introdução de uma estrutura, é importante ter elaborado uma prévia do projeto a ser dimensionado. Contendo informações organizadas de forma ordenada.

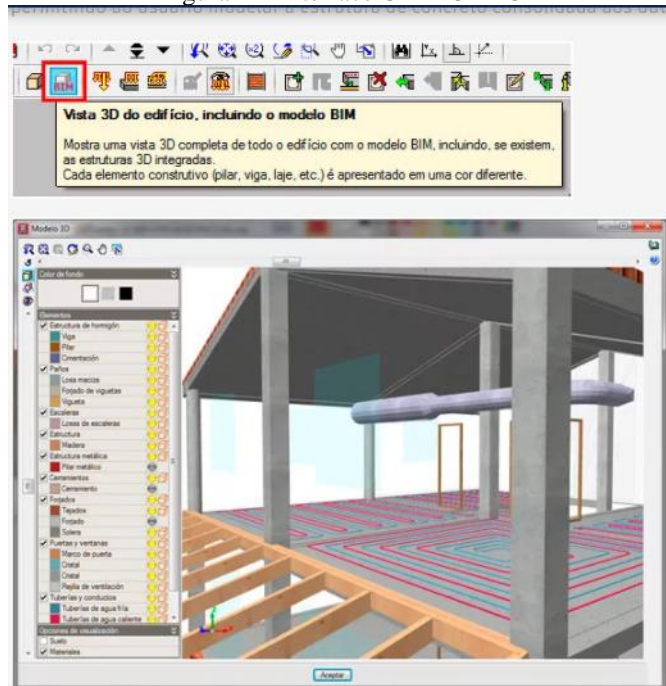
O Manual do utilizador (2017) mostra um esquema de introdução de informações e resolução de estruturas.

- Dados gerais: informar norma que atende o projeto a ser dimensionado, ações atuantes na estrutura e matérias a serem utilizados.
- Definição de pisos: estabelecer características dos pisos contidos na estrutura, tipos de revestimento e sobrecargas no piso.
- Introdução de pilares, paredes e arranques: mostrar vãos pré-estabelecidos, locação de e geometria dos pilares, posicionamento das paredes.
- Introdução de vigas: indicar o posicionamento de vigas responsáveis por receber cargas das lajes.
- Introdução de lajes e fundação: estabelecer o tipo de laje e determinar uma fundação que atenda as normas e as necessidades da obra.
- Colocação de cargas especiais: deve-se atribuir cargas que até então não foram consideradas anteriormente, como as cargas variáveis e excepcionais.



Após a inserção de todos os dados necessários, o programa inicia o cálculo da estrutura. Com esses resultados obtidos, o programa fornece a análise feita em toda estrutura e apresenta onde ocorrem erros. O software implica a alteração de dimensões sempre que houver erro de dimensionamento.

Figura 2 - Interface CYPECAD®



Fonte: Multiplus, 2020.

### 2.3 SAP2000

O SAP2000 atualmente, vem sendo aprimorado pela empresa CSI *Computers and Structures*. O programa é composto por um sistema versátil e campo de interação intuitivo, que proporciona ao projetista um campo de análise estrutural único.

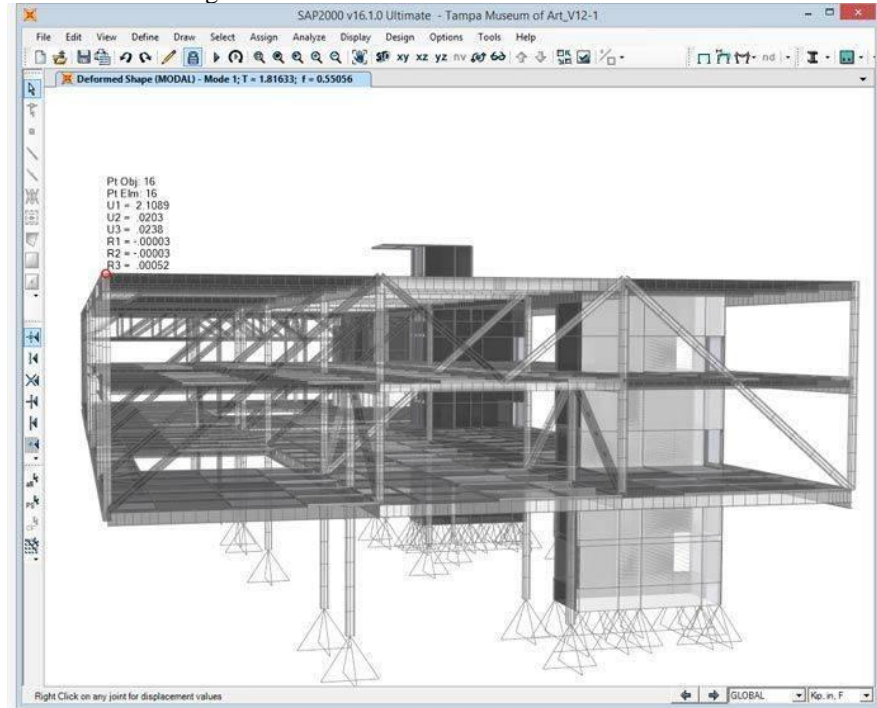
Devido sua multifuncionalidade, modelos estruturais complexos podem ser elaborados e dimensionados com segurança nos resultados. O sistema permite a criação dos mais diversos tipos de estrutura linear e não-linear, abrangendo os modelos mais abstrusos com estruturas complexas, desde uma estrutura simples 2D.

A área de interação do software possui recursos para criação de projetos, onde são gerados automaticamente esforços atuantes e cargas variáveis e permanentes, oferecendo uma análise automática de dimensionamento em estrutura de aço e concreto.

A interface do SAP2000 contém avançados métodos analíticos capazes de realizar análises de flambagem, análises de cargas não-lineares estáticas e dinâmicas, controle de tração, isoladores de base, análise não-linear 3D e análise de modificações na estrutura. Suas

verificações automáticas são baseadas em normas dos EUA e outros padrões internacionais estabelecidos em cada país.

Figura 3 - Interface do SAP2000 no modo análise.



Fonte: Multiplus, 2020.

### 3 O AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

#### 3.1 HISTÓRICO

Durante a revolução industrial, o interesse por edifícios maiores e espaços mais bem aproveitados cresceu substancialmente. Com a evolução dos métodos de exploração e produção do ferro, essas ambições, que antes eram sonhos distantes, se tornaram mais palpáveis. Em 1872, o primeiro edifício de andares múltiplos foi construído, tratava-se da fábrica de chocolates de Noisiel-Sur-Marne. As ideias empregadas em sua construção eram consideradas inovadoras para a época, como laterais apoiadas sobre vigas de balanço e estabilidade lateral, garantida por sistema de contraventamento. (COELHO, 2004)

Figura 4 – Fábrica de chocolates de Noisiel-Sur-Marne.



Fonte: Nelly, 2016.

Segundo Coelho (2004) “Estas primeiras construções em ferro foram impulsionadas por diversos avanços tecnológicos, dentre eles a invenção do elevador que proporcionou o crescimento vertical dos edifícios e surgimento dos primeiros arranha-céus.”. Naves pontua um importante avanço, o elevador, que retirou a dificuldade de mobilidade através de escadas. (COELHO, 2004)

O século XX ficou marcado, também, pela constante melhora das técnicas de dimensionamento e execução das estruturas. A planta livre, por exemplo, idealizada pela escola de Chicago, se tornou possível por conta da utilização do esqueleto estrutural em aço. Este método e, também, a parede cortina e o esqueleto estrutural, propiciaram construções mais leves e com vãos maiores, logo com espaços mais amplos.

No Brasil, as primeiras fundições datam da chegada de Dom João VI ao país. Porém, esse material era utilizado, em grande parte, na construção de ferrovias. Somente no início da

segunda década do século XX que edifícios com estruturas metálicas começaram a ser construídos em terras tupiniquins. Um fator preponderante para a chegada dessa técnica ao país foram os acordos comerciais entre Brasil e Inglaterra, porém com o advento da Primeira Guerra Mundial, o acesso a todos os elementos necessários para essas construções ficou limitado, postergando um pouco essa verticalização. Contudo, a criação da siderúrgica Belgo Mineira, na década de 20, com sua produção de gusa, facilitou o acesso a peças feitas de aço, porém, essa ainda se limitava em fabricar perfis leves. (COELHO, 2004)

Essa evolução levou à construção de diversos arranha-céus, dos quais vale ressaltar o edifício Martinelli, marco de engenharia e arquitetura da capital Paulista. Tal edifício tinha a pretensão de se tornar o edifício mais alto da América latina, foi inaugurado ainda inacabado com 12 andares, porém viria a ter 30 andares no término oficial da obra. O prédio foi feito em concreto armado e para a execução de seus cálculos estruturais foi necessária a importação de uma máquina de calcular Mercedes, da Alemanha.

Figura 5 - Edifício Martinelli durante sua construção.



Fonte: Estadão, 1920.

Na década de 50, a indústria siderúrgica se consolidou permanentemente no Brasil, com isso as importações de elementos derivados do ferro diminuíram consideravelmente, facilitando a utilização dos mesmos na construção civil. Desde então, os edifícios em estruturas

metálicas cresceram exponencialmente no país. Atualmente, é difícil imaginar uma construção com múltiplos andares sem a utilização do aço como um dos principais materiais utilizados. (COELHO, 2004)

### 3.2 DEFINIÇÃO

Segundo Chiaverini (2012) “O aço pode ser definido como uma liga de Ferro-Carbono, contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos secundários, presentes devido aos processos de fabricação”. O aço é conhecido por possuir boa ductibilidade, durabilidade e condutividade térmica. Além disso, o carbono, presente nesse material, faz com que o aço possua, também, uma considerável resistência mecânica.



Fonte: Grupo Aço Cearense, 2020

### 3.3 PRODUTOS SIDERÚRGICOS EM AÇO

Os produtos siderúrgicos em aço são aqueles projetados para suportar determinadas cargas, sendo feitos, geralmente, de chapas, barras, perfis laminados, fios trefilados, cordoalhas e cabos feitos de aço. Estes se subdividem em diversos tipos, os quais serão detalhados a frente.

#### 3.3.1 Barras

Produto caracterizado por ter duas dimensões bem maiores que uma terceira.

### 3.3.2 Chapas

Produto característico por ter a espessura bem menor que suas demais dimensões.

### 3.3.3 Perfis Laminados

Padrão americano ou abas paralelas: estas peças são obtidas dos laminadores das siderúrgicas e estão presentes no mercado nas formas de H, I, L e U. O padrão americano é característico por ter um maior fator peso/inércia quando comparado aos perfis com abas paralelas. Ambos possuem ligações complicadas que exigem calços e arruelas especiais. Importante ressaltar que os perfis laminados são obtidos através de um processo de fabricação a quente nas siderúrgicas, e por dispensarem a fabricação artesanal dos perfis soldados, possuem menor custo. No Brasil, a designação desses perfis se subdivide em duas séries, W e HP. Esta classificação, por sua vez, é feita da seguinte forma, série, altura e massa por unidade de comprimento. (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012)

Figura 7 - Perfil Laminado em Aço - U



Fonte: Grupo Aço Cearense, 2020.

### 3.3.4 Perfis Soldados e Compostos

Tem na soldagem a técnica para sua obtenção, a qual é mais onerosa que a laminação, fazendo com que esse perfil seja mais caro que os perfis laminados.

Para Dias (2002) perfis soldados estruturais são aqueles obtidos através do corte e soldagem das placas de aço, ainda assim permitindo a produção de diferentes seções e formas. O autor ainda afirma que o perfil soldado é projetado e executado de acordo com sua fabricação, sendo ela artesanal ou também a produção industrializada, de acordo com a NBR-5884.

Os perfis soldados são formados pela união de chapas ou perfis laminados simples, devido ao processo de solda. Já os perfis compostos são caracterizados pela união de um perfil laminado junto à um perfil soldado. (PFEIL e PFEIL, 2012)

Figura 8 - Perfil Soldado em Aço - I



Fonte: Compração – Distribuidora de aço, 2020.

### 3.3.5 Tubos

Outro formato estrutural que vale a pena destacar são os tubos de aço-carbono, formados a frio que possuem seção quadrada, retangular ou circular. A ABNT NBR 8261: 2019 – TUBOS DE AÇO-CARBONO, COM E SEM SOLDA, DE SEÇÃO CIRCULAR, QUADRADA OU RETANGULAR PARA USOS ESTRUTURAIS, regulamenta o fornecimento desses materiais para fins estruturais em graus A, B ou C, estes, por sua vez, possuem diferenças quanto a composição química, processos de produção e propriedades mecânicas. Logo esses elementos podem ter grande valor em determinadas situações na construção civil.

Figura 9 - Tubos de Aço



Fonte: Tubos Oliveira, 2020.

### 3.3.6 Fios trefilados

Produzidos por trefilação, são fabricados em aço doce e aço de alto carbono. Este último é muito utilizado em molas, cabos de protensão e estruturas.

Figura 10 - Fios Trefilados



Fonte: Aço RAG - Trefilação, 2020.

### 3.3.7 Cordoalhas

São formadas por três ou sete fios de aço de mesmo diâmetro nominal, trefilados juntos em forma helicoidal, que podem ter ou não revestimento. A ABNT NBR 7483: 2020 – CORDOALHAS DE AÇO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO, aprovou a produção de cordoalhas de aço com um limite máximo de resistência à tração de 240 kgf/mm<sup>2</sup> e baixa relaxação. Outra inovação da atualização da norma veio com a normatização das cordoalhas engraxadas, não aderentes ou plasticadas, a versão de 2008 não previa especificações técnicas para as mesmas.



Figura 11 - Cordoalhas de Aço.



Fonte: Intelli, 2020.

A aplicação das cordoalhas engraxadas é, em muitas situações, em lajes e vigas protendidas, em prédios comerciais, residenciais e, também, em hotéis. Enquanto as cordoalhas nuas tem maior presença em pontes, viadutos e outras obras de maior porte. (ORTEGA, 2017)

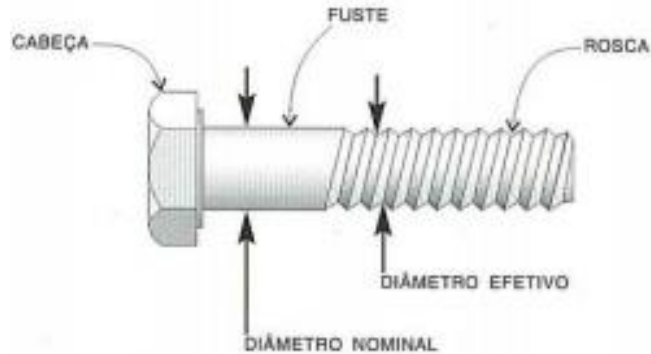
### 3.4 TIPOS DE LIGAÇÕES

É comum a necessidade de conectar peças durante a execução de um serviço, afinal, todo projeto estrutural pode contém limitações ou necessidades a serem atingidas. As ligações podem ser feitas por parafusamento ou soldagem. E que esses tipos de conexões devem seguir as orientações de projeto. Deve ser levando em consideração parâmetros como: comportamento da ligação, processo de montagem, equipamentos, etc. (DIAS, 2002)

#### 3.4.1 Ligações Parafusadas

Para Dias (2002), um parafuso é composto em três partes: cabeça, rosca e fuste, como mostra a Figura 12. Sua resistência é dada pela função, a área efetiva sob a área da seção transversal atuante na rosca. Sendo aproximadamente 75% da área nominal.

Figura 12 - Parafuso comum



Fonte: Dias, 2002.

#### 3.4.1.1 Parafusos Comuns

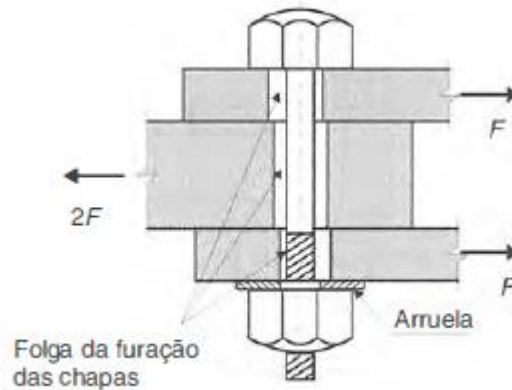
Os parafusos comuns são fabricados em aço-carbono de baixo teor de carbono, conforme a especificação da ASTM A-307. A instalação desses parafusos é de forma manual através do aperto. Devido esse tipo de aperto, pode-se ocasionar a movimentação dos elementos, assim não podendo chegar a um valor mínimo para garantia de cálculo. (DIAS, 2002).

#### 3.4.1.2 Parafusos de Alta Resistência

Pfeil e Pfeil (2012), os parafusos de alta resistência são forjados em aços tratados termicamente. Sendo frequentemente fabricado conforme a ASTM A-325 de aço-carbono temperado. Em ocasiões onde é necessário inibir todos movimentos das chapas de ligação, ao dimensionar os parafusos. É importante considerar um limite de segurança contra o deslizamento, de modo que ocorra a ligação por atrito.

A Figura 13 ilustra o funcionamento da ligação por atrito, onde o parafuso é submetido a tração e os esforços nas chapas devido o atrito entre si.

Figura 13 - Ligação por atrito



Fonte: Pfeil, Pfeil, 2012

### 3.4.2 Ligações Soldadas

São aquelas obtidas através do processo de solda, que consiste na união de duas ou mais partes de uma estrutura. Essa é conhecida por manter a continuidade do material e consequentemente as características inerentes a ele. Estas ligações são caracterizadas por terem uma maior economia de material, costumam ser mais rígidas devido ao fato de os elementos estarem ligados diretamente entre eles, possui maior flexibilidade de correção de possíveis erros que venham a acontecer durante o processo de montagem. Por outro lado, as mesmas necessitam de grande quantidade de energia elétrica, limitando os lugares que podem ser aplicadas, além do maior tempo para a montagem das peças. Segundo Vasconcelos (2014) “Os principais tipos de cordões de solda utilizados nas ligações são os de filete e os de entalhe de penetração total ou parcial”. (VASCONCELOS, 2014)

#### 3.4.2.1 Soldas Filete

Como o próprio nome já diz, são aquelas que utilizam os cordões de solda de tipo filete. Segundo a ABNT NBR 8800:2008 – PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS o tamanho máximo da perna de uma solda de filete quando utilizada em bordas de partes soldadas varia em duas ocasiões diferentes, não podendo ser superior a espessura do material quando utilizada em materiais com bordas de até 6,35mm. Em caso de materiais com espessura superior a 6,35 mm, a perna deve ser menor que a espessura do material utilizado subtraído de 1,5 mm, exceto nos

casos em que a ligação soldada já é dimensionada como sendo reforçada, para seguir a demanda de espessura total da garganta.

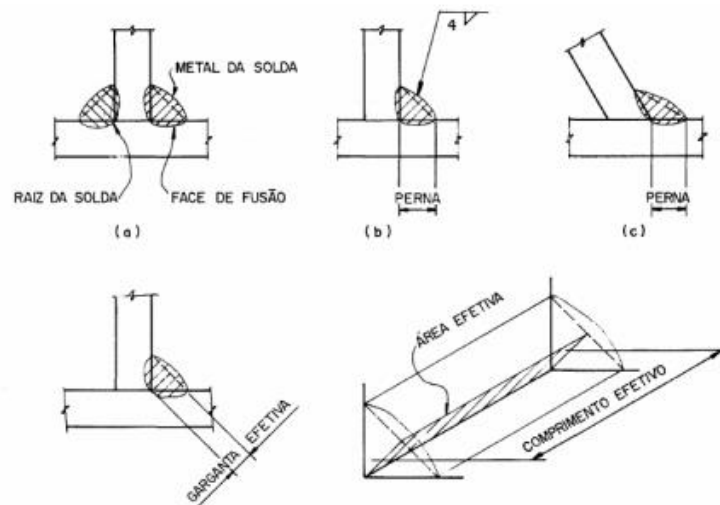
Quadro 1 - Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura de metal-base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, $d_{wa}$ (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

Fonte: NBR 8800, 2008.

A Figura 14 apresenta as definições para a solda de filete, sendo: face de fusão (figura 14a), raiz da solda (figura 14a), comprimento efetivo da solda (figura 14e), perna da solda (figura 14b), garganta efetiva (figura 14d), comprimento efetivo (figura 14e) e a área efetiva (figura 14e).

Figura 14 - Soldas de Filete

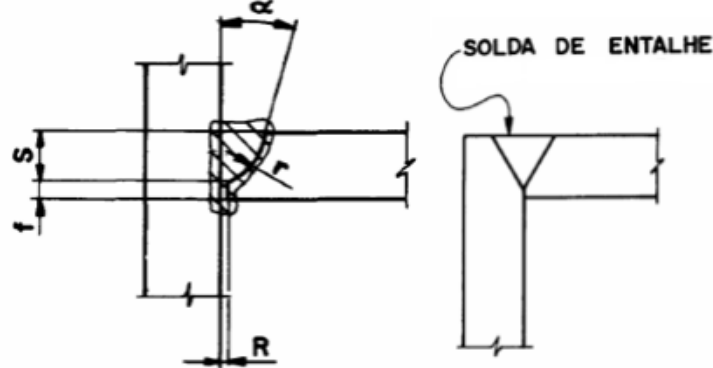


Fonte: Manual CBCA, 2003.

### 3.4.2.2 Soldas de Entalhe

Segundo Vasconcelos (2014) “as soldas de entalhe de penetração total ou parcial são utilizadas quando se deseja manter a continuidade total (ou parcial) da espessura do elemento conectado para a transmissão do esforço através da ligação”. Importante destacar, também, que este tipo de solda costuma ser utilizado quando a solda por filete, por algum motivo, não puder ser aplicada. (VASCONCELOS, 2014)

Figura 15 - Soldas de Entalhe



Fonte: Manual CBCA, 2003.

Segundo a NBR 8800: 2008, neste tipo de solda de penetração total, a garganta efetiva é a menor espessura das chapas quando unidas. Enquanto para soldas de entalhe de penetração parcial, a espessura da garganta efetiva varia de acordo com o quadro 2.

Quadro 2 - Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial

Menor espessura do metal - base na junta (mm)	Espessura mínima da garganta efetiva (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16

Fonte: NBR 8800, 2008.

### 3.5 TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS

A NBR 8800:2008, estabelece algumas diretrizes referentes ao dimensionamento, estados limites do aço e alguns critérios para elaboração de projetos estruturais. Aços estruturais são constantemente utilizados na construção civil, tendo eles por via de regra características específicas e propriedades de plasticidade, ductibilidade, elasticidade, resistência, dentre outras.

Segundo o CBCA (2014), existem mais de 3500 tipos de aços e cerca de 75% deles forma desenvolvidos nos últimos 20 anos. Aços estruturais devem apresentar como principal característica, o limite de escoamento, unidade a qual é essencial para determinar a resistência mecânica.

Os aços estruturais variam de acordo com sua composição química, podendo serem divididos em três principais grupos: aços-carbono, aços de baixa liga e aços com tratamento térmicos.

### 3.5.1 Aços-Carbono

Dias (2002), afirma que os aços-carbono podem ser divididos em três tipos: aços de alto carbono, médio carbono e baixo carbono.

Quadro 3 - Teor de carbono

CLASSE	QUANTIDADE DE CARBONO (%)
Baixo carbono	$C < 0,30\%$
Médio carbono	$0,30\% < C < 0,50\%$
Alto carbono	$C \geq 0,50\%$

Fonte: Dias, 2012.

O quadro 3 mostra que os aços de alto carbono apresentam teor de mais de 0,50% do elemento, tem como propriedades, alta dureza e resistência, sendo ele utilizado em utilizados na fabricação de ferramentas e matérias submetidos ao desgaste. Aços de médio carbono com média entre 0,3% a 0,50%, são encontrados em componentes mecânicos. Já os aços de baixo carbono contém um teor máximo de 0,3% do elemento em sua composição, tendo como característica grande ductibilidade, fazendo dele o aço mais utilizado na construção civil. (DIAS, 2012)

O Quadro 4 mostra o limite de escoamento ( $f_y$ ) e a tensão de ruptura ( $f_u$ ) dos aços-carbono. O conhecimento desses valores é vital para o correto dimensionamento das estruturas, e conseqüentemente na segurança das mesmas. Note que o fato de determinados aços possuírem limites de escoamento iguais, não faz com que a tensão de ruptura também seja igual. Como ocorre no caso do ASTM-A570 Gr 36 e do MR-250.

Quadro 4 - Resistência de alguns tipos de aço-carbono

Tipos de Aço	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
CG-26 (NBR 6648)	255 se $\varnothing \leq 16$ mm 245 se $16 \text{ mm} < \varnothing \leq 40$ mm	410 se $\varnothing \leq 16$ mm 410 se $16 \text{ mm} < \varnothing \leq 40$ mm
CF-26 (NBR 6650)	260	410
ASTM-A36	250	400
ASTM – A570 Gr 36	250	365
ASTM – A572 Gr50	345	450
MR-250 (NBR7007)	250	400

Fonte: Pignatta, Fruchtengarten e Campello, 2012.

### 3.5.2 Aços de Baixa Liga

Segundo Pfeil (2012), os aços de baixa liga são aços carbonos, contendo em sua estrutura diversos elementos como cobre, níquel, fósforo, vanádio, zircônio, cromo, colúmbio, manganês e molibdênio. Elementos que são responsáveis pela alteração da estrutura para grãos mais finos, assim gerando um material mais resistente.

De acordo com o CBCA (2014), o aço de baixa liga e alta resistência possui limite de escoamento mínimo de 290 a 345 MPa.

O aço é rotineiramente exposto a intempéries e elementos corrosivos presentes na atmosfera. Devido a sua microestrutura, os aços de baixa liga adquirem uma determinada resistência a corrosão. Com a presença do carbono, além do aumento da resistência mecânica, há também a melhoria na propriedade de soldabilidade. (PFEIL, PFEIL, 2012)

O Quadro 5 mostra o limite de escoamento ( $f_y$ ) e a tensão de ruptura ( $f_u$ ) dos aços de baixa-liga.

Quadro 5 - Resistência de alguns tipos de aços de baixa-liga

Tipo de Aço	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
COS-AR-COR 300	300	400
COS-AR-COR 350	350	500
USI-SAC-300	300	400
USI-SAC-350	350	500
CSN-COR-420	300	420
CSN-COR-500	380	500

Fonte: Pignatta, Fruchtengarten e Campello, 2012.

### 3.5.3 Aços ligados tratados termicamente

Os aços de alta resistência e baixa liga com tratamento térmico recebem tratamento térmico especial antes da laminação. Possuem teor de elementos ligantes inferior a 2%. Por seu um material com funções bem específicas, seu uso é destinado a áreas onde fazem jus a sua utilização, como tanques, vasos de pressão, dentre outros. (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012)

O aumento das resistências dos aços-carbono e dos aços de baixa liga, estão ligadas diretamente ao tratamento térmico exercido. Esse tratamento térmico dificulta a soldagem do material (umas das suas principais propriedades), ocasionando seu uso em situações pouco usuais, sendo empregadas em parafusos de alta resistência ou também em barras de aço para protensão. (PFEIL, PFEIL, 2012)

## 3.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM AÇO

Inicialmente é importante definir o que é um sistema construtivo, para isso leva-se em consideração parâmetros que proporcionam eficácia em todo o conjunto da obra. Analisar as forças atuantes, o projeto arquitetônico (observando os vãos pré-estabelecidos), fazer um pré-dimensionamento das vigas e carregamentos. Tendo como resultados esforços e reações, podem ser definidos modelos de elementos estruturais, como o pórtico por exemplo. O sistema estrutural depende conseqüentemente da forma como dimensionado o projeto. (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012)

A estrutura metálica contém grandes vantagens quando comparada a outros tipos de estruturas. Possui rapidez na execução, elevada resistência do material e eficiência nas etapas de montagem e soldagem.

## 3.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

São diversos os tipos de aço disponíveis no mercado. Porém, para ser considerado um aço estrutural, este deve possuir características específicas, tais como: elevada capacidade de se deformar permanentemente sem se partir (também conhecida como tenacidade), elevada tensão de escoamento, facilidade de se unir por meio de soldagem, homogeneidade microestrutural, possibilidade de separação através de oxicorte sem efeitos de endurecimento do material e boa

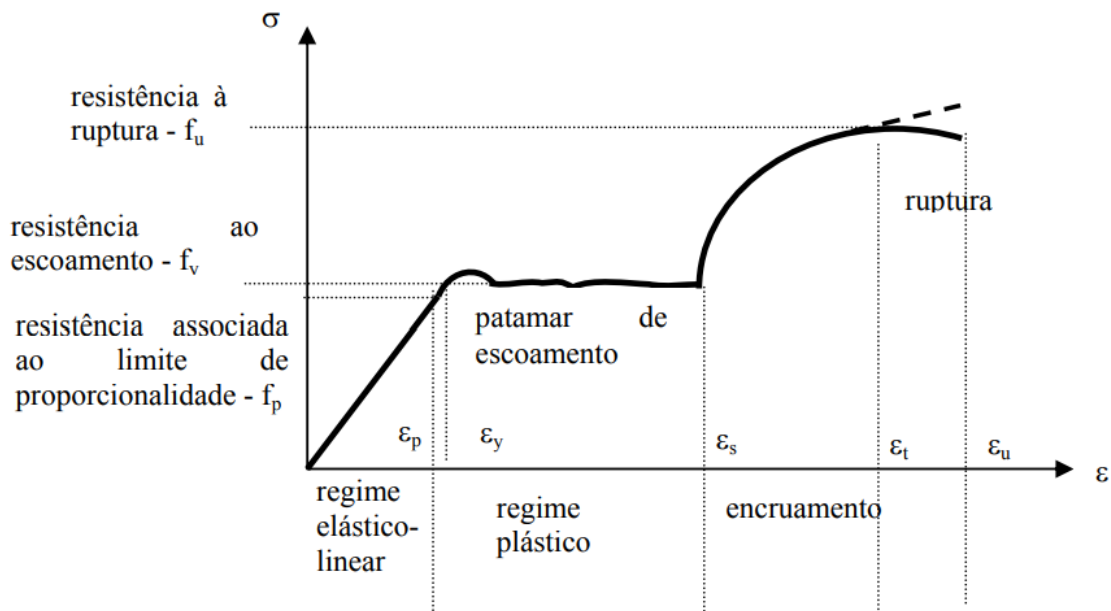


trabalhabilidade em operações, tais como corte, furação e dobramento, sem fissurar e ocasionar imperfeições. (NAVES, 2004)

### 3.7.1 Diagrama Tensão-Deformação

Os diagramas de tensão-deformação relacionam a tensão aplicada com a respectiva deformação linear específica causada por este esforço. Este varia de acordo com o tipo de aço e com as propriedades mecânicas deste. É importante ressaltar que o aço varia de acordo com o regime elástico-linear (Lei de Hooke), sendo as variáveis citadas anteriormente proporcionais entre si durante esse período. (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012)

Figura 16 - Diagrama de tensão-deformação de um aço estrutural, em escala deformada.



Fonte: Pignatta, Fruchtengarten e Campello, 2012.

Quando o limite de proporcionalidade é atingido, obtêm-se a tensão de escoamento, esta é o valor constante que a tensão obedece durante a fase plástica, onde há uma variação crescente de deformação quando submetida a uma tensão constante. Após esse estágio, ocorre uma reorganização da estrutura interna do aço, fazendo com que a tensão volte a variar, ocasionando, conseqüentemente uma deformação do material, porém de forma não linear, nesta fase ocorre o chamado encruamento do aço. Logo antes de se romper, o aço adota uma tensão, esta é chamada de resistência de ruptura do material. (PIGNATTA, FRUCHTENGARTEN, CAMPELLO, 2012)

## 4 ANÁLISE ESTRUTURAL

### 4.1 HISTÓRICO

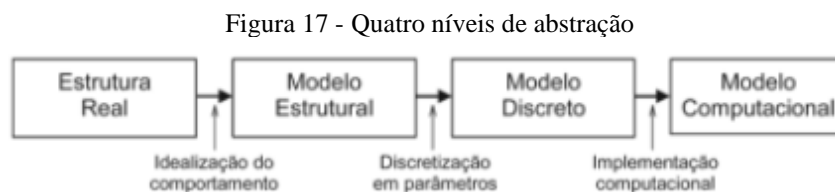
A engenharia estrutural remonta dos tempos do Egito antigo, com suas pirâmides imponentes e impressionantes. Porém, a análise estrutural só se consolidou muitos séculos depois, com a revolução industrial. Em seu livro *Análise de estruturas* (Martha, 2010) pontua que “durante esse período, novos materiais passaram a ser empregados nas construções, tais como concreto armado, ferro fundido e aço.”. Devido a esses fatores e impulsionado pelo crescimento desse setor nos países europeus e americanos, nessa mesma época, o Brasil também passou por um grande desenvolvimento no ramo da engenharia estrutural.

### 4.2 DEFINIÇÃO

“A análise estrutural é a etapa do projeto no qual é realizada uma previsão do comportamento da estrutura. Nela são utilizadas todas as teorias físicas e matemáticas resultantes da formalização da engenharia estrutural como ciência.” (MARTHA, 2010).

#### 4.2.1 Níveis de Abstração da Análise Estrutural

Na modernidade, a análise de estruturas se baseia no estudo de quatro níveis de abstração. Sendo eles: estrutura real, modelo estrutural, modelo discreto e modelo computacional.



Fonte: Martha, 2010.

##### 4.2.1.1 Primeiro Nível: Estrutura Real

É o modelo presente no mundo físico, sendo aquela que apresenta a estrutura real tal como é construída, permitindo apenas uma visão superficial da mesma.

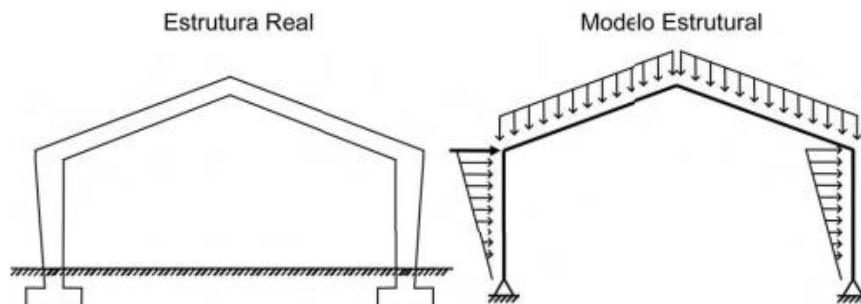
#### 4.2.1.2 Segundo Nível: Modelo Estrutural

Também chamado de modelo matemático, e proporciona um modelo mais analítico com relação a estrutura. Tem como objetivo a realização de uma análise física e matemática do projeto, reunindo teorias e hipóteses destas áreas a fim de perceber o comportamento da estrutura quando submetida a diversos tipos de solicitações. Está entre as fases mais importantes do projeto, visto que a partir da confiabilidade de seus resultados, há também a confiabilidade da resistência da estrutura real.

Nesta fase de projeto, faz-se uma série de hipóteses simplificadoras, a fim de se idealizar o comportamento de uma estrutura real. Segundo Martha (2010) “As hipóteses simplificadoras estão baseadas em teorias físicas e em resultados experimentais e estatísticos.”. Essas hipóteses estão divididas em quatro tipos:

- Hipóteses sobre a geometria do modelo;
- Hipóteses sobre o comportamento dos materiais;
- Hipóteses sobre as condições de suporte;
- Hipóteses sobre as solicitações que atuam sobre a estrutura;

Figura 18 - Corte transversal da estrutura real de um galpão e seu respectivo modelo estrutural



Fonte: Martha, 2010.

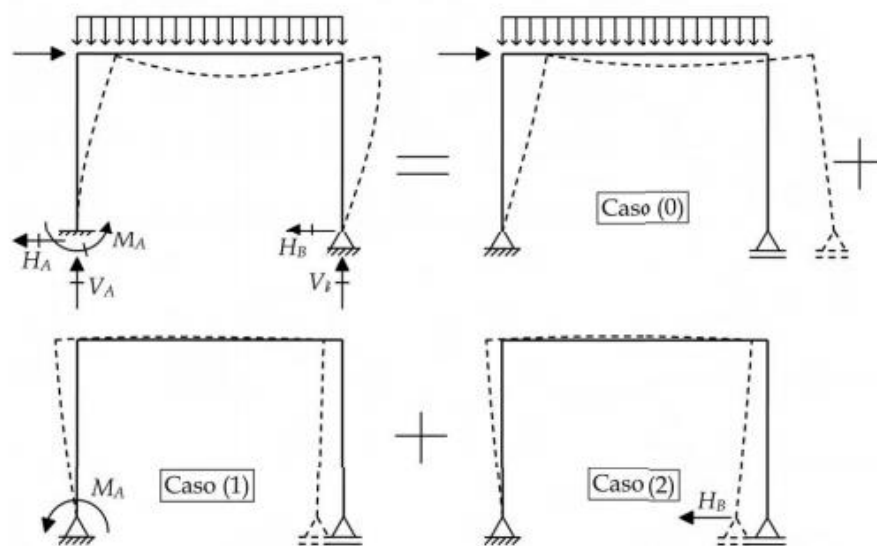
#### 4.2.1.3 Terceiro Nível: Modelo Discreto

Nesta fase ocorre a chamada discretização, que consiste na passagem do modelo matemático para o modelo discreto. Este é concebido dentro das estruturas de cálculo dos métodos de análise. Neste nível o comportamento analítico do modelo estrutural é substituído por um comportamento discreto, são utilizadas uma série de parâmetros (estes variam de acordo com o método adotado), para retratar o modo em que se comporta determinada estrutura. No

método das forças, as variáveis utilizadas são as forças ou os momentos, enquanto no método dos deslocamentos são as rotações ou os deslocamentos. (MARTHA, 2010)

Na Figura 19, Martha ilustra a discretização ocorrida em um pórtico plano através das forças. O carregamento, que é a solicitação externa atuante, é composto por uma força vertical (uniformemente distribuída na viga, e de uma força lateral. As setas que possuem um traço no centro são as representações das reações de apoio. Nesse método, são adotados os parâmetros hiperestáticos para discretizar a estrutura, que são forças ou momentos redundantes que garantem a estabilidade da estrutura. (MARTHA, 2010)

Figura 19 - Superposição de soluções básicas no método das forças



Fonte: Martha, 2010

#### 4.2.1.4 Quarto Nível: Modelo Computacional

Diferente do que muitos podem pensar, este método se dedica mais a como “ensinar” o computador a realizar a análise de estruturas. Desde o advento da computação, não só a parte estrutural, mas grande parte dos projetos de engenharia civil são feitos em softwares programados para executar as leis e normas aplicáveis à construção civil. Martha pontua que “a análise de estruturas, atualmente, pode ser vista como uma simulação computacional do comportamento de estruturas”.

## 5 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento estrutural exige diversas fases preparativas que, quando bem executadas, facilitam a execução do mesmo. Para a promoção do projeto proposto neste trabalho, realizou-se um levantamento de cargas e possíveis esforços aos quais essa poderia ser submetida. Diante disso, determinou-se os materiais a serem utilizados na construção da parte estrutural do mezanino.

Quadro 6 - Materiais utilizados.

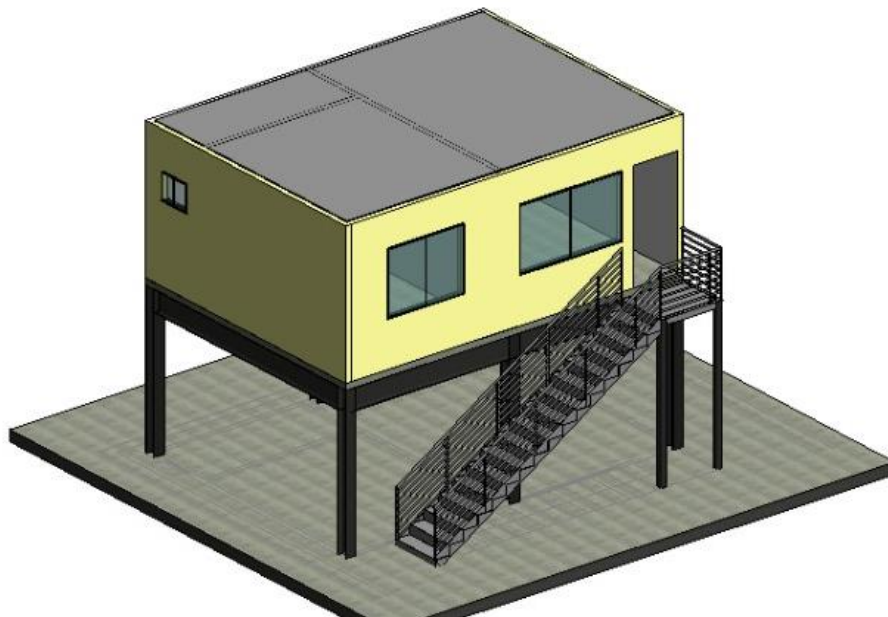
<b>Material</b>	<b>Tipo</b>
Concreto	C25
Agregado Graúdo	Calcário (19 mm)
Aço (Barras)	CA – 50
Aço (Perfis Laminados)	A – 572 345 MPa

Fonte: Próprio autor, 2021.

### 5.1 CARGAS ATUANTES

O mezanino a ser dimensionado neste trabalho, como dito anteriormente, será destinado para o funcionamento de um escritório de venda de mercadorias, e será locado no interior de um galpão.

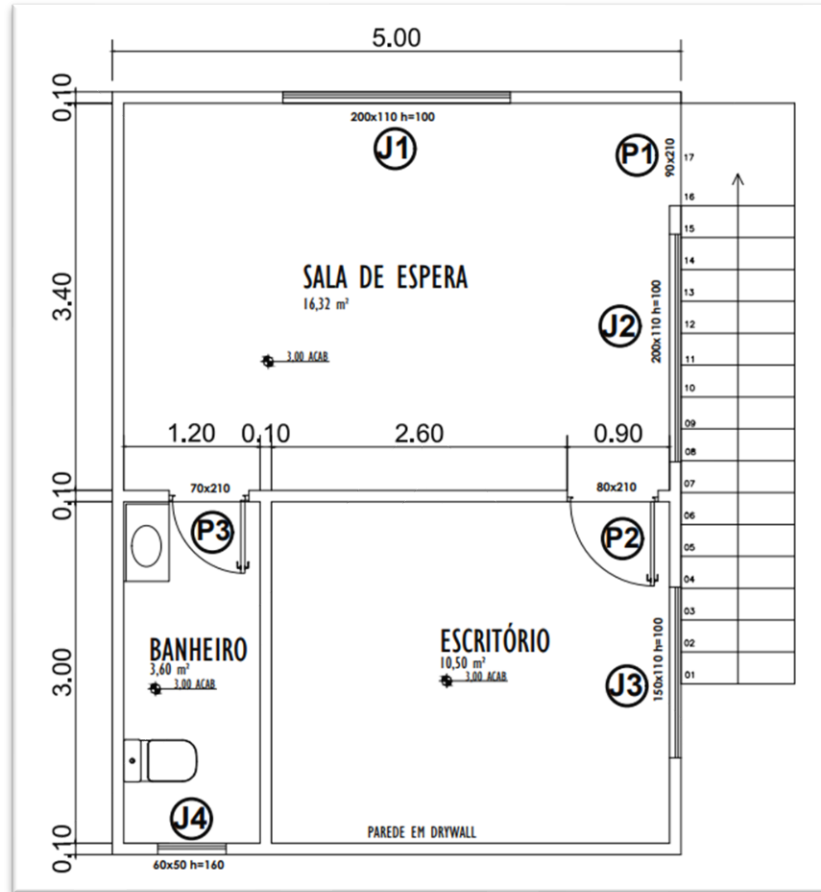
Figura 20 - Representação do mezanino no Revit.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Logo, não foram consideradas cargas advindas do vento. Dividiu-se o edifício em três partes, uma sala de espera, um pequeno banheiro e uma sala de atendimento/escritório. A Figura a seguir mostra a planta baixa do mesmo.

Figura 21 - Planta baixa do piso do mezanino.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como mostrado na Figura 21, as paredes possuem espessura de 10 cm e são feitas de *Dry Wall*. Segundo CAPUCHO (2019), o peso específico de uma parede de *Dry Wall*, com guia e montantes de 70 milímetros e placas de gesso acartonado de 12,5 milímetros em cada face, é de 21 kgf/m<sup>2</sup>. Com base nisso, calculou-se os esforços causados pelas paredes, retirando-se os vãos que serão utilizados para janelas e portas. Sabe-se que na prática não se costuma fazer esse cálculo, calculando-se as paredes como se não houvesse vãos. Porém, para fins acadêmicos, decidiu-se realizar dessa forma com o intuito de observar possíveis impactos e incongruências ocorridas pelo dimensionamento da estrutura em softwares diferentes. A Figura 22 mostra a enumeração das paredes, a partir desta que serão organizados os cálculos, posteriormente feitos neste trabalho, a fim de obter as cargas das paredes.

Figura 22 - Numeração das paredes.



Fonte: Próprio autor, 2021.

### 5.1.1 Cargas das Paredes

Nesta seção utilizou-se as equações apresentadas abaixo, para o cálculo das cargas geradas pelo peso das paredes, janelas e portas.

#### *Carga das paredes*

$$= \gamma_w \times D1 \times H1 - \gamma_w \times d1 \times h1 - \gamma_w \times c1 \times a1 \quad (1)$$

#### *Carga das janelas*

$$= \gamma_v \times d1 \times h1 \quad (2)$$

#### *Carga das portas*

$$= \gamma_w \times c1 \times a1 \quad (3)$$

D = Comprimento horizontal da parede (m).

H = Altura da parede (m).

d = Comprimento horizontal da janela (m).

h = Altura da janela (m).

$c$  = Comprimento horizontal das portas (m).

$a$  = Altura da porta (m).

$\gamma_w$  = Peso Próprio do Dry Wall = 21 Kgf/m<sup>2</sup>.

$\gamma_v$  = Peso Próprio do vidro temperado da AnaVidros = 25 kg/m<sup>2</sup>.

Exemplo: Parede 1

$$Carga = 21 \times 5 \times 2,7 - 21 \times 2 \times 1,1 \quad (4)$$

$$Carga = 237,3 \text{ Kgf} \quad (5)$$

Peso da Parede 1.

Para Lançamento nos softwares, é necessário que as cargas estejam em KN/m, logo:

$$Carga \text{ Linear} = 2,33 \text{ KN} \div 5 \text{ m}$$

$$Carga \text{ Linear} = 0,467 \text{ KN/m}$$

Tabela 1 - Cargas aplicadas nas paredes.

Parede	Carga Total (KN)	Carga Linear (KN/m)
1	2,33	0,467
2	1,95	0,557
3	2,02	0,421
4	1,67	0,557
5	1,67	0,557
6	2,72	0,544
7	1,33	0,443
8	1,23	0,351

Fonte: Próprio autor, 2021.

### 5.1.2 Cargas das Janelas e Portas

As janelas e portas serão feitas predominantemente de vidro, sendo estes fornecidos pela empresa “AnaVidros”. Esses vidros temperados possuem uma massa de 2,5 Kg por metro quadrado, para cada 1 milímetro de espessura. Todos os vidros utilizados têm uma espessura de 10 milímetros, conseqüentemente, possuem um peso específico de 25 Kg/m<sup>2</sup> ( $\gamma_v$ ). Os cálculos serão divididos de acordo com o modelo das janelas e portas, primeiramente serão



encontradas as massas dos mesmos e posteriormente o peso desses, através da multiplicação pela gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>). Logo, em seguida encontra-se as cargas lineares causadas por eles.

Exemplo: Janela 1

$$\text{Massa da janela} = \gamma_v \times h_1 \times d \quad (6)$$

$$\text{Massa} = 25 \times 1,1 \times 2,0 \quad (7)$$

$$\text{Massa} = 55 \text{ kg} \quad (8)$$

$$\text{Peso} = \text{Massa} \times \text{Gravidade} \quad (9)$$

$$\text{Peso} = 55 \times 9,81 \quad (10)$$

$$\text{Peso} = 539,55 \text{ N} \quad (11)$$

$$\text{Carga Linear} = 0,54 \text{ KN} \div 2 \quad (12)$$

$$\text{Carga Linear} = 0,27 \frac{\text{KN}}{\text{m}}. \quad (13)$$

Tabela 2 - Cargas aplicadas nas janelas.

Janela	Carga Total (KN)	Carga Linear (KN/m)
1	0,54	0,27
2	0,54	0,27
3	0,4	0,27
4	0,074	0,12

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Porta 1

$$\text{Massa da porta} = \gamma_w \times a_1 \times c_1 \quad (14)$$

$$\text{Massa} = 25 \times 2,1 \times 0,9 \quad (15)$$

$$\text{Massa} = 47,25 \quad (16)$$

$$\text{Peso} = 47,25 \times 9,81 \quad (17)$$

$$\text{Peso} = 463,52 \text{ N} \quad (18)$$

$$\text{Carga Linear} = 0,46 \text{ KN} \div 0,9 \quad (19)$$

$$\text{Carga Linear} = 0,51 \frac{\text{KN}}{\text{m}}. \quad (20)$$

Tabela 3 - Cargas aplicadas nas portas.

<b>Porta</b>	<b>Carga Total (KN)</b>	<b>Carga Linear (KN/m)</b>
1	0,46	0,51
2	0,41	0,51
3	0,36	0,51

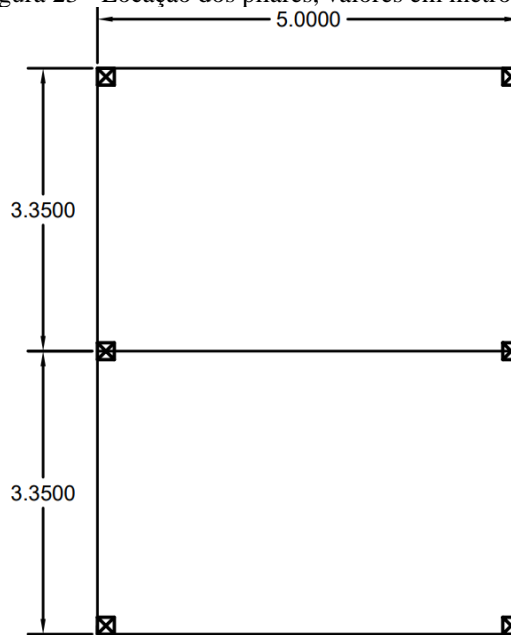
Fonte: Próprio autor, 2021.

## 6 DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO NO CYPECAD

### 6.1 LANÇAMENTO DOS PILARES

Nesta etapa, primeiramente definiu-se a quantidade de pilares que seriam adicionados, bem como a sua localização. A planta demonstrada na Figura 23, é de vital importância para o lançamento correto do projeto no CYPECAD, visto que ela será utilizada no próprio software como meio facilitador do lançamento da estrutura.

Figura 23 - Localização dos pilares, valores em metros (m).

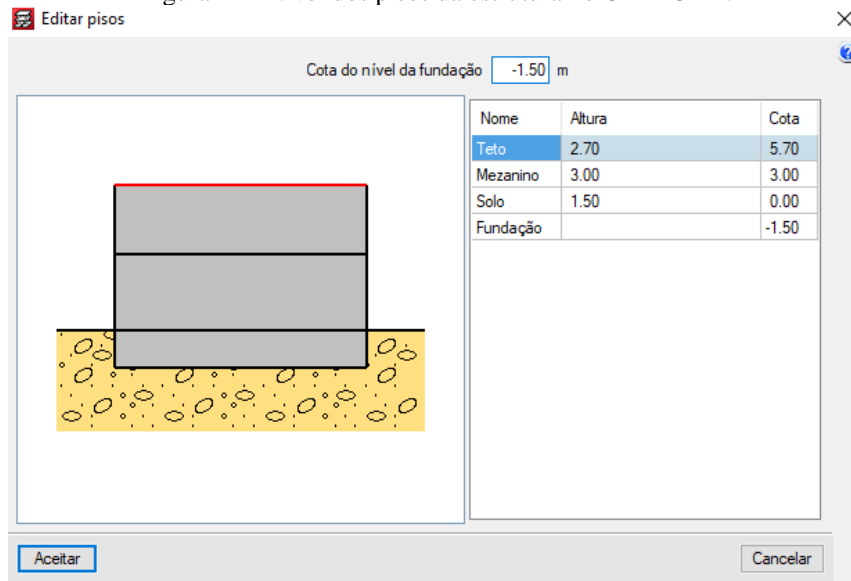


Fonte: Próprio autor, 2021.

Como indicado na Figura 23, adotou-se uma estrutura de seis pilares, sendo quatro nos vértices e dois nos pontos médios. Esses elementos nascem na fundação e terminam na laje teto. Porém, neste trabalho, não serão dimensionados os elementos de fundação. Com a locação dos pilares concluída, os trabalhos no CYPECAD foram iniciados.

Feita a configuração inicial do software com os valores dos tipos de aço dos perfis e das barras e do tipo de cimento, anteriormente citados, lançou-se os valores dos níveis da estrutura. Isto pode ser identificado na Figura 24.

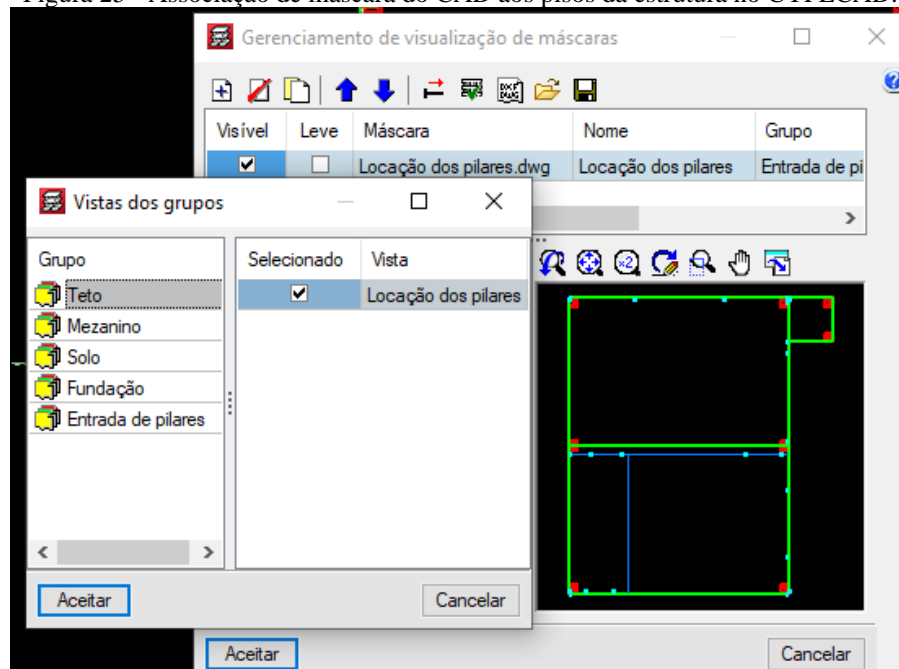
Figura 24 - Nível dos pisos da estrutura no CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como pode ser visto na Figura 24, a altura do solo até o piso do mezanino é de 3 metros e a altura deste último até a laje teto é de 2 metros e 70 centímetros. O lançamento correto dessas informações é de vital importância, visto que influenciará diretamente no comprimento dos pilares e, conseqüentemente, em toda a estrutura. Com a definição dos pisos, inseriu-se a máscara para facilitação do dimensionamento da estrutura. Lembrando que a máscara utilizada já foi anteriormente citada neste trabalho, sendo a planta de locação dos pilares.

Figura 25 - Associação de máscara do CAD aos pisos da estrutura no CYPECAD.

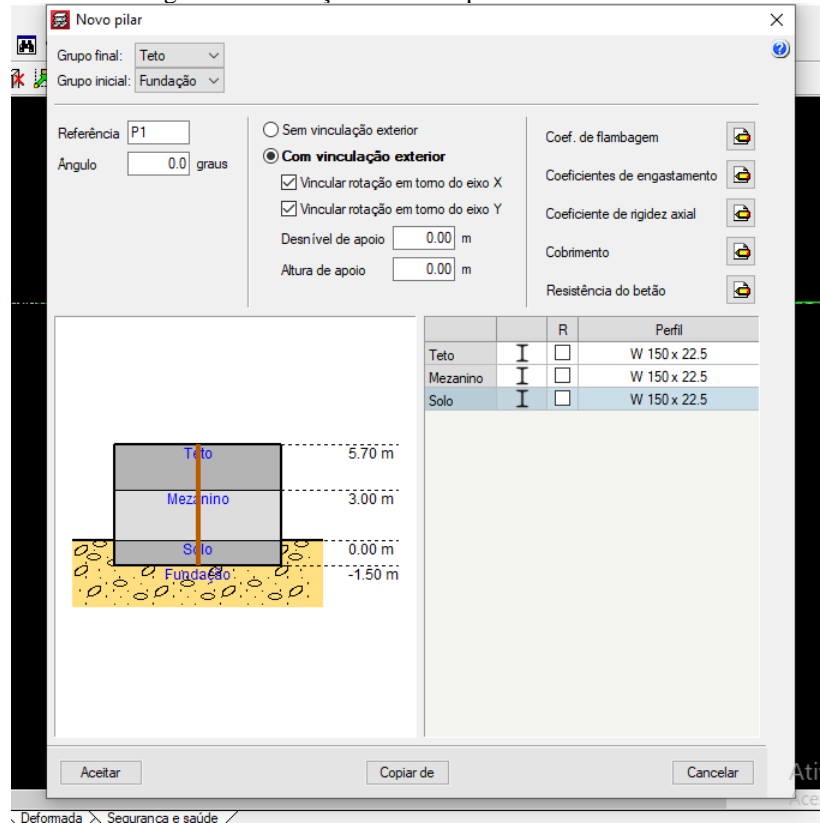


Fonte: Próprio autor, 2021.

Importante ressaltar as marcações em verde água que representam as extremidades das portas e janelas, isso foi feito para facilitar o lançamento dos esforços causados pelas mesmas,

lançamento este que será feito posteriormente neste trabalho. Com a planta de locação estrutural em mãos, tornou-se possível o lançamento dos pilares.

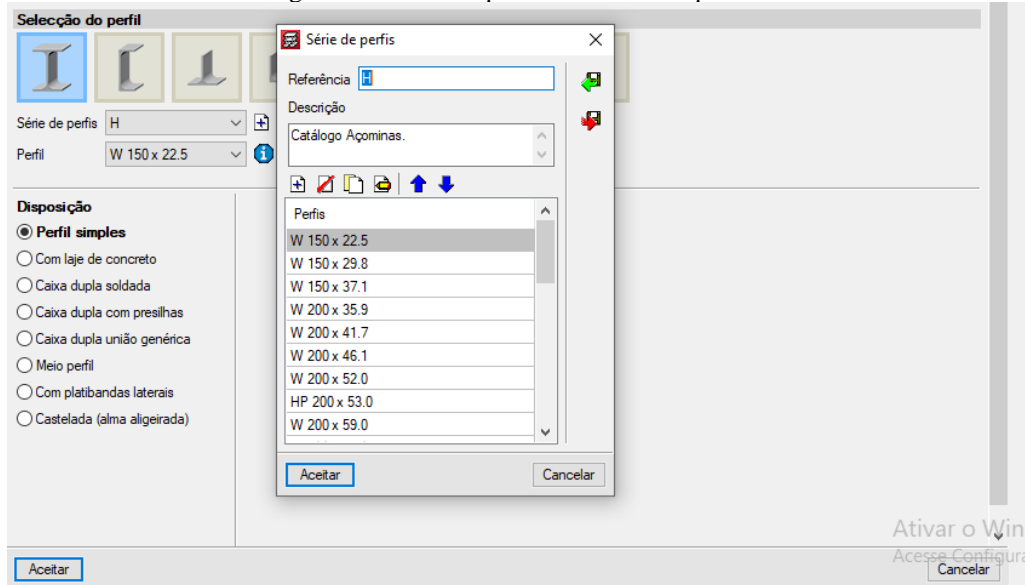
Figura 26 - Inserção de novos pilares no CYPECAD



Fonte: Próprio autor, 2021.

A Figura 26 mostra o lançamento do primeiro pilar, destaque para o tipo de perfil usado, adotou-se perfis H da Aço Minas em todos os pilares. A dimensão explicitada acima não reflete a dimensão final, visto que no dimensionamento o software fica livre para adotar a seção que melhor se encaixar aos cálculos, um dos objetivos deste trabalho é comparar futuramente as seções adotadas pelos dois softwares escolhidos.

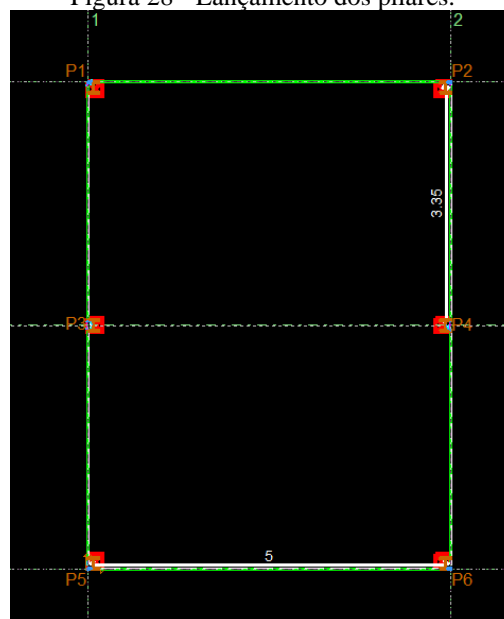
Figura 27 - Série de perfis utilizada nos pilares.



Fonte: Próprio autor, 2021.

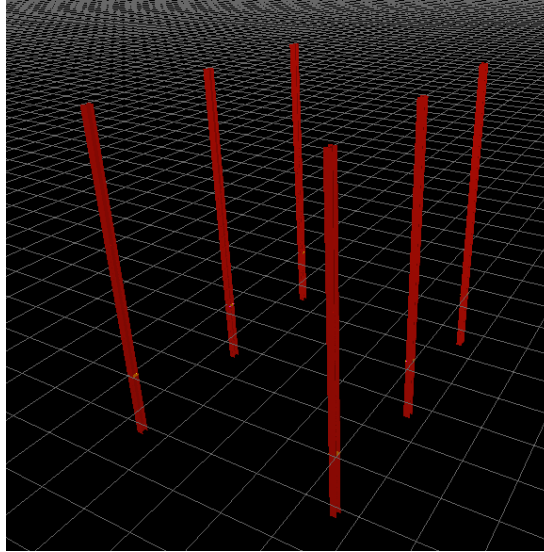
Ao concluir o lançamento de todos os pilares, a imagem mostrada pelo software já lembra a planta de locação de pilares anteriormente citada. Contudo o software já insere as linhas de referência, sendo essas alinhadas com os respectivos pontos fixos dos pilares. Vale frisar que os pontos fixos utilizados foram alinhados com as faces externas da estrutura do mezanino. Logo, para os pilares de canto os pontos fixos foram nos vértices destes e locados nos vértices da planta e para os pilares de extremidade, adotou os pontos médios das faces externas dos mesmo e estes foram locados nos pontos médios das faces do mezanino. Isso fica demonstrado na Figura 28.

Figura 28 - Lançamento dos pilares.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 29 - Representação 3D da estrutura com os pilares já lançados, CYPECAD.

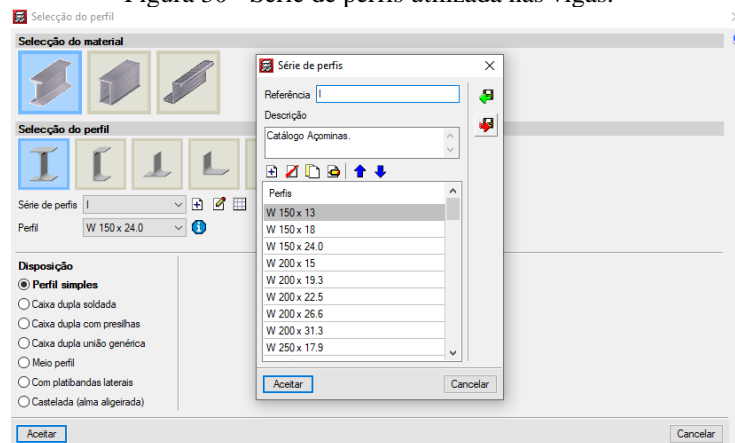


Fonte: Próprio autor, 2021.

## 6.2 LANÇAMENTO DAS VIGAS

Por meio lógico, essa etapa deve vir depois do lançamento dos pilares visto que as vigas se apoiam nos mesmos. Lançou-se vigas em todas as faces externas do mezanino. A princípio, pensou-se em utilizar vigas no centro da laje, mas ao verificar os resultados dos cálculos, decidiu-se por eliminá-las. Utilizou-se a série de perfis I da Açominas, sendo utilizado, inicialmente, a menor seção disponível, para que o software substituísse na etapa de cálculo pela seção mais adequada.

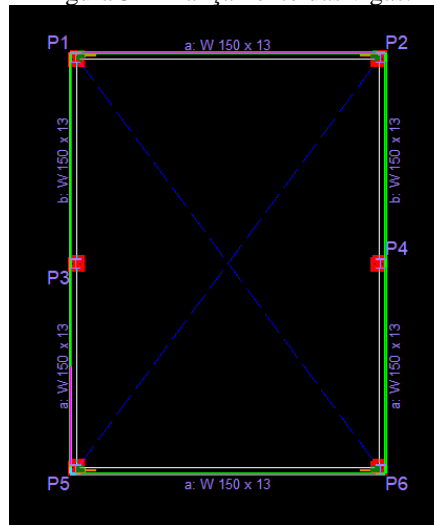
Figura 30 - Série de perfis utilizada nas vigas.



Fonte: Próprio autor, 2021.

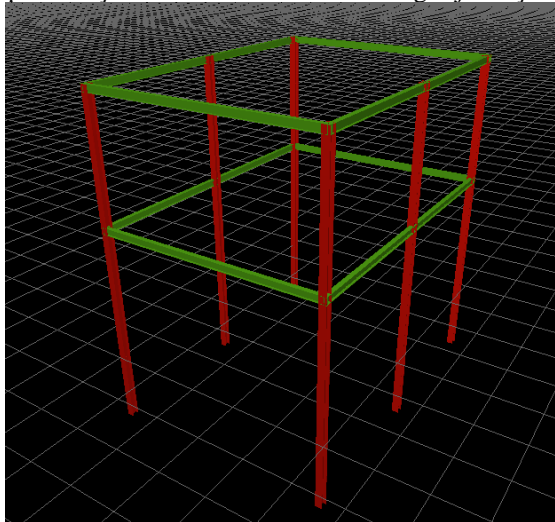
Com a definição dos perfis, as vigas foram introduzidas nos locais anteriormente citados. Por fim, a inserção das mesmas no mezanino ficou como mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Lançamento das vigas.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 32 - Representação 3D da estrutura com as vigas já lançadas, CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

### 6.3 INSERÇÃO DAS LAJES

Após a inserção dos pilares e vigas, foi possível realizar a inserção das lajes. Como se pode perceber, este projeto possui duas lajes, ambas maciças, sendo uma laje piso e uma laje forro. Segundo a NBR 6118/2014 as espessuras mínimas para lajes devem seguir o explicitado na Figura 33 que foi retirada diretamente do texto da norma.



Figura 33 - Espessuras mínimas para lajes.

### 13.2.4 Lajes

#### 13.2.4.1 Lajes maciças

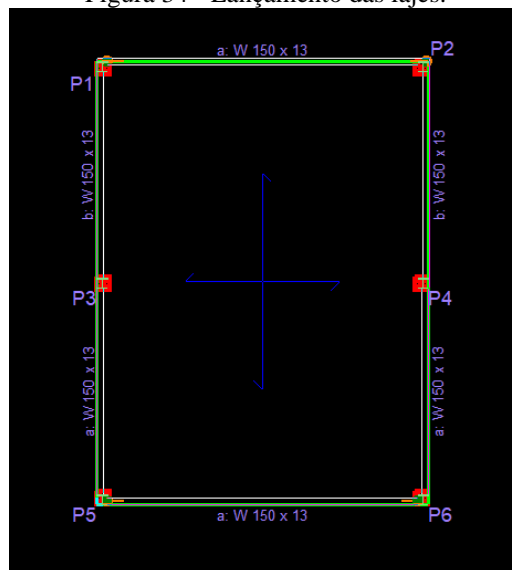
Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $\frac{\ell}{42}$  para lajes de piso biapoiadas e  $\frac{\ell}{50}$  para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Fonte: NBR 6118, 2014.

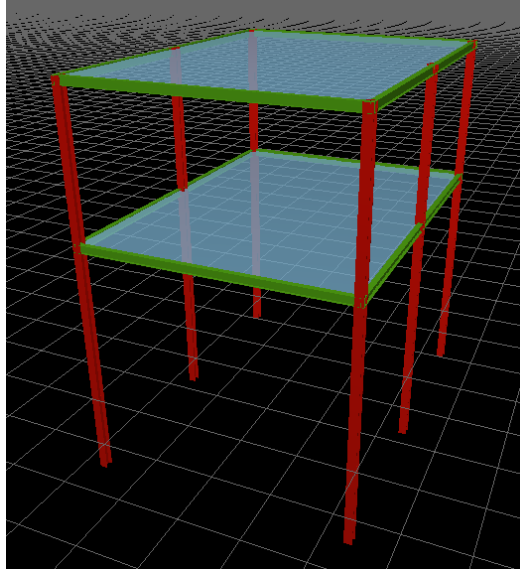
Logo, como pode ser visto na Figura 33, a espessura mínima para laje piso é de 8 cm e para a laje forro é de 7 cm, já que ambas não estão em balanço. Decidiu-se por utilizar, a princípio, as espessuras mínimas exigidas pela norma. Após o cálculo do software, serão verificadas as flechas das mesmas para averiguar se estas estão de acordo com a determinação legal.

Figura 34 - Lançamento das lajes.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 35 - Representação 3D da estrutura com as lajes já lançadas, CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Em ambas as lajes foi considerado um coeficiente de engastamento igual a 1, com relação às armaduras base, os valores considerados podem ser vistos na Figura 36.

Figura 36 - Informações sobre as lajes.

Desnível  m (Plano base)

Coef. engastamento:

Amadura base

Superior	
Longitudinal	Sem a. base
Transversal	Sem a. base
Inferior	
Longitudinal	Sem a. base
Transversal	Sem a. base

Pano 1

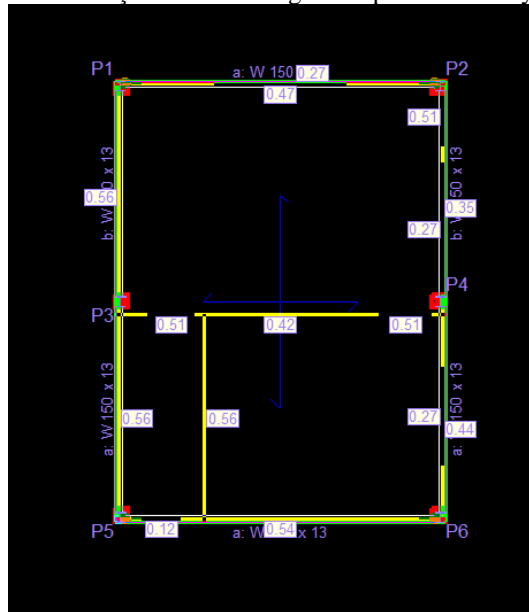
Fonte: Próprio autor.

#### 6.4 LANÇAMENTO DAS CARGAS

Após a conclusão do lançamento dos pilares, vigas e lajes, lançou-se as cargas geradas pelas paredes, portas e janelas. Lembrando que o cálculo das mesmas foi realizado anteriormente neste trabalho na parte de pré-dimensionamento. Sabe-se que na prática geralmente se considera a parede inteira para o cálculo, sem retirar os vãos das janelas e portas, visto que é mais simples e rápido, e essa diferença não causa grande alteração no dimensionamento final. Porém, como este é um trabalho acadêmico, optou-se pela retirada dos vãos e inserção das cargas geradas pelas janelas e portas, essa decisão foi tomada com a finalidade de averiguar, ao fim do projeto, quais as diferenças geradas por essas cargas em cada

um dos softwares escolhidos para a realização deste trabalho. Por fim, o único pavimento que receberá esses esforços será o pavimento piso do mezanino, visto que não a cobertura não terá paredes ou qualquer outro elemento em sua laje, sendo esta apenas uma laje forro. Vale lembrar que as paredes, portas e janelas foram inseridas como cargas lineares, como anteriormente citado no item 5.1 deste trabalho. A Figura 37 mostra o mezanino com as cargas lineares já inseridas.

Figura 37 - Lançamento das cargas das paredes de Dry Wall.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 6.5 CÁLCULO ESTRUTURAL NO CYPECAD

Com todos os pilares, vigas, lajes e cargas inseridas, pôde-se rodar o programa. O cálculo do programa não considerou a fundação, como já citado anteriormente. O software também ficou livre para mudar as seções dos perfis dos pilares e vigas, caso fosse necessário. As especificações de dimensionamento utilizadas no CYPECAD podem ser vistas na figura abaixo.

Figura 38 - Opções de liberdades para o software ao dimensionar a estrutura no CYPECAD.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Como pode ser observado na Figura 38, utilizou-se todos os perfis da série para o dimensionamento. Outra informação importante é a de que todos os nós foram calculados com ligações soldadas. Além disso, para fatores iniciais de dimensionamento considerou-se uma altura útil de 12 cm para as lajes. As informações anteriormente citadas são de vital importância para uma melhor compreensão dos resultados obtidos pelo cálculo estrutural feito pelo software. A Figura 39 mostra as observações dos erros encontrados no projeto.

Figura 39 - Erros apontados pelo CYPECAD.

**Erros de cálculo da obra 'Projeto do Mezanino' (Versão 2017.m)**

```

Grupo 2:
Pano 1
Laje retangular com altura 8 cm inferior ao mínimo: 12 cm. Verifique a flecha.
Grupo 3:
Pano 1
Laje retangular com altura 7 cm inferior ao mínimo: 12 cm. Verifique a flecha.

Grupo 2:
- Seções com reforço por punção ou cortante

Grupo 3:
- Seções com reforço por punção ou cortante

É conveniente recalcular a obra, já que o perfil atribuído às vigas '1, 4 do grupo 2 e 1, 4 do grupo 3' foi alterado no dimensionamento.

O programa não verifica automaticamente a limitação de flecha em lajes maciças e lajes nervuradas. Nestas lajes, é possível consultar os valores de flecha elástica entre quaisquer dois pontos indicados pelo usuário. Deve-se consultar os limites normativos aplicáveis a esta obra e estimar as flechas correspondentes.

```

Fonte: Próprio autor, 2021.

### 6.5.1 Erros nas lajes

Os erros apontados nas lajes, diziam respeito a sua espessura. Porém, como anteriormente citado neste trabalho, as mesmas estão respeitando os limites apontados na NBR 6118/2014, já que nenhuma delas estão em balanço. Logo as duas estão respeitando as exigências do item 13.2.4.1 a e b da referida norma. Contudo, como explicitado pelo

CYPECAD, faz-se necessária a verificação das flechas dos mesmos. Para isso, seguiu-se, também, as instruções da norma já citada anteriormente neste parágrafo. A Figura 40 representa o trecho que discorre sobre as flechas em lajes.

Figura 40 - Limites para deslocamentos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento		De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não	Paradas	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
			Provocado pela	

Fonte: NBR 6118, 2014.-Adaptado

Como o mezanino será utilizado apenas como escritório, não se considerou vibrações sentidas no piso. Com isso, a equação utilizada para o cálculo dos deslocamentos verticais máximos de ambas as lajes foi:

$$\text{Flecha máxima } (\delta) = \frac{l}{250} \quad (21)$$

Onde “ $l$ ” é o menor comprimento da laje cuja flecha será calculada, este sendo dado em metros. Como as lajes consideradas neste trabalho possuem as mesmas dimensões, visto que utilizam os mesmos pilares, e possuem apenas vigas em suas faces externas, logo possuem flechas iguais. Com isso a flechas máxima para as lajes é dada por:

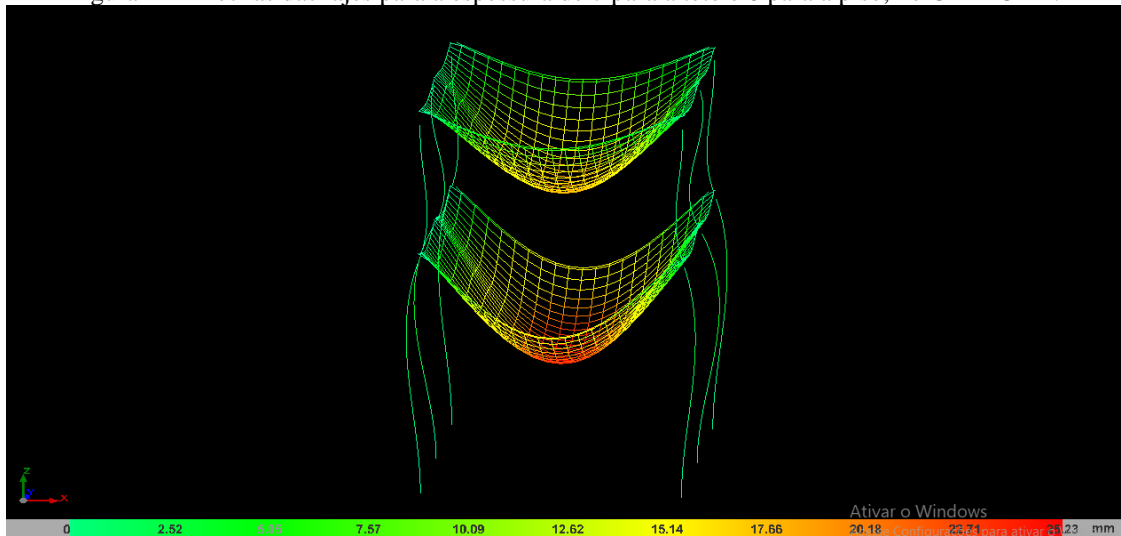
$$\text{Flecha máxima} = \frac{l}{250} \quad (22)$$

$$\text{Flecha máxima} = \frac{5}{250} \quad (23)$$

$$\text{Flecha máxima} = 0,02 \text{ m ou } 20 \text{ mm} \quad (24)$$

Através da equação acima percebe-se que o deslocamento vertical máximo ao qual essa laje pode ser submetida é de 20 mm. A Figura 41 ilustra os valores aos quais a mesma estava sendo submetida.

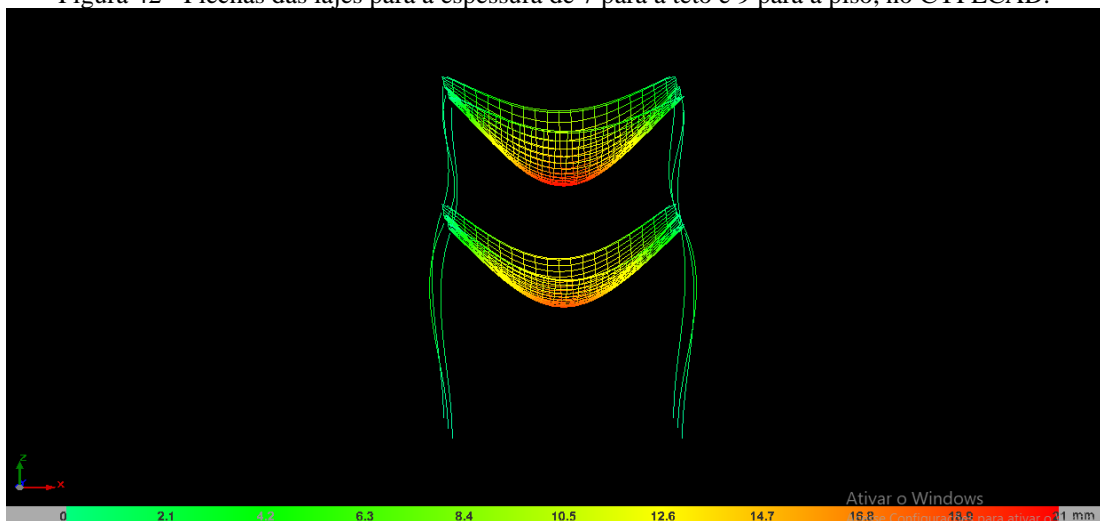
Figura 41 - Flechas das lajes para a espessura de 7 para a teto e 8 para a piso, no CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Analisando a Figura 41, percebe-se que a deformação máxima sofrida pelas lajes foi de 25,23 mm para a laje piso e de 17,96 mm para a laje teto. Logo, esse valor está acima dos 20 mm exigidos pela norma para essa primeira e em conformidade para com a segunda. Com isso, adotou-se uma espessura de 9 cm para a laje piso e recalculou-se a estrutura

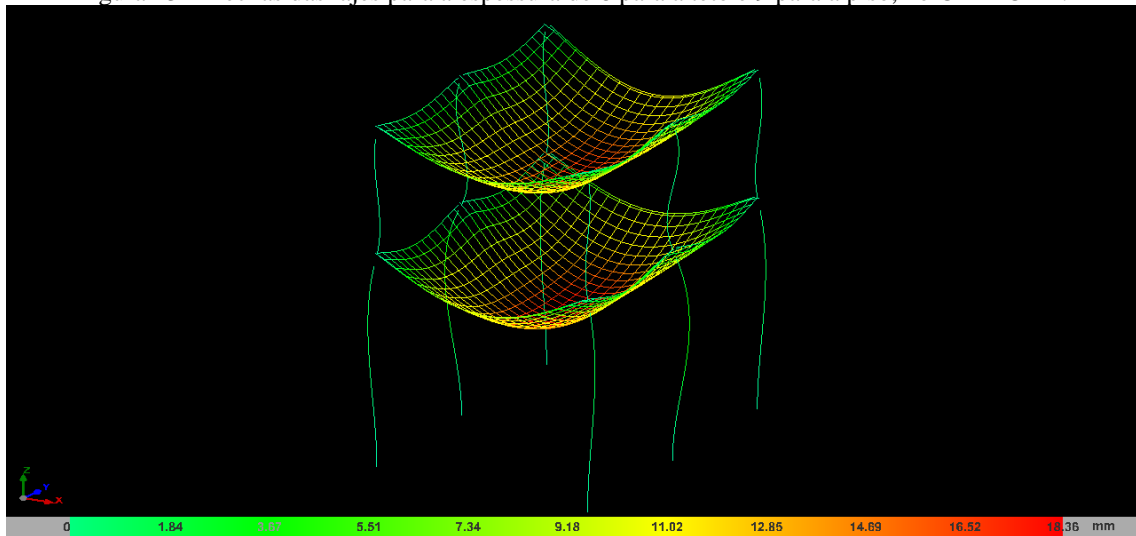
Figura 42 - Flechas das lajes para a espessura de 7 para a teto e 9 para a piso, no CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como pode se observar, a deformação da laje teto ultrapassou o limite exigido pela norma, ficando com 21 mm, sendo que o correto seria abaixo de 20 mm. Modificou-se a espessura da laje teto para 8 cm e recalculou-se a estrutura, obtendo os resultados abaixo.

Figura 43 - Flechas das lajes para a espessura de 8 para a teto e 9 para a piso, no CYPECAD.



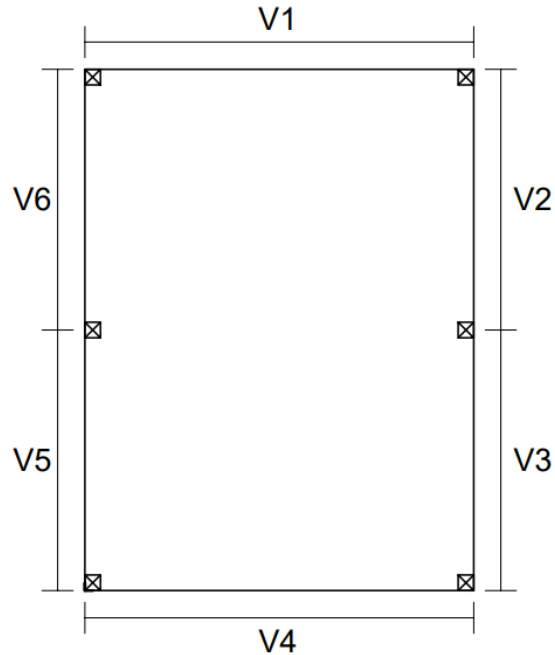
Fonte: Próprio autor.

Pode-se perceber pela Figura 43 que as espessuras de 9 cm para a laje piso e 8 cm para a laje teto fizeram com que a deformação fosse menor que 20 mm para ambas, ficando em conformidade com o cálculo feito anteriormente. Logo, adotou-se esses valores para o projeto final.

### 6.5.2 Adoção de novas seções

Com o dimensionamento, o software alterou algumas seções de perfis. Isso já era esperado, visto que uma das principais ideias deste trabalho é a de comparar quais perfis o CYPECAD e o SAP2000 adotariam nas circunstâncias deste projeto e como isso poderia afetar no projeto final. Como pode ser visto na Figura 45, os elementos estruturais que sofreram essa mudança foram os perfis das vigas 1 e 4 do grupo 2 que passaram de W 150 x 13 para W 250 x 22,3 e as vigas e 1 e 4 do grupo 3 que passaram de W 150 x 13 para W 150 x 18. Importante ressaltar que o lançamento das vigas foi feito de modo contínuo das vigas que começam nos pilares 2 e 6 e 1 e 5, porém o CYPECAD automaticamente considera a parte da viga entre os pilares 2 e 4, 4 e 6, 5 e 3 e 3 e 1 como vigas únicas. Logo a numeração das vigas pelo programa é feita de acordo com a Figura 44. Quando o software fala sobre os grupos, está se referindo aos níveis. O grupo 1 é o nível do solo, o grupo 2 é o piso do mezanino e o grupo 3 é o forro de laje.

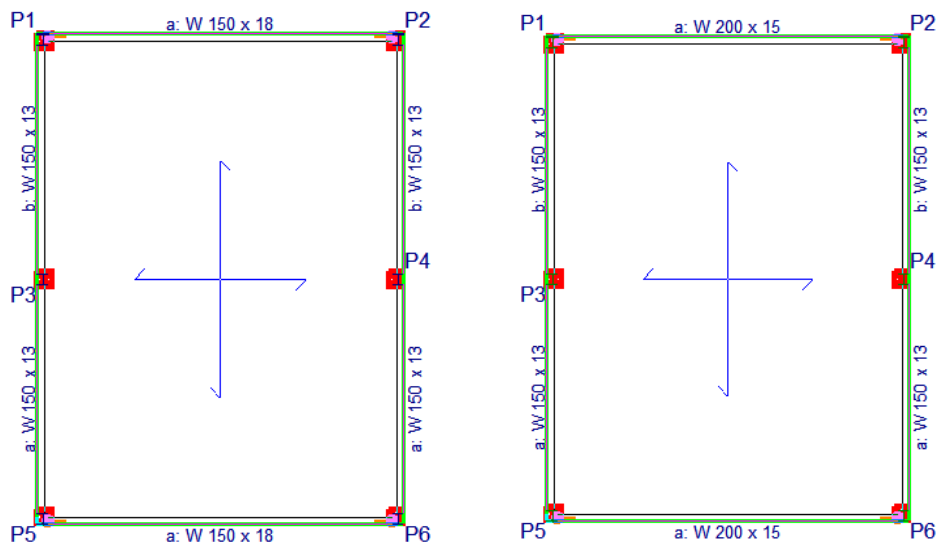
Figura 44 - Numeração das vigas.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Após as mudanças nos perfis, a representação do projeto no software ficou como na Figura 45.

Figura 45 - Seções das vigas da laje teto (à esquerda) e da laje piso (à direita) após o cálculo do CYPECAD.



Fonte: Próprio autor, 2021.

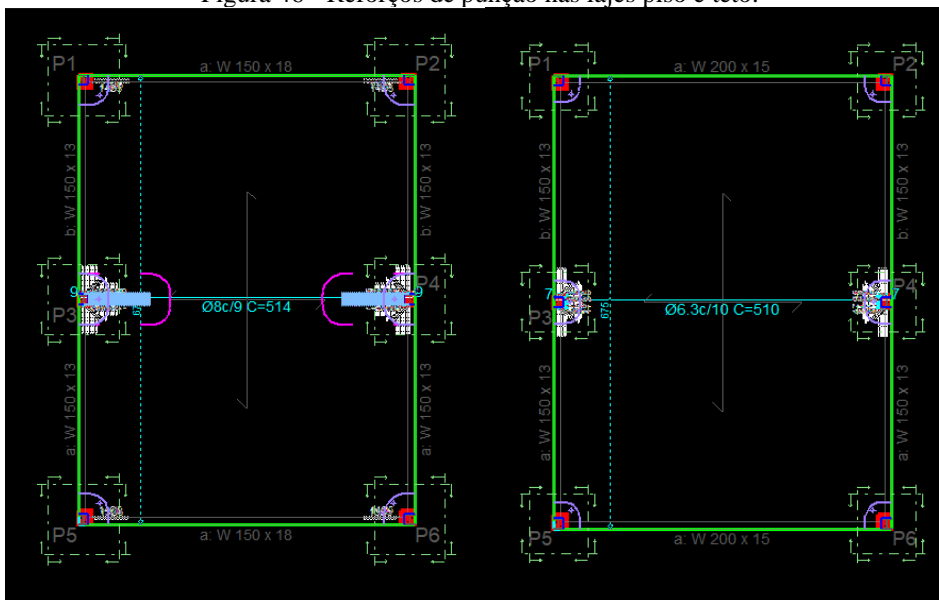
### 6.5.3 Seções com reforço por punção ou cortante

Como pode ser visto na Figura 46, o programa inseriu automaticamente armaduras nas seções com uma cortante muito alta ou que estivessem sofrendo punção. Essas armaduras consistem em duas barras longitudinais com diâmetro de 4.2 mm e uma armadura transversal



com estribos com um diâmetro de 4.2 mm e um espaçamento entre as armaduras de 3 cm. Além disso, para o grupo 2, o programa alterou a altura útil da laje, adotando 15 cm.

Figura 46 - Reforços de punção nas lajes piso e teto.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 7 DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO NO SAP2000

Para desenvolver a estrutura no programa, foram considerados os cálculos do item 5.1 CARGAS ATUANTES, utilizando também as mesmas unidades de medidas KN/m, tanto para as cargas das paredes, como para as cargas das portas e janelas.

### 7.1 CRIAÇÃO DOS GRIDS

Figura 47 - Plano de configuração para montagem do Grid.

Quick Grid Lines

Cartesian    Cylindrical

Coordinate System Name  
GLOBAL

Number of Grid Lines

X direction    3

Y direction    2

Z direction    3

Grid Spacing

X direction    3,35

Y direction    5

Z direction    3.

First Grid Line Location

X direction    0.

Y direction    0.

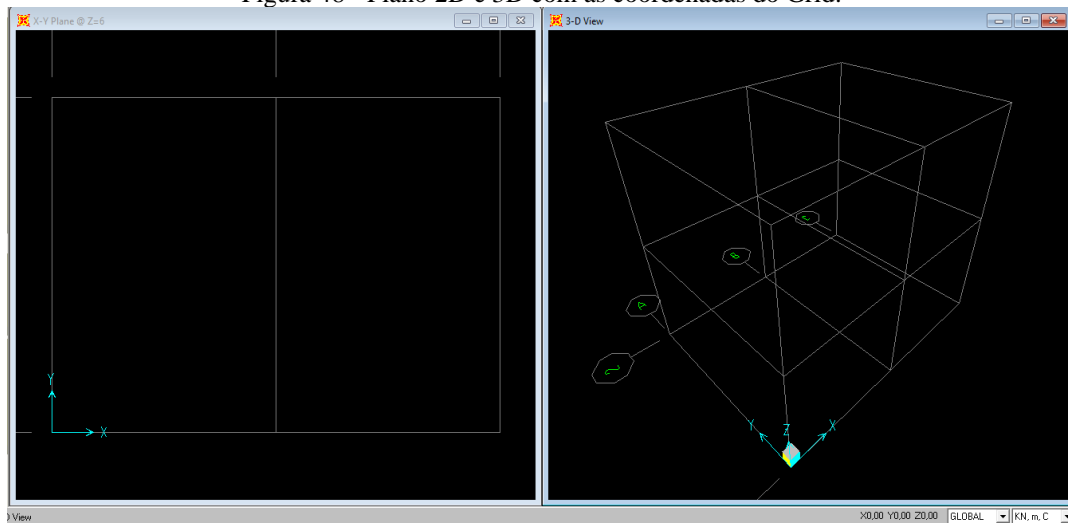
Z direction    0.

OK    Cancel

Fonte: Próprio autor, 2021.

Para dar início na modelagem da estrutura, antes de qualquer outra etapa, devem ser confeccionados os grids do projeto como mostra a Figura 47. Eles são as delimitações da estrutura, suas linhas são configuradas inicialmente no plano cartesiano do software, o modelo na Figura 48 configurado conforme as dimensões da planta estabelecidas na Figura 21, serve como gabarito para a inserção dos pilares e das vigas. Lembrando que isso não se aplica em todos os casos, pois os grids são apenas coordenadas que formam um modelo de estrutura, significando que nem todas as linhas devem ser preenchidas por algum elemento seja ele estrutural ou não.

Figura 48 - Plano 2D e 3D com as coordenadas do Grid.



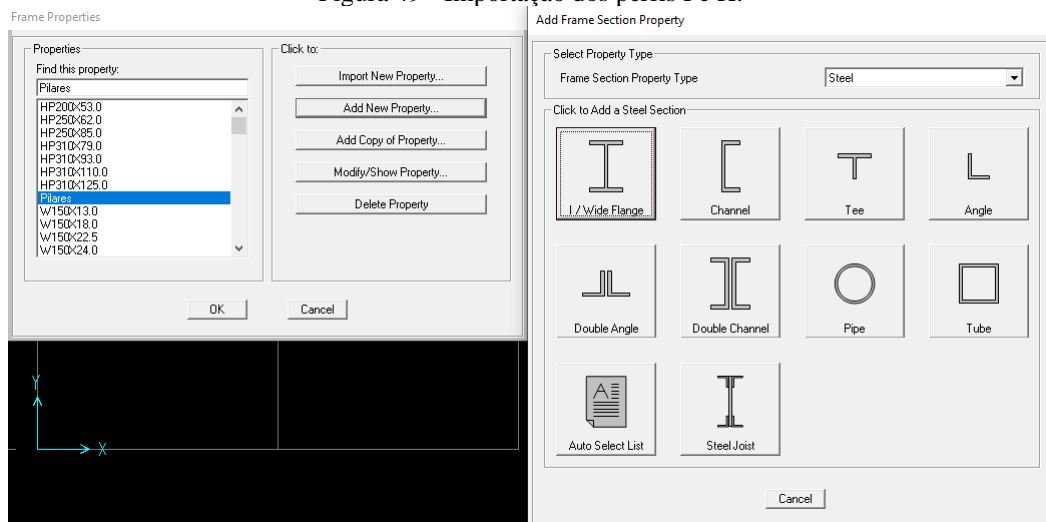
Fonte: Próprio autor, 2021.

## 7.2 LANÇAMENTO DOS PILARES

Através da criação dos grids, que se torna possível adicionar os pilares, como visto na Figura 48, cada linha posicionada na vertical foi inserido um pilar, onde sua altura é delimitada até o ponto de intersecção localizado na parte superior do modelo, formado com linha posicionada na horizontal. Todos os seis pilares foram inseridos de acordo com cada grid.

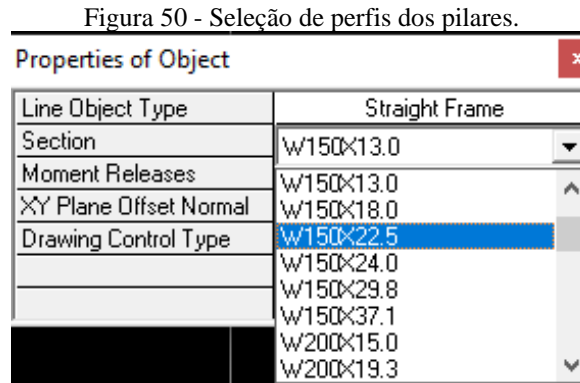
A configuração dos grids deve ser feita com atenção. Como visto na Figura 48, os pilares foram cotados a partir do eixo 0,0 com distâncias de 5 metros no eixo y e 3,35 metros no eixo x. No eixo z, pé direito do mezanino, no andar superior adotou altura de 2,70 metros, para isso o grid foi editado posteriormente em uma outra etapa.

Figura 49 - Importação dos perfis I e H.



Fonte: Próprio autor, 2021.

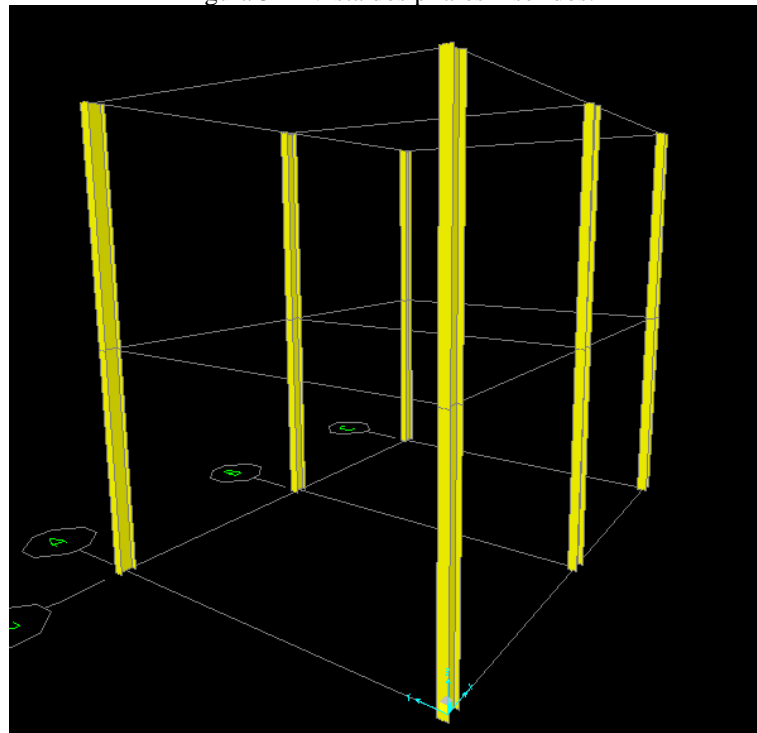
Na modelagem no SAP2000 também como no CYPECAD, foram utilizados perfis H da Aço Minas, na Figura 49 pode ser visto os perfis importados para o programa, os quais serão utilizados para vigas e pilares.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Inicialmente optou-se por inserir um perfil com a menor seção (figura 50), ressaltando, que adiante será feita a análise desses pilares, assim mostrando a seção adequada para essa situação.

Figura 51 - Vista dos pilares inseridos.

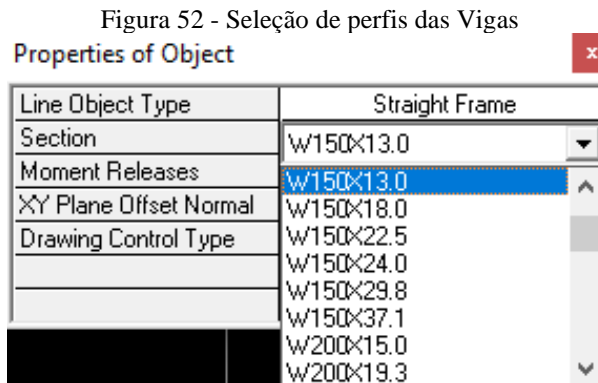


Fonte: Próprio autor, 2021.

Na Figura 51, pode-se ver os pilares lançados, sendo eles locados na extremidade e no ponto médio da estrutura, todos obedecendo as marcações das linhas de referência configuradas na etapa inicial.

### 7.3 LANÇAMENTO DAS VIGAS

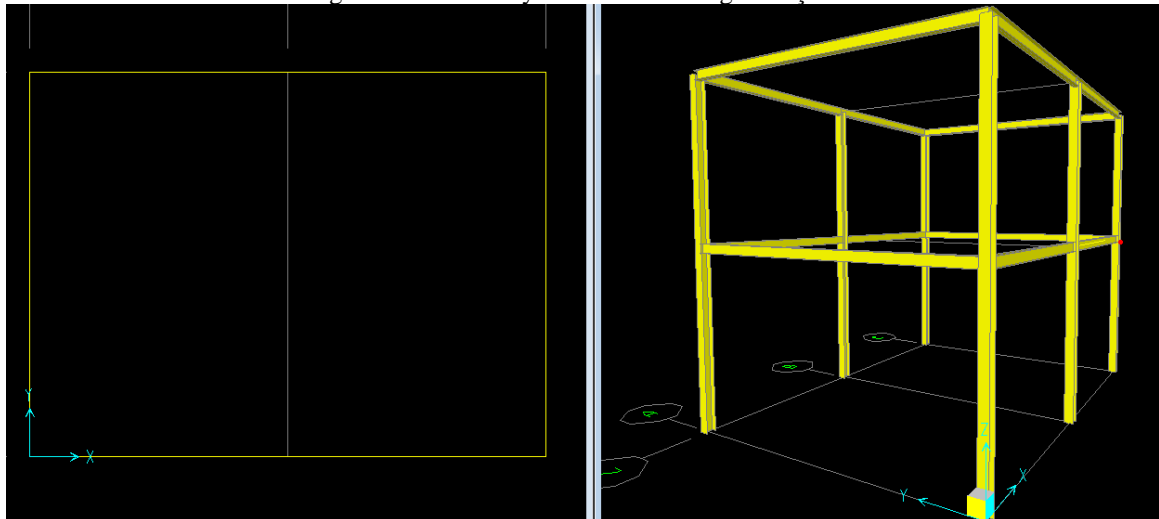
As vigas foram inseridas, agora, seguindo as linhas posicionadas na horizontal. Todas as vigas estão localizadas nos pontos externos da estrutura, com altura de 3 metros no primeiro andar e 2,70 metros até o forro. Assim como nos pilares, também foram utilizados os perfis I da Aço Minas (figura 06).



Fonte: Próprio autor, 2021.

Adotou-se a menor seção para modelagem das vigas, na intenção de que futuramente, após o lançamento das cargas, através da análise, o programa escolha a devida seção para cada viga.

Figura 53 - Plano x-y e vista 3D das vigas lançadas.



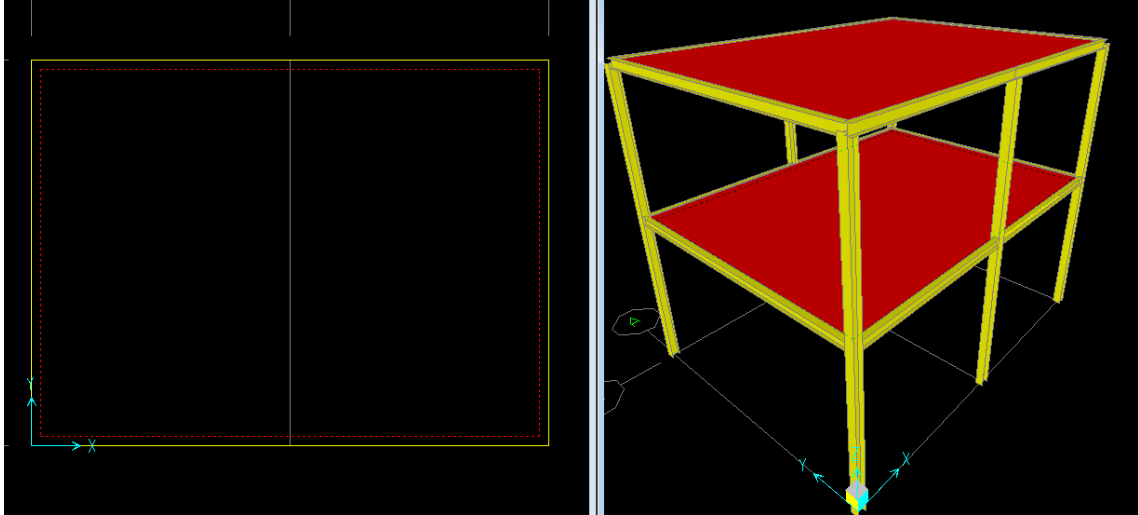
Fonte: Próprio autor, 2021.

### 7.4 INSERÇÃO DAS LAJES

A estrutura composta por duas lajes, as quais foram dimensionadas de acordo com a NBR 6118/2014, considerando as dimensões mínimas tanto para laje de piso 8 cm, como para

laje forro de 7 cm. A fim de analisar seu comportamento após a verificação do software. Ambas lajes são constituídas pelo mesmo concreto com resistência de 25MPa.

Figura 54 - Plano x-y e vista 3D das lajes inseridas.

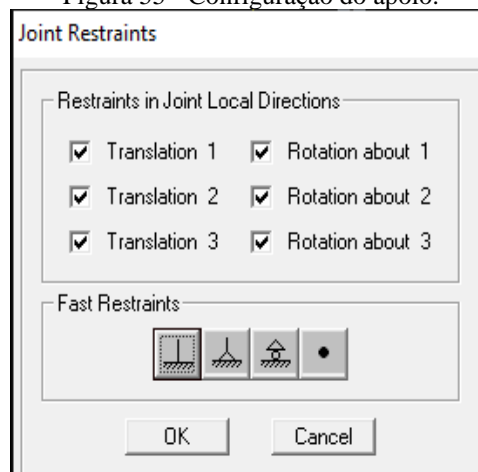


Fonte: Próprio autor, 2021.

## 7.5 CONDIÇÕES DE APOIO

Inserir vinculações nas vigas da estrutura é muito importante, devido sua influência direta na estabilidade, esforços e deslocamentos da estrutura. Para uma estrutura sem deslocamentos na horizontal e na vertical, e sem a possibilidade de giro, adiciona-se apoio engastado, também conhecido como apoio de terceiro gênero. Portanto tem-se reações em ambos sentidos, e ainda a presença de momento reativo.

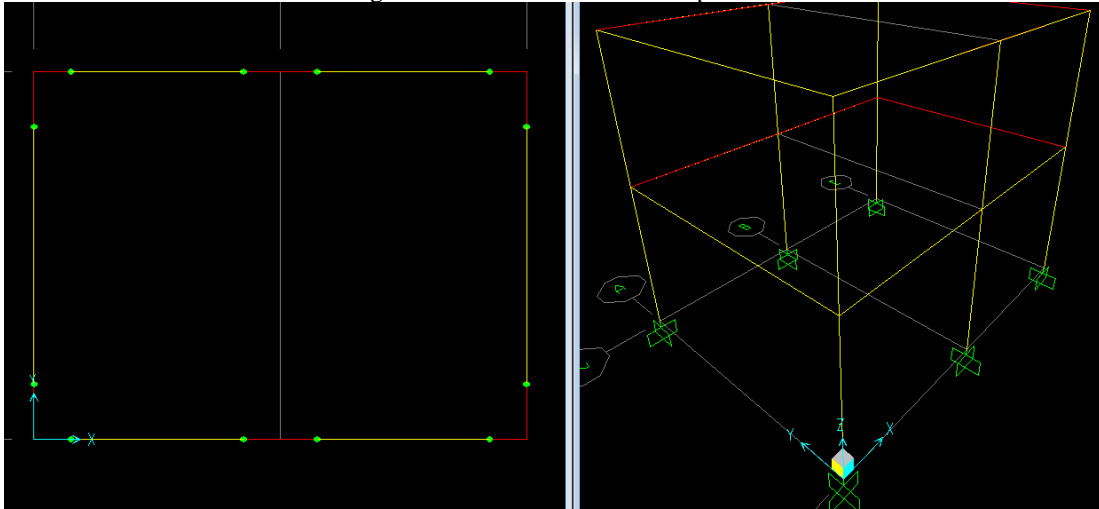
Figura 55 - Configuração do apoio.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Optou-se em aplicar uma rótula na ligação viga-pilar, assim, as vigas da estrutura em alguns casos, não transmitem momento fletor para o pilar. Na Figura 56, pode-se ver a aplicação de rótulas nas vigas da estrutura representadas pelos pontos verdes.

Figura 56 - Inserindo rótulas e apoios.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 7.6 LANÇAMENTO DAS CARGAS

As cargas foram criadas considerando o peso próprio da estrutura, além dos os cálculos das cargas paredes, janelas e portas feitos anteriormente no item 5.1, no qual esses resultados foram aplicados no pavimento piso do mezanino. Frizando que esses foram lançados como cargas distribuídas, e que para a laje da cobertura, foi ponderado apenas as cargas do peso próprio. Já para a sobrecarga de ocupação, o valor foi obtido pelo quadro abaixo.

Figura 57 - Valores mínimos das cargas verticais.

14 Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
17 Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
18 Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de $\phi$ indicados em 2.2.1.6	3
19 Ginásios de esportes		5

/continua

Fonte: NBR 6120:1980 pág 3, 1980.

Para uma boa análise da estrutura no programa, foi criada uma combinação, usando os valores obtidos da tabela abaixo. Então, 1,25 para peso próprio e 1,5 para sobrecarga.

Figura 58 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações.

**Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$**

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>a c</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: NBR 8800:2008 pag 28, 2008.

Conhecendo os vãos das lajes, considera-se  $l_x$  como o menor vão e  $l_y$  o maior; Tendo a equação

$$\lambda = l_y - l_x. \quad (25)$$

Para valor de  $\lambda$ , usa-se a seguinte classificação:

- $\lambda \leq 2 \rightarrow$  laje armada em duas direções;
- $\lambda > 2 \rightarrow$  laje armada em uma direção.

Portanto:  $\lambda = 6,7 / 5 \quad (26)$

$$\lambda = 1,34 \quad (27)$$



Figura 59 - Inserindo sobrecarga de ocupação na laje.

Area Uniform Loads to Frames

Load Pattern Name: + SOBRECARGA

Units: KN, m, C

Uniform Load:

Load: -2

Coord System: Area Local

Direction: 3

Distribution: Two-Way

Options:

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

OK Cancel

Fonte: Próprio autor, 2021.

Através dos cálculos correspondentes apenas a parede 7, foi inserido uma carga linear de 0,44 N (figura 60), Para as demais paredes e janelas foi feito o mesmo procedimento.

Figura 60 - Inserindo carga da parede 7.

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + PAREDE WALL

Units: KN, m, C

Load Type and Direction:

Forces  Moments

Coord Sys: GLOBAL

Direction: Gravity

Options:

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,	0,25	0,75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load:

Load: 0,44

OK Cancel

Fonte: Próprio autor, 2021.

## 7.7 CÁLCULO ESTRUTURAL NO SAP 2000

Finalizada toda parte de pré-dimensionamento, onde foram inseridos os pilares, as vigas, lajes, condições de apoio e as cargas. Portanto, nessa etapa se deu início de fato a análise da estrutura. Vale lembrar que foram adotadas dimensões mínimas dos elementos estruturais, a fim de que através de análise, verificar possíveis erros, e a adoção da melhor seção, caso necessário.

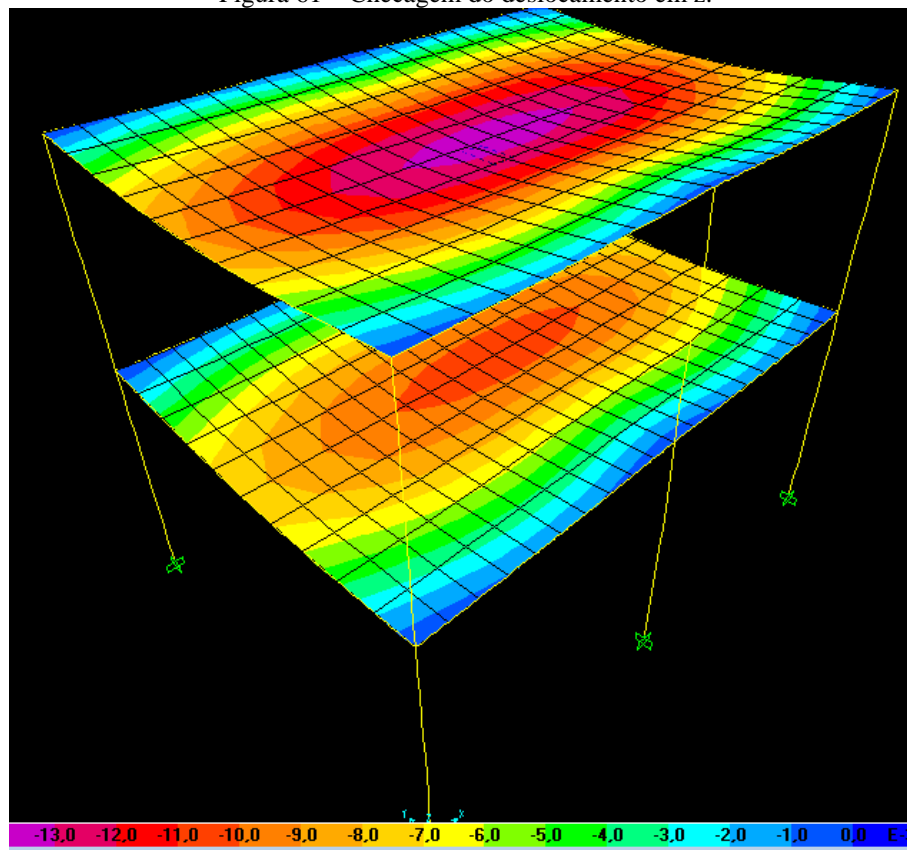
A NBR 8800 é a norma utilizada para calcular estruturas metálicas, no banco de dados do SAP 2000 não contém essa norma para fazer a análise, por isso adotou-se a norma americana, sendo ela a qual mais se assemelha a norma brasileira.

### 7.7.1 Lajes

Ambas as lajes foram pré definidas de acordo com a NBR 6118/2014, com suas extremidades apoiadas nas vigas. Assim sendo, foi feita uma verificação de flexas, com intuito de indentificar a flecha máxima, cuja foi calculada no item 5.2.5.1, obtendo: *Flecha máxima = 0,02 m ou 20 mm.*

Sabendo que o deslocamento máximo que as lajes estão sujeitas é de 20mm. A Figura 61 mostra o deslocamento máximo de 13 mm, resultado obtido na análise do programa. Assim como no CYPECAD, o deslocamento máximo das lajes obtido no SAP2000, atende o parâmetro máximo exigido por norma. Sendo assim, segue-se com a análise da estrutura utilizando 8 cm e 9 cm para laje forro e laje piso respectivamente

Figura 61 – Checagem do deslocamento em z.

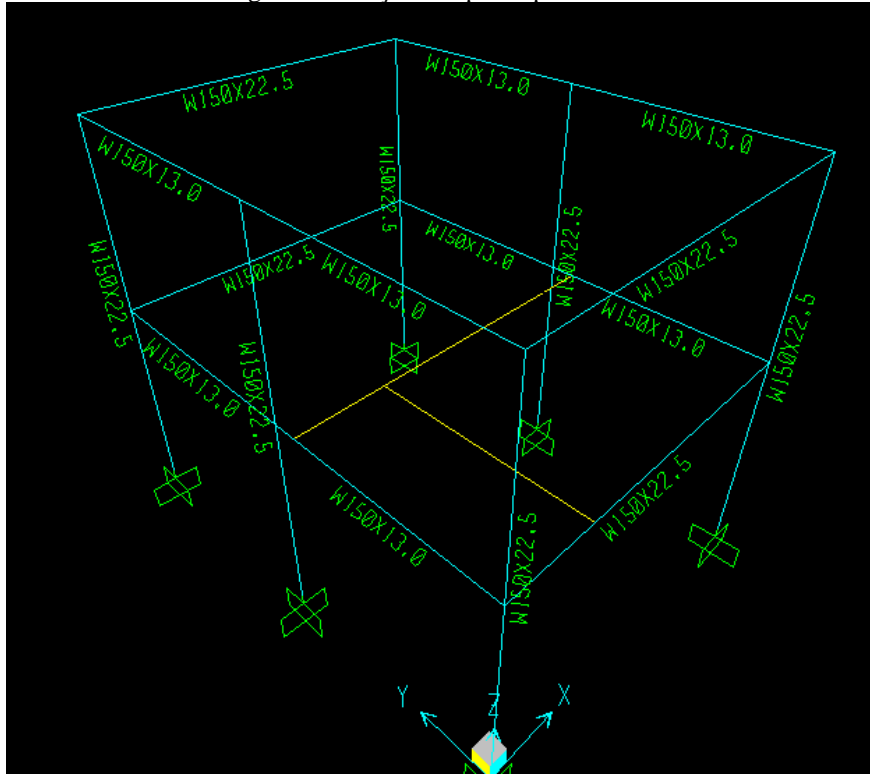


Fonte: Próprio autor, 2021.

### 7.7.2 Adoção de novas seções

Por fim, foi feito o cálculo, o software mostrou que quase todos perfis adotados inicialmente se adequam as circunstâncias a qual cada um foi submetido, e que apenas as vigas 1 e 4, localizadas na lateral menor, foram alteradas para novas seções de 150x22,5 mm, representado na Figura 62.

Figura 62 - Seção dos perfis pós-análise.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com a conclusão do dimensionamento do projeto em ambos os softwares, obteve-se os resultados necessários para a confrontação do comportamento das estruturas. Adiante, serão realizadas essas comparações para posterior conclusão sobre o grau de semelhança entre o CYPECAD e o SAP2000.

### 8.1 PILARES E VIGAS

#### 8.1.1 Seções dos perfis

Como ambos os softwares ficaram livre para a determinação das seções que melhor se adequariam às demandas do projeto, é válido fazer a comparação dessas. As tabelas abaixo, relacionam os pilares às suas respectivas dimensões.

Tabela 4 - Seções dos pilares no CYPECAD e SAP2000.

PILARES (H)	CYPECAD (mm)	SAP2000 (mm)
1	150 x 22,5	150 x 22,5
2	150 x 22,5	150 x 22,5
3	150 x 22,5	150 x 22,5
4	150 x 22,5	150 x 22,5
5	150 x 22,5	150 x 22,5
6	150 x 22,5	150 x 22,5

Fonte: Próprio autor, 2021.

Tabela 5 - Seções das vigas (piso) no CYPECAD e SAP2000.

VIGAS (PISO)	CYPECAD (mm)	SAP2000 (mm)
1	250 x 22,3	150 x 22,5
2	150 x 13	150 x 13
3	150 x 13	150 x 13
4	200 x 22,5	150 x 22,5
5	150 x 13	150 x 13
6	150 x 13	150 x 13

Fonte: Próprio autor, 2021.

Tabela 6 - Seções das vigas (teto) no CYPECAD e SAP2000.

VIGAS (TETO)	CYPECAD (mm)	SAP2000 (mm)
1	250 x 22,3	150 x 22,5
2	150 x 13	150 x 13
3	150 x 13	150 x 13
4	150 x 18	150 x 22,5
5	150 x 13	150 x 13
6	150 x 13	150 x 13

Fonte: Próprio autor, 2021.

As dimensões finais dos pilares foram equivalentes em ambos os softwares. Porém, para as vigas, houve uma diferença nos perfis das vigas 1 e 4 do piso, onde no CYPECAD a dimensão adotada foi de 250 x 22,3 (mm) e no SAP 2000 a seção foi de 150 x 22,5 (mm). Para o teto, a viga 1 foi de 250 x 22,3 (mm) no CYPECAD e 150 x 22,5 (mm) no SAP 2000 e a viga 4 foi de 150 x 18 (mm) no CYPECAD e 150 x 22,5 (mm) no SAP 2000.

## 8.1.2 Análise Estrutural

### 8.1.2.1 Pilares

- Pilar 1

Tabela 7 - Esforços pilar 1 no CYPECAD e no SAP2000.

ESFORÇOS		CYPECAD	SAP2000
Cortante em x (kN)		- 4,8	-5,88
Cortante em y (kN)		-2,3	-2,09
Normal (kN)	Superior	23,8	23,25
	Inferior	24,6	25,75
Momento em x (kN.m)	Superior	-2,4	-3,1
	Inferior	3,2	3,10
Momento em y (kN.m)	Superior	4,7	4,1
	Inferior	-7,0	-7,50
Coeficiente de aproveitamento		39,7%	43,1%

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Pilar 2

Tabela 8 - Esforços pilar 2 no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante em x (kN)		4,8	5,7
Cortante em y (kN)		2,3	2,14
Normal (kN)	Superior	23,8	23,22
	Inferior	24,7	26,41
Momento em x (kN.m)	Superior	-2,4	-2,72
	Inferior	3,2	3,46
Momento em y (kN.m)	Superior	-4,7	-4,22
	Inferior	7,0	6,82
Coeficiente de aproveitamento		39,8 %	43,1%

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Pilar 3

Tabela 9 - Esforços pilar 3 no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante em x (kN)		- 10,0	-12,38
Cortante em y (kN)		0,0	-0,2
Normal (kN)	Superior	48,5	52,7
	Inferior	49,3	60,8
Momento em x (kN.m)	Superior	0,0	0,2
	Inferior	0,1	0,0
Momento em y (kN.m)	Superior	11,8	16,50
	Inferior	-13,8	-16,74
Coeficiente de aproveitamento		65,9%	69,3%

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Pilar 4

Tabela 10 - Esforços pilar 4 no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante em x (kN)		10,0	12,38
Cortante em y (kN)		0,0	-0,12
Normal (kN)	Superior	48,5	52,49
	Inferior	49,3	59,13
Momento em x (kN.m)	Superior	0,0	0,0
	Inferior	0,0	0,0
Momento em y (kN.m)	Superior	-11,9	-13,74
	Inferior	13,7	16,82
Coeficiente de aproveitamento		65,7 %	69,2%

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Pilar 5

Tabela 11 - Esforços pilar 5 no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante em x (kN)		- 4,8	-5,67
Cortante em y (kN)		2,3	1,57
Normal (kN)	Superior	23,8	23,18
	Inferior	24,6	27,28
Momento em x (kN.m)	Superior	2,4	2,7
	Inferior	-3,3	-3,88
Momento em y (kN.m)	Superior	4,7	3,47
	Inferior	-7,1	-6,58
Coeficiente de aproveitamento		40,3 %	42,6%

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Pilar 6

Tabela 12 - Esforços pilar 6 no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante em x (kN)		4,8	5,87
Cortante em y (kN)		2,3	2,28
Normal (kN)	Superior	23,8	26,46
	Inferior	24,6	27,59
Momento em x (kN.m)	Superior	2,4	2,9
	Inferior	-3,2	-3,02
Momento em y (kN.m)	Superior	-4,7	-3,20
	Inferior	7,1	6,68
Coeficiente de aproveitamento		40,1 %	44,7%

Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8.1.2.2 Vigas

## 8.1.2.2.1 Grupo 2 (Piso)

- Viga 1

Tabela 13 - Esforços na viga 1 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	12,0	14,2
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	20,91	16,51
Torção (kN.m)	0,03	-0,01

Fonte: Próprio autor, 2021.



- Viga 2

Tabela 14 - Esforços na viga 2 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	9,87	9,44
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	6,02	4,92
Torção (kN.m)	0,0	0,04

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 3

Tabela 15 - Esforços na viga 3 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	9,78	9,26
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	6,13	4,78
Torção (kN.m)	0,0	0,04

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 4

Tabela 16 - Esforços na viga 4 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	12,33	14,52
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	21,11	16,79
Torção (kN.m)	0,03	0,01

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 5

Tabela 17 - Esforços na viga 5 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	9,64	7,17
Normal (kN)	0,0	0,02
Momento Fletor (kN.m)	6,22	8,45
Torção (kN.m)	0,0	0,82

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 6

Tabela 18 - Esforços na viga 6 (grupo 2) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	9,96	9,70
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	6,00	5,15
Torção (kN.m)	0,0	0,45

Fonte: Próprio autor, 2021.

#### 8.1.2.2.2 Grupo 3 (Teto)

- Viga 1

Tabela 19 - Esforços na viga 1 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	11,12	13,69
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	20,89	18,06
Torção (kN.m)	0,02	0,02

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 2

Tabela 20 - Esforços na viga 2 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	7,42	7,35
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	4,45	2,99
Torção (kN.m)	0,0	0,03

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 3

Tabela 21 - Esforços na viga 3 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	7,41	7,26
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	4,45	2,90
Torção (kN.m)	0,0	0,33

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 4

Tabela 22 - Esforços na viga 4 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	11,12	13,65
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	20,87	18,05
Torção (kN.m)	0,02	0,02

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 5

Tabela 23 - Esforços na viga 5 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	7,40	7,31
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	4,45	2,91
Torção (kN.m)	0,0	-0,03

Fonte: Próprio autor, 2021.

- Viga 6

Tabela 24 - Esforços na viga 6 (grupo 3) no CYPECAD e no SAP2000.

<b>ESFORÇOS</b>	<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN)	7,40	7,41
Normal (kN)	0,0	0,0
Momento Fletor (kN.m)	4,46	3,08
Torção (kN.m)	0,0	0,03

Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8.2 LAJES

Os esforços sofridos pelas lajes são ilustrados em sua grande maioria em gráficos de cores. Esses esforços se subdividem em três tipos: peso próprio, sobrecarga e cargas permanentes, sendo exposto também os esforços e deformações sofridas pelas combinações dessas cargas, pelo Estado de limite último quando analisada a cortante e o momento fletor e pelo Estado de limite de serviço quando analisada as deformações. Diante disso, esta parte do trabalho será subdividida de acordo com os esforços anteriormente citados e, também pela combinação desses. Realizando-se a confrontação dos valores obtidos em cada fase em ambos os softwares, CYPECAD e SAP 2000. Diferentemente do CYPECAD, o SAP2000, em modo de análise, no diagrama de cores no rodapé do programa, não mostra a deformação, momento fletor e cortante total atuando apenas em uma laje, ele mostra o valor máximo que atuou nas duas lajes. Então para as imagens do SAP2000, o diagrama de forças vai apresentar o valor máximo em ambas lajes, não significando que os valores mostrados na laje atual, seja realmente o valor máximo.

### 8.2.1 Peso Próprio

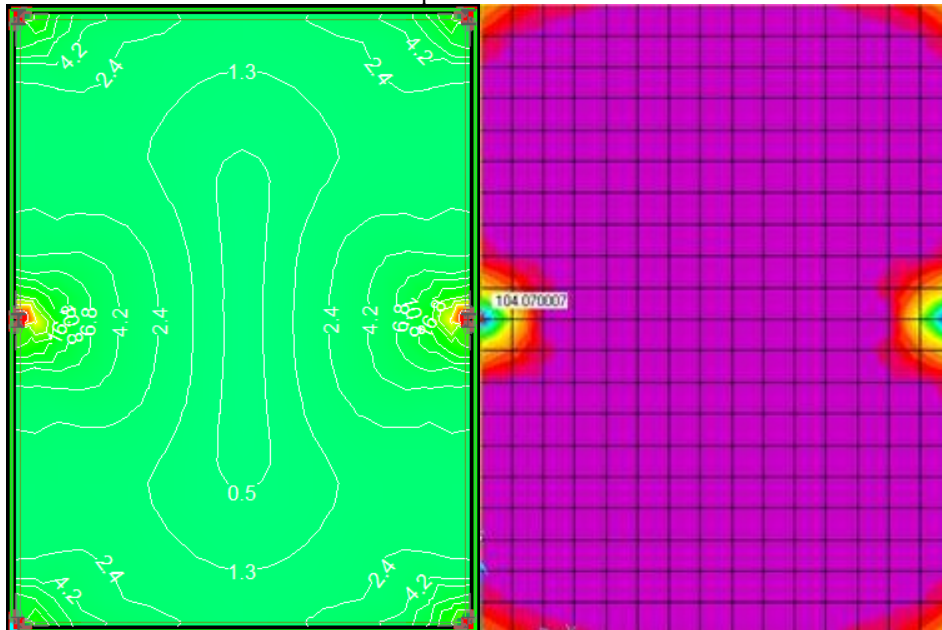
#### 8.2.1.1 Cortante total

Tabela 25 - Cortante total nas lajes causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

<b>ESFORÇO</b>		<b>CYPECAD</b>	<b>SAP2000</b>
Cortante (kN/m)	Laje Piso	101,49	104,07
	Laje Teto	85,93	71,45

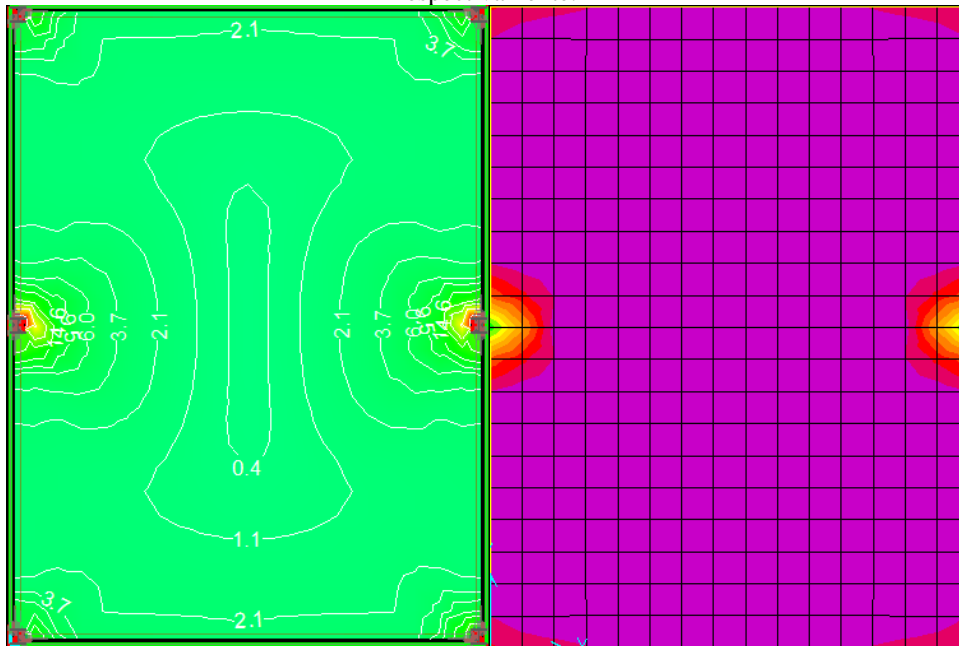
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 63 - Cortante total na laje piso causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 64 - Cortante total na laje teto causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

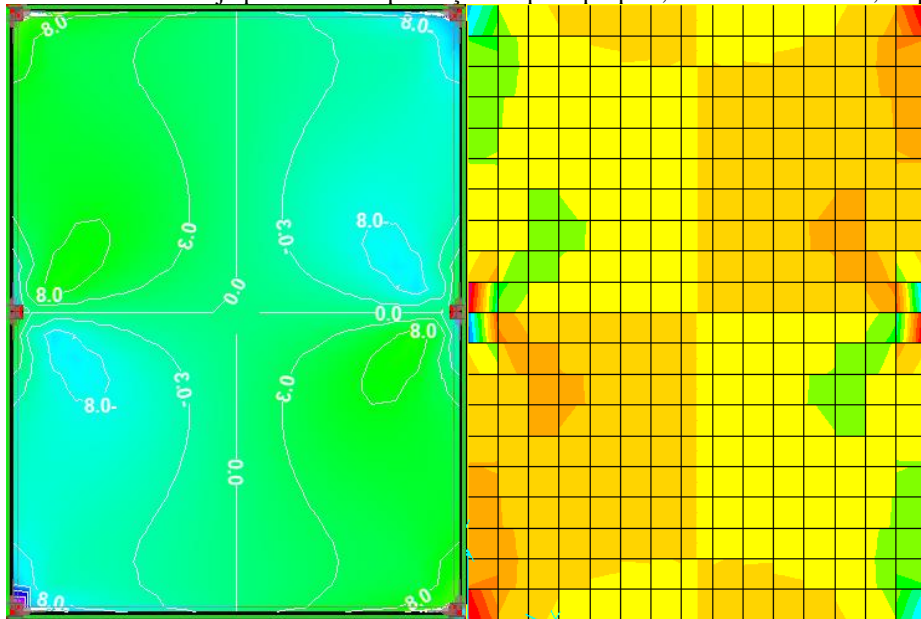
## 8.2.1.2 Momento Fletor

Tabela 26 - Momento fletor nas lajes causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Momento fletor (KN.m/m)	Laje Piso	4,53	4,31
	Laje Teto	3,74	1,95

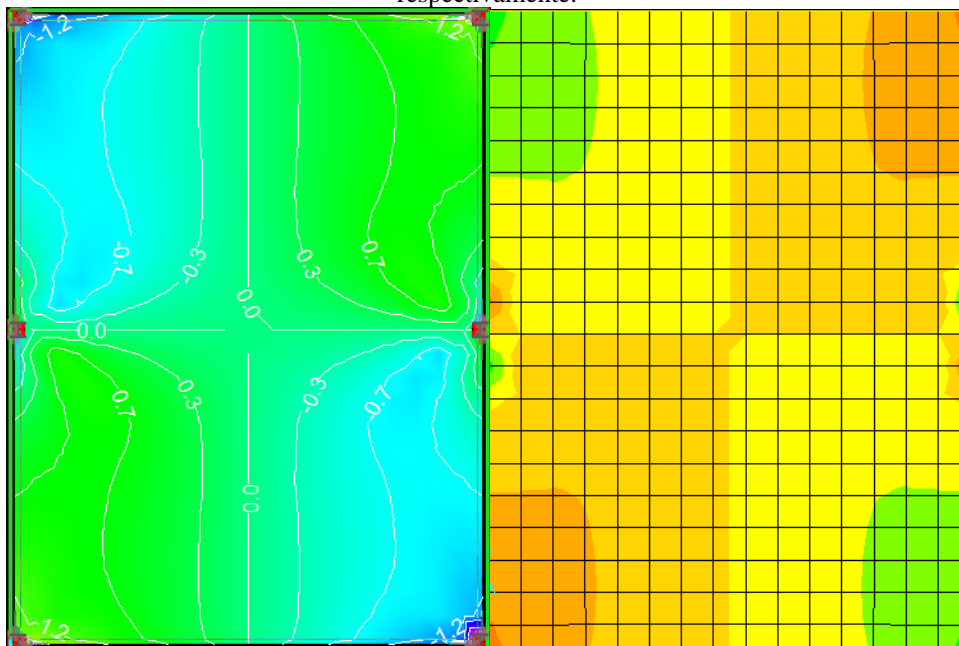
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 65 - Momento fletor na laje piso causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 66 - Momento fletor na laje teto causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

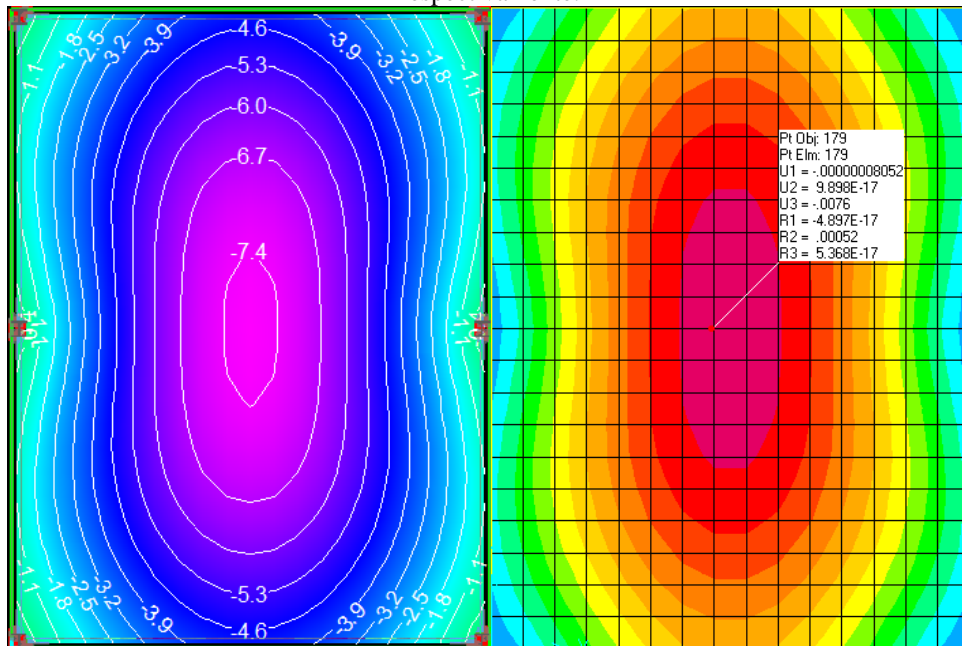
## 8.2.1.3 Deslocamento em z

Tabela 27 - Deformação nas lajes causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Deslocamento (mm)	Laje Piso	7,53	7,60
	Laje Teto	8,5	8,45

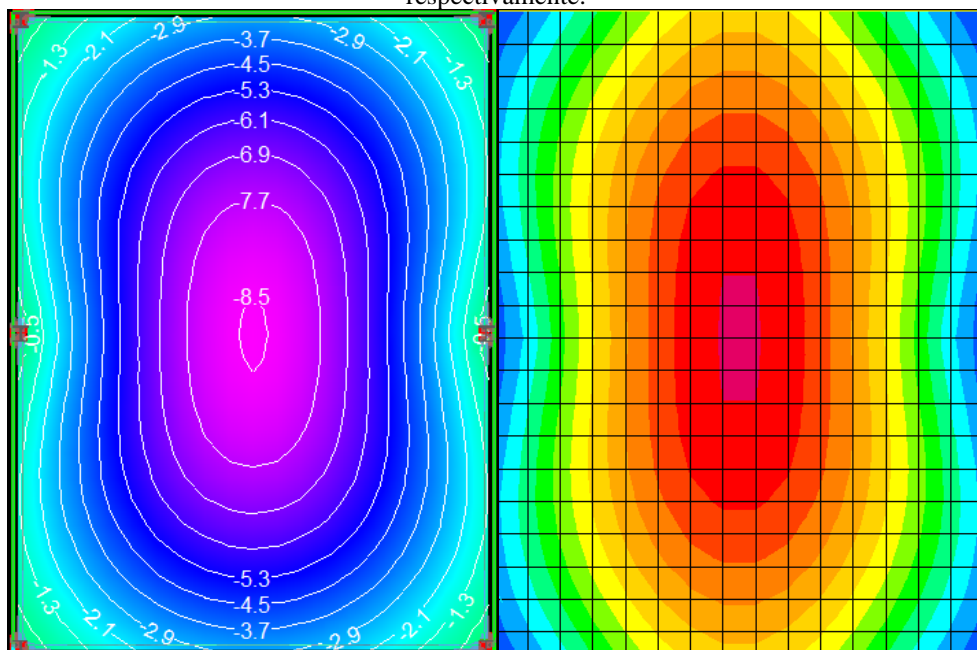
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 67 - Deformação na laje piso causada pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 68 - Deslocamento na laje teto causado pela ação do peso próprio, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8.2.2 Cargas Permanentes

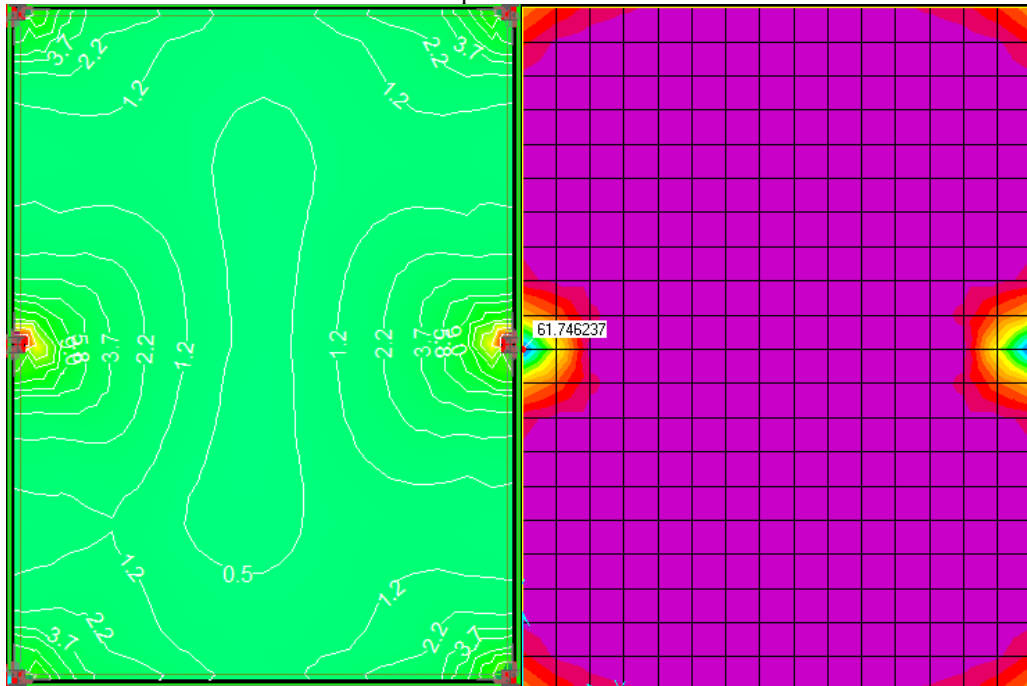
### 8.2.2.1 Cortante total

Tabela 28 - Cortante total nas lajes causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Cortante (KN/m)	Laje Piso	72,94	61,76
	Laje Teto	55,46	42,90

Fonte: Próprio autor, 2021.

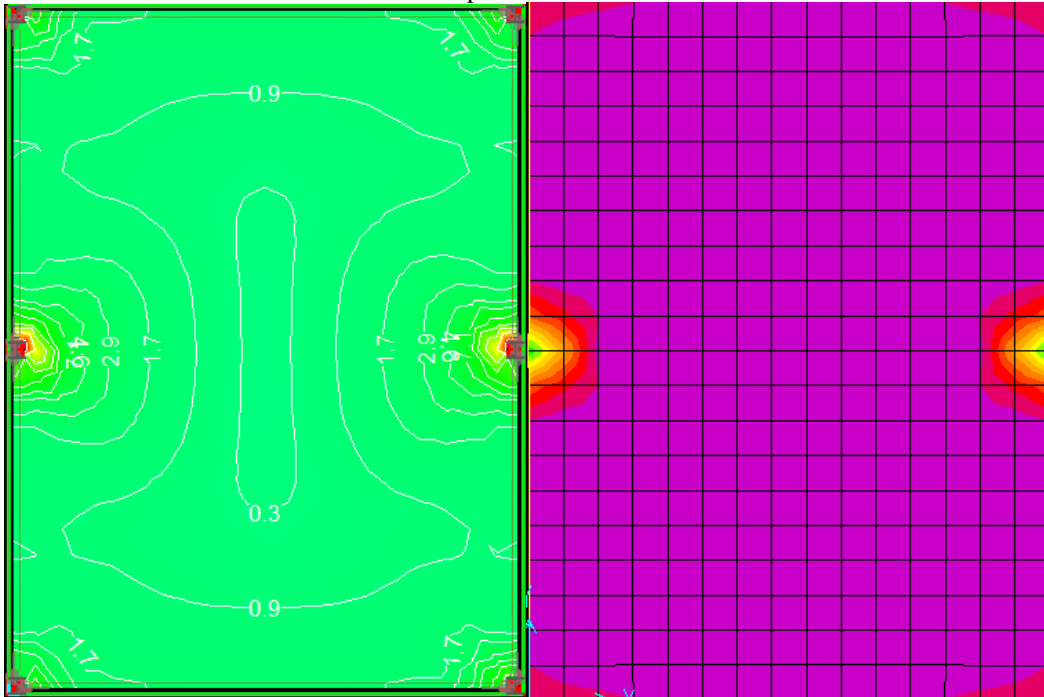
Figura 69 - Cortante total na laje piso causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.



Figura 70 - Cortante total na laje teto gerado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

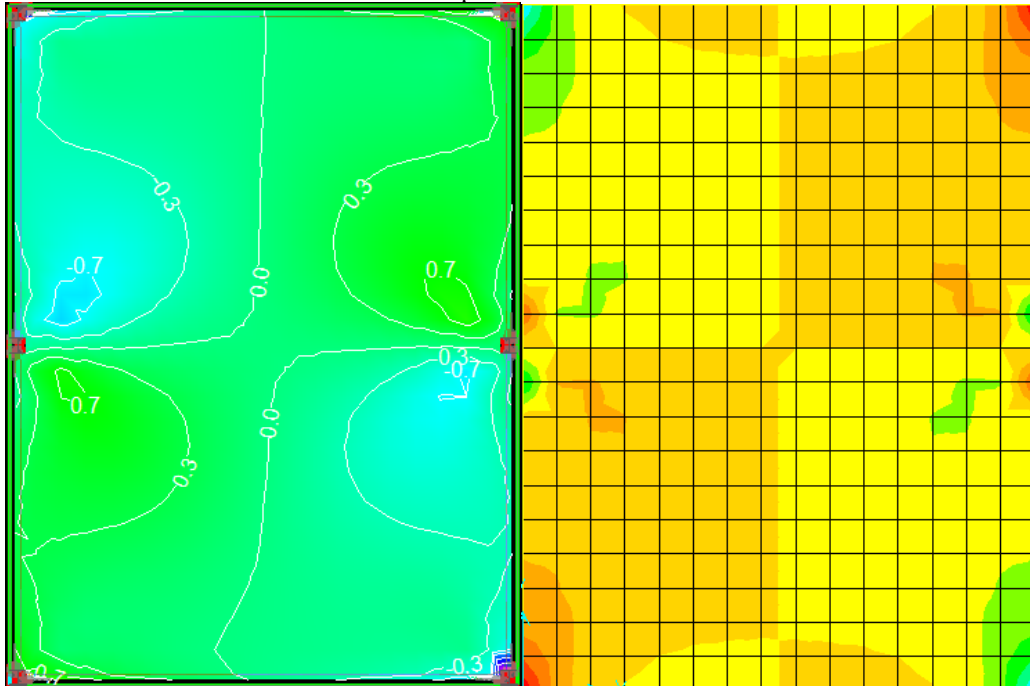
#### 8.2.2.2 Momento Fletor

Tabela 29 - Momento fletor nas lajes causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Momento fletor (KN.m/m)	Laje Piso	3,45	2,80
	Laje Teto	2,45	1,20

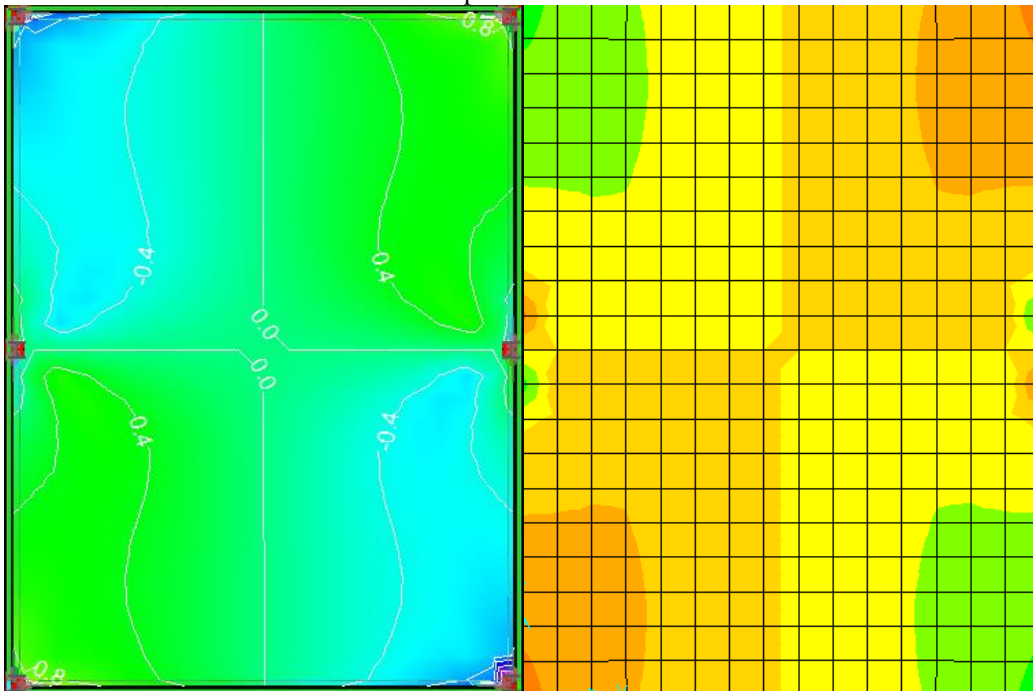
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 71 - Momento fletor na laje piso causado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 72 - Momento fletor na laje teto gerado pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

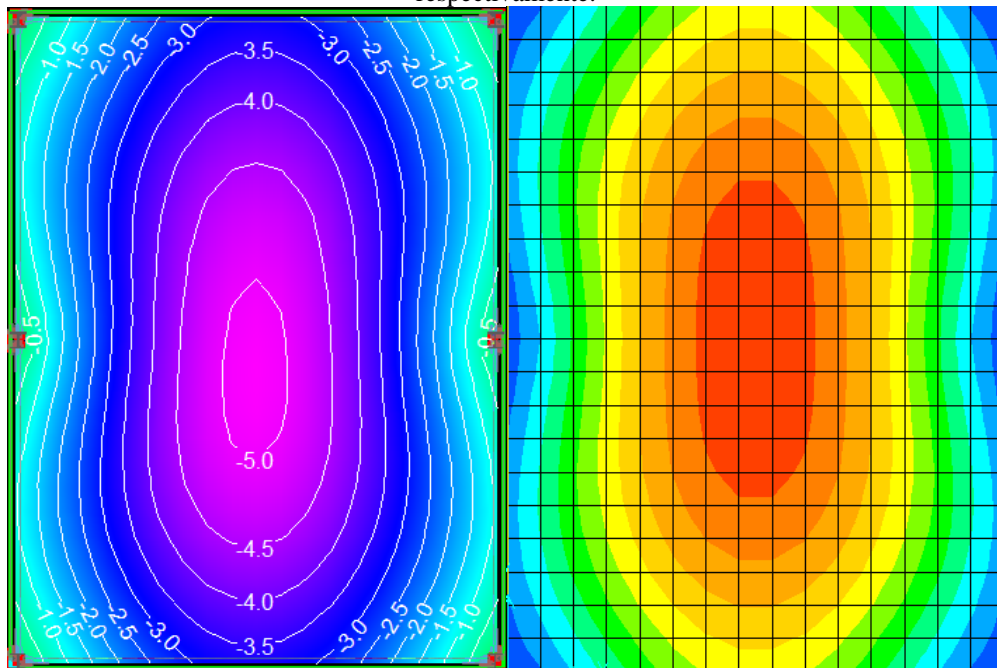
## 8.2.2.3 Deslocamento em z

Tabela 30 - Deformação nas lajes causada pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Deslocamento (mm)	Laje Piso	5,13	4,30
	Laje Teto	5,30	5,20

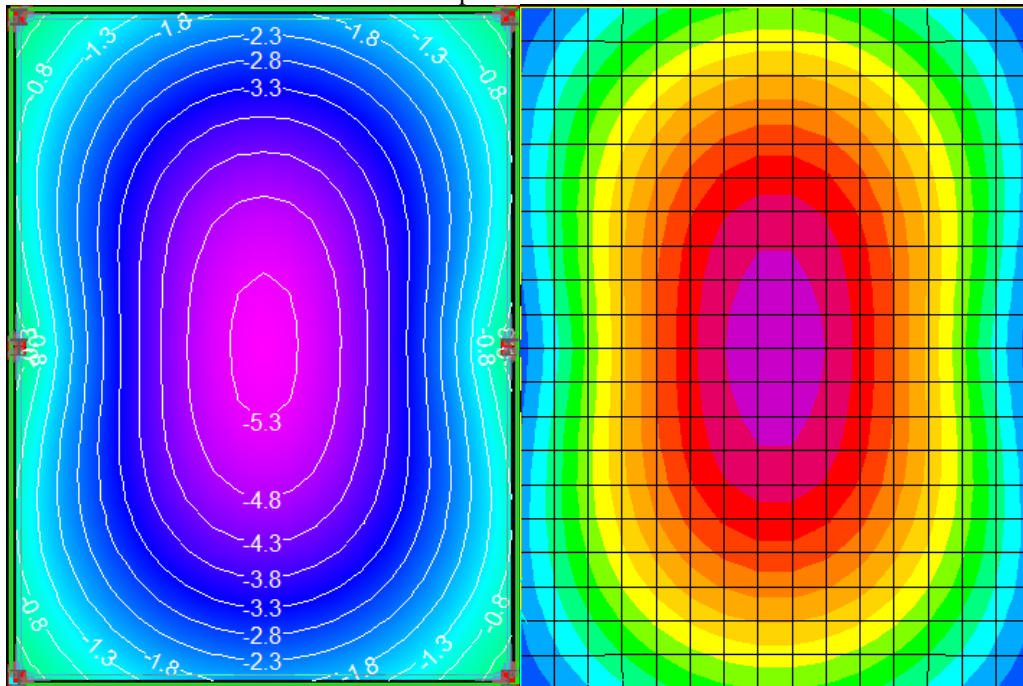
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 73 - Deformação na laje piso causada pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 74 - Deslocamento máximo na laje teto causa pela ação das cargas permanentes, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8.2.3 Sobrecarga

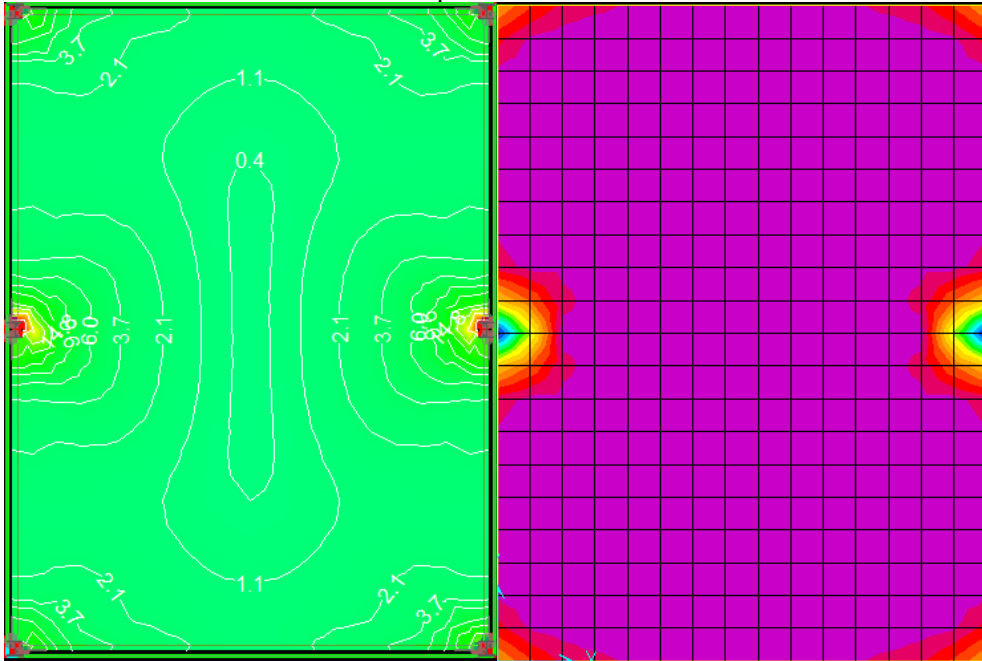
### 8.2.3.1 Cortante total

Tabela 31 - Cortante total nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Cortante (KN/m)	Laje Piso	87,47	90,01
	Laje Teto	29,94	20,95

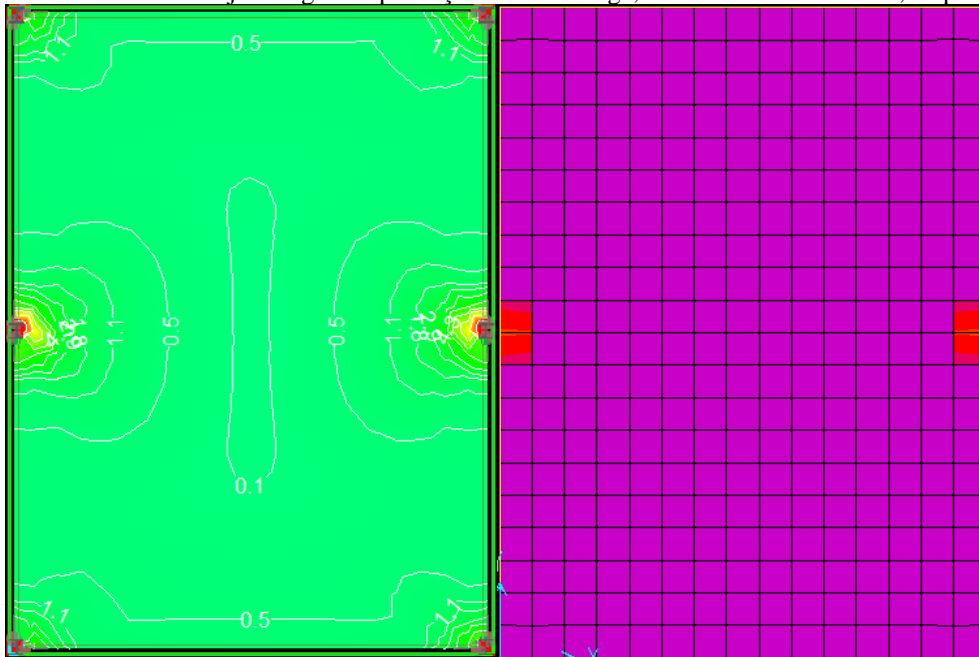
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 75 - Cortante total na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 76 - Cortante total na laje teto gerada pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

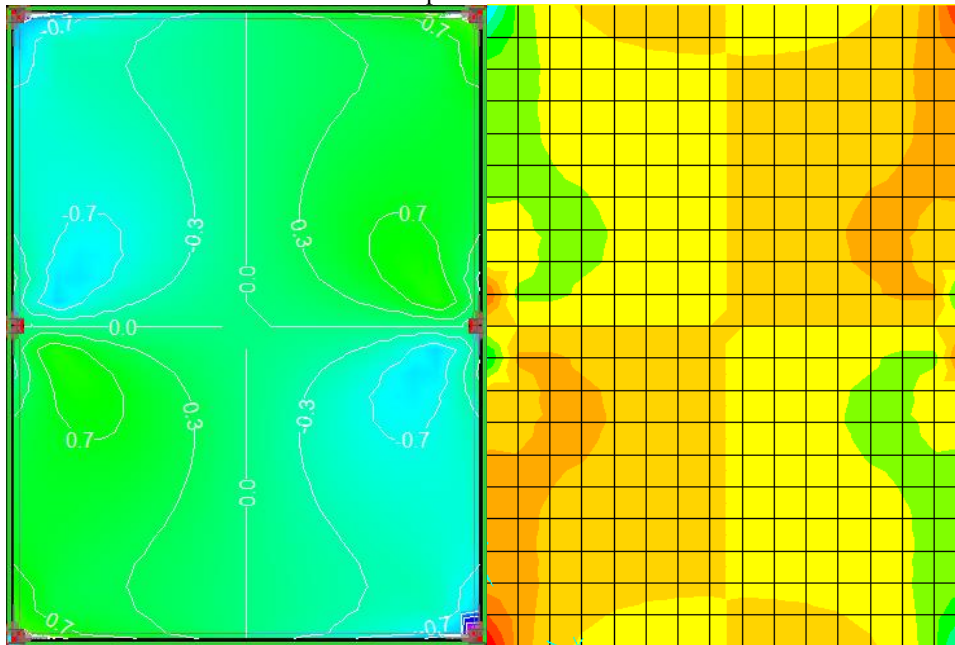
## 8.2.3.2 Momento Fletor

Tabela 32 - Momento fletor nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Momento fletor	Laje Piso	4,02	3,35
(KN.m/m)	Laje Teto	1,13	0,55

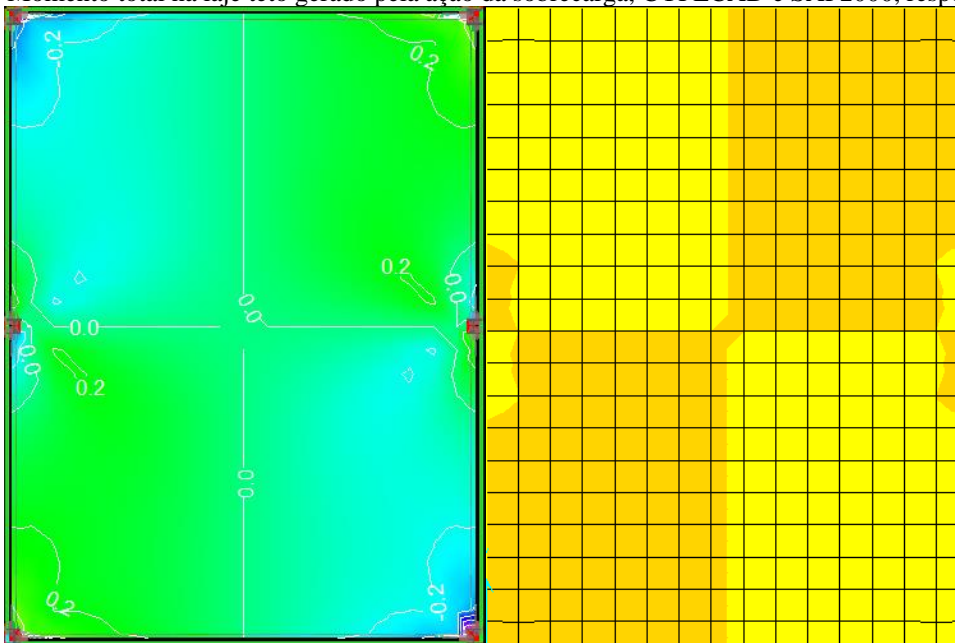
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 77 - Momento fletor na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 78 - Momento total na laje teto gerado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

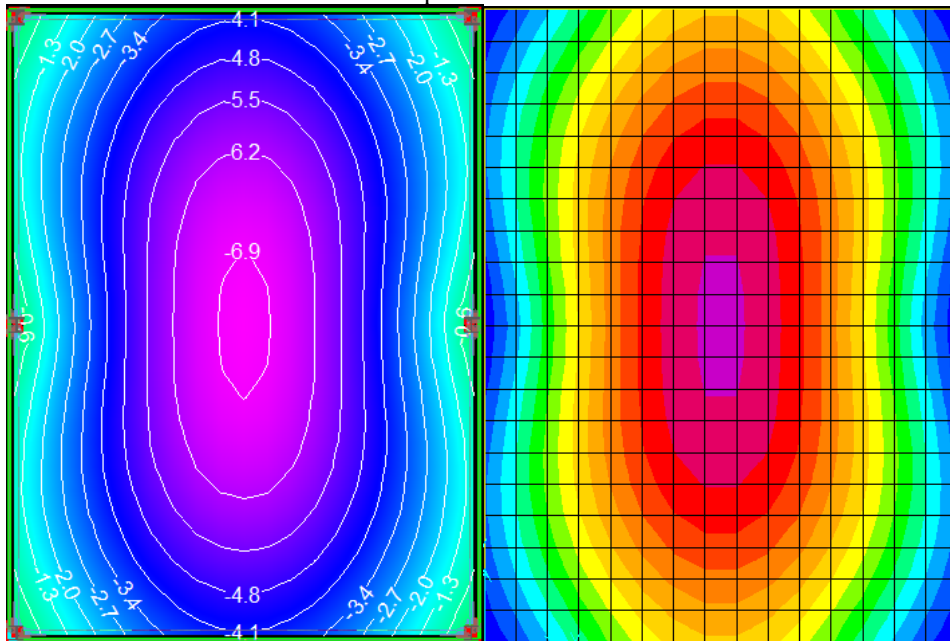
## 8.2.3.3 Deslocamento em z

Tabela 33 - Deslocamento nas lajes causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Deslocamento (mm)	Laje Piso	7,02	7,10
	Laje Teto	1,95	2,00

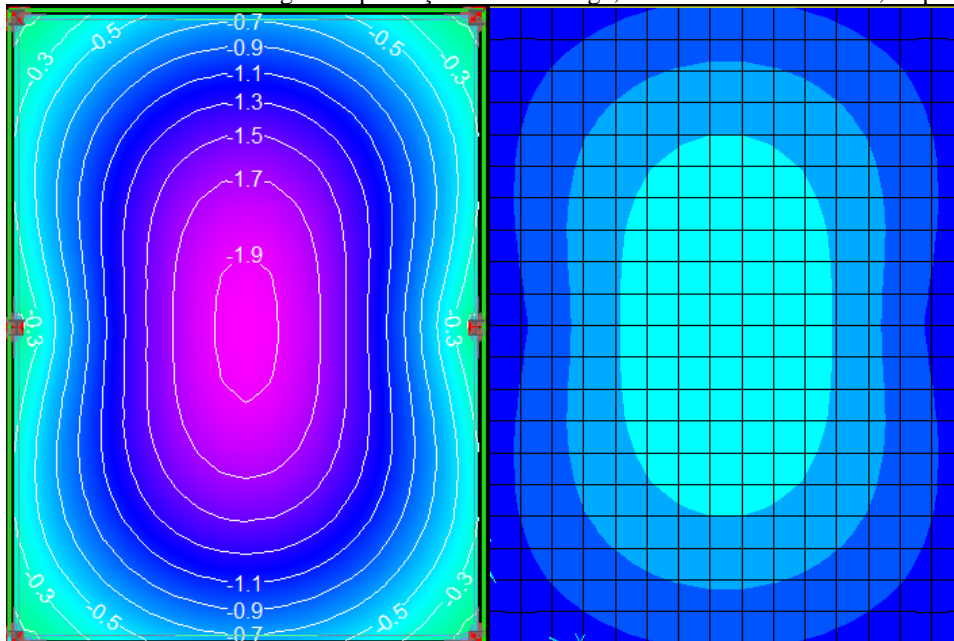
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 79 - Deslocamento na laje piso causado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 80 - Deslocamento máximo gerado pela ação da sobrecarga, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 8.2.4 Combinação

A combinação de cargas utilizada será para o estado limite último do concreto, sendo igual a equação abaixo:

$$Sd = 1,4 \times PP + 1,4 \times CP + 1,4 \times Qa \quad (29)$$

Onde:

PP = Peso próprio do concreto.

CP = Cargas permanentes atuantes na laje.

Qa = Sobrecarga atuante na laje.

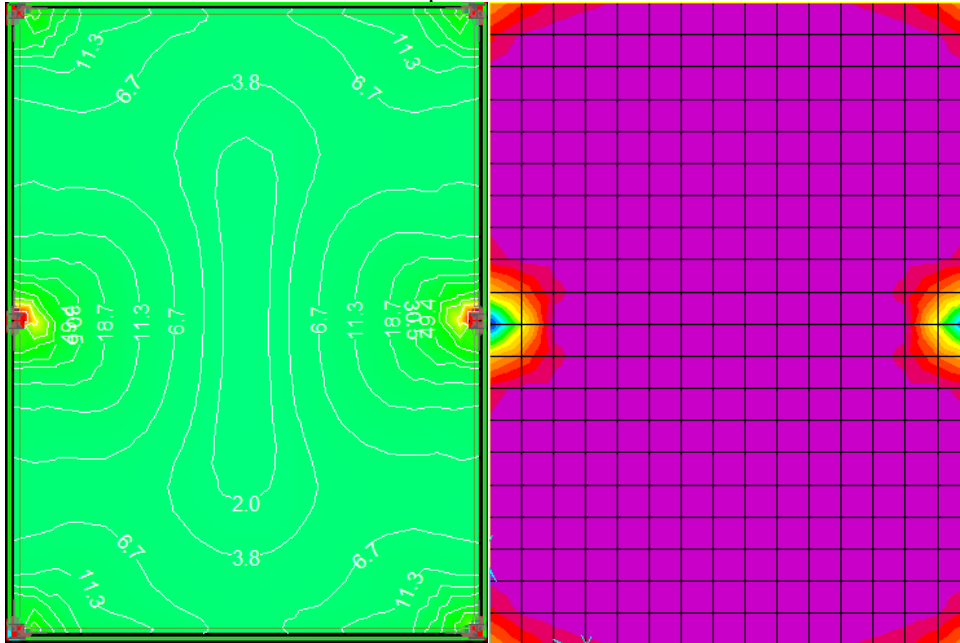
### 8.2.4.1 Cortante total

Tabela 34 - Cortante total nas lajes causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Cortante (KN/m)	Laje Piso	366,66	365,24
	Laje Teto	235,65	189,79

Fonte: Próprio autor, 2021.

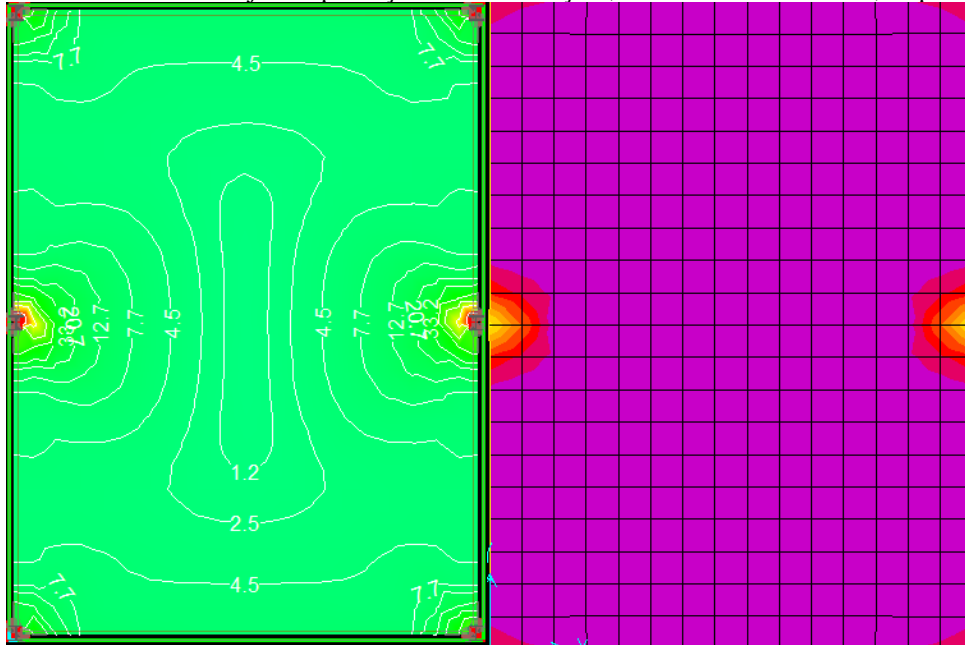
Figura 81 - Cortante total na laje piso causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.



Figura 82 - Cortante Total na laje teto pela ação das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

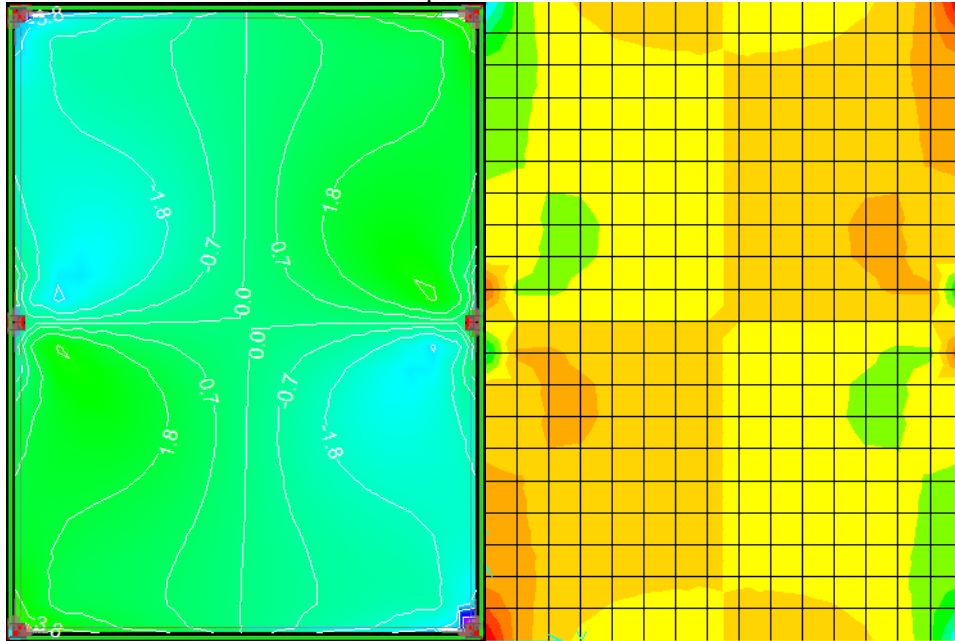
#### 8.2.4.2 Momento Fletor

Tabela 35 - Momento fletor nas lajes causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Momento fletor (KN.m/m)	Laje Piso	16,79	15,40
	Laje Teto	10,24	7,83

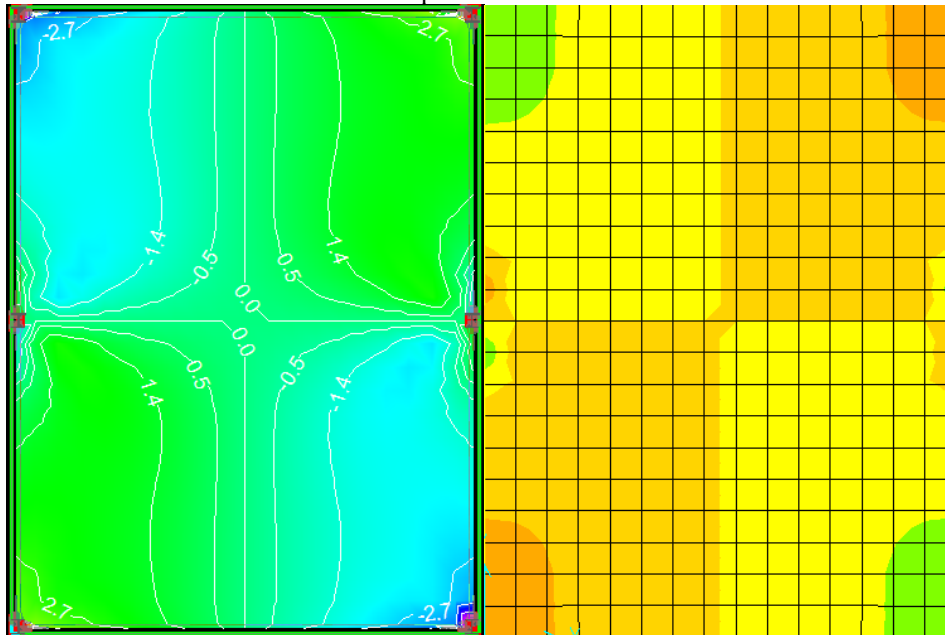
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 83 - Momento fletor na laje piso causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 84 - Momento Fletor total na laje teto pela ação das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

#### 8.2.4.3 Deslocamento em z

Primeiramente é importante destacar que para o cálculo do deslocamento o CYPECAD considera o E.L.S. (Estado Limite de Serviço) característico do concreto, logo a combinação é feita de acordo com a equação abaixo:

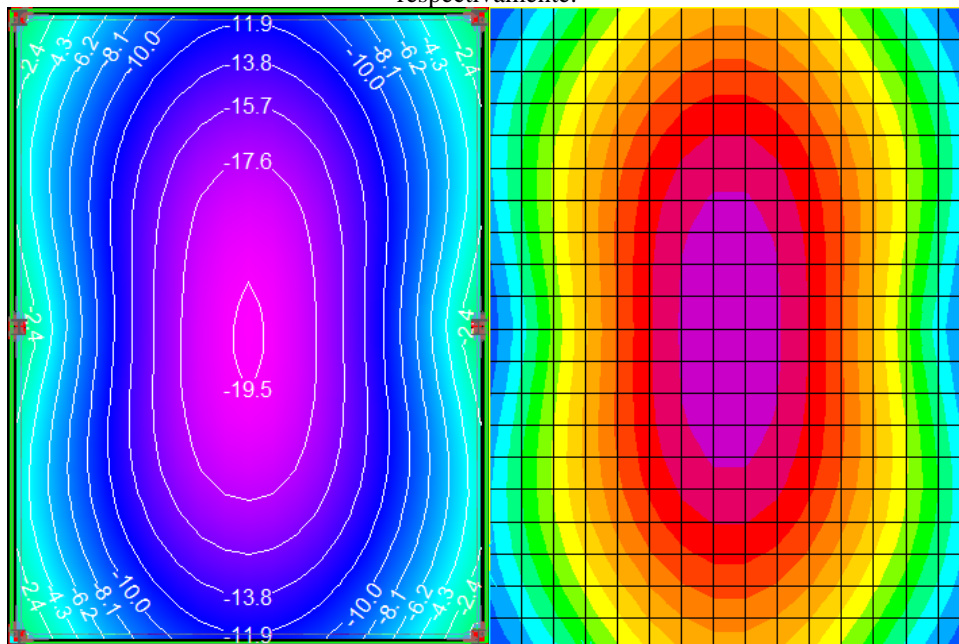
$$\text{Combinação Cargas pelo E.L.S. Concreto} = PP + CP + Qa \quad (30)$$

Tabela 36 - Deslocamento nas lajes em z causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.

ESFORÇO		CYPECAD	SAP2000
Deslocamento (mm)	Laje Piso	19,66	18,2
	Laje Teto	15,96	16,20

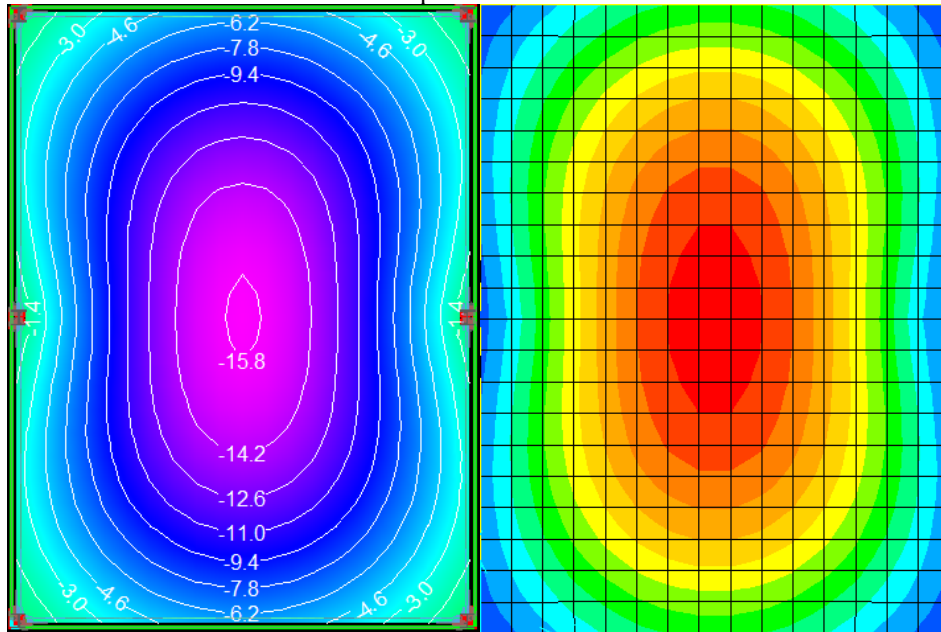
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 85 - Deslocamento na laje piso em z causado pela ação da combinação, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 86 - Deslocamento em z na laje teto pelas ações das combinações, CYPECAD e SAP2000, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2021.

## 9 CONCLUSÃO

O atual trabalho foi desenvolvido com objetivo de, através de cálculos automáticos realizados pelos softwares, efetuar uma análise comparativa do modelo estrutural do mezanino. Essas foram feitas pelo CYPECAD e SAP2000. Verificou-se o pré-dimensionamento em ambos programas. As comparações feitas pelos softwares foram os esforços atuantes nos pilares, nas vigas e nas lajes.

A critério do projetista, foi desprezada a ação do vento, por considerar que a finalidade do uso do mezanino seria para um escritório, localizado dentro de um galpão qualquer, desde que sejam respeitadas suas dimensões em planta. A fim de compatibilizar o projeto, as cargas das paredes e das janelas foram calculadas à parte, e lançadas uniformemente em seus correspondes lugares. Como dito anteriormente nesse trabalho, sabe-se que, na prática, não se costuma calcular separadamente as cargas das paredes, janelas e portas. Porém, utilizou-se deste artifício a fim de analisar como essa opção iria influenciar nos resultados em cada um dos softwares. Por fim, observou-se que essas cargas impactaram de forma diferente no dimensionamento no CYPECAD, pois estas foram automaticamente incorporadas na sobrecarga por este software. O SAP2000, pelo que se pôde observar, considerou o impacto destas de forma uniforme, tendo uma mudança considerável nos resultados finais.

Na análise comparativa dos esforços que atuam nas lajes, pode-se verificar pequenas divergências de resultados. Os valores obtidos nas deformações no eixo z, com relação as cargas agindo individualmente ou através de combinações, foram resultados bem semelhantes. Para momentos negativos e positivos, analisados nos diagramas de cores, houveram algumas diferenças, obtendo um índice de 80,54% de compatibilidade na laje teto, quando considerada a ação das combinações. Nos esforços cortantes também ocorrem incongruências, as quais são mais significativas na laje teto. Os valores gerais para o peso próprio, sobrecarga e cargas permanentes estão exemplificados no item anterior desse trabalho. Adiante serão comparados os valores desses esforços quando considerada a ação das combinações pelo Estado de limite último (para a análise da cortante e do momento fletor) e Estado de limite de serviço (para a obtenção do deslocamento em z). Para as combinações de forças, as taxas de compatibilidade obtidas pelo menor valor dividido pelo maior valor da cortante total, momento fletor e deslocamento em z das lajes piso e teto são dadas pela tabela 37:

Tabela 37 - Taxas de compatibilidade entre os softwares

<b>Esforços/Reações Totais</b>	<b>Laje Piso</b>	<b>Laje Teto</b>
Cortante Total	99,61 %	80,54 %
Momento Fletor	91,72 %	76,46 %
Deslocamento em z	92,57 %	98,52 %

Fonte: Próprio autor, 2021.

Na verificação dos pilares, identificou-se pequenas diferenças. Visando todos os pilares, nota-se que os esforços calculados pelo SAP2000 foram ligeiramente maiores em relação aos analisados pelo CYPECAD. Sendo assim, conseqüentemente, as taxas de utilização de cada pilar também foram maiores. Isso ocorreu devido às seções dos perfis, adotadas automaticamente pelos programas, terem sido as mesmas em ambos os softwares. Essas divergências poderiam ser amenizadas com a inserção de coeficientes de engastamento, na interação pilar e viga, e também na ligação laje e viga, fatores que interferem diretamente na análise dos elementos.

Para o público brasileiro, o SAP2000 possui falhas significativas, como o fato do mesmo não possuir uma versão em português, dificultando bastante o uso desse para quem não domina a língua inglesa. Além disso, a ausência de normas brasileiras para serem utilizadas na elaboração dos projetos abre brechas para falhas no cumprimento das exigências das normas. Em um mundo globalizado, é difícil de entender o porquê da ausência dessas normativas no software. Além disso, um ponto a se destacar sobre o CYPECAD, é a grande quantidade de material de ensino gratuito disponível na internet, o que facilita a retirada de eventuais dúvidas sobre o programa. No caso do SAP2000 versão 14, a falta de informação que deveria ser gerada pelo software, o torna mais suscetível ao erro. Cálculos básicos como módulos de elasticidades dos diferentes tipos de elementos, coeficientes de engastamento e ligações a serem utilizadas são extremamente complicadas para serem inseridas.

Por conseguinte, de modo geral, ambos os programas possuem a capacidade de serem utilizados tanto para dimensionamento estrutural quanto para análise estrutural. Contudo, enquanto o CYPECAD é um software de dimensionamento, possuindo ferramentas para análise estrutural, o SAP2000 é o contrário, sendo um software de análise estrutural, possuindo apenas ferramentas de dimensionamento. Logo, para o profissional que procura dimensionar uma estrutura, o CYPECAD se mostra uma opção mais viável, visto que possui uma interface mais intuitiva e menos burocrática para o cálculo e elaboração dos projetos.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Douglas Magalhães de. **A Utilização do Aço na Construção Civil: Estruturas Metálicas**. Centro Universitário Cesmac. Maceió. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7483: **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido**. Rio de Janeiro. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8261: **Tubos de aço-carbono, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais**. Rio de Janeiro, 2019.
- CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Ligações em Estruturas Metálicas**. 2. Ed. Rio de Janeiro. IBS/CBCA. 2003.
- CAPUCHO, Nilton de Oliveira. **Influência do peso de paredes em Dry Wall na redução do custo de uma viga em concreto armado e da construção**. 16f. Revista Técnico Científica CREA-PR. 22º Ed. Curitiba - PR. 2019.
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo. 4. ed. ZIGURATE, 20.
- FERRAZ, Gabriela da Silva. **Análise comparativa do projeto estrutural utilizando os softwares Eberick e TQS**. Estudo de caso: edifício comercial em Pato Branco – PR. 2018. 129f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2018.
- FONTES FILHO, José Carlos de Carvalho; MARTINATTI, Yago Wilton Pacheco; PEDROZA, Carolina Tarrago Jaques. **Implantação de solução estrutural de mezaninos metálicos em balanço em edificação existente via modelagem numérica**. Centro Universitário de Brasília. Brasília. 2016.
- FONSECA, Clézio. **História da Computação: O caminho do pensamento e da tecnologia**. Porto Alegre. 1. ed. EDIPUCRS, 2007.
- GUARNIER, Christiane Roberta Fernandes. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. 2009. 376f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009.
- HIGAKI, Bruno Enzo. **Contribuição à análise estrutural com ênfase nas ligações semirrígidas**. 2014. 284f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2014.
- MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: modelos e métodos básicos**. Rio de Janeiro. 2. ed. Elsevier, 2010.

OLIVEIRA, Márcio Sequeira de. **Modelo Estrutural qualitativo para pré-avaliação do comportamento de estruturas metálicas**. 2008. 172f. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2008.

ORTEGA, Carlos González. **Auto matização da definição da protensão usando diagramas de Magnel**. 2017. 80f. Projeto de Graduação. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. Rio de Janeiro. 8. Ed. LTC. 2008.

SILVA, Valdir Pignatta; FRUCHTENGARTEN, Júlio; CAMPELLO, Eduardo de Moraes Barreto. **Dimensionamento de Estruturas de Aço**. Apostila para a disciplina de Estruturas Metálicas e de Madeira. 2012. São Paulo. 2012.

VASCONCELOS, Pedro Henrique de Almeida. **Estudo e Verificação de Ligações Metálicas Soldadas e Parafusadas**. 2014. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Centro Universitário de Brasília. Brasília. 2014.