

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ANDRÉ NASCIMENTO GONDIM

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC):
análise comparativa entre diversos tipos de lajes

Belo Horizonte

2023

André Nascimento Gondim

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC):
análise comparativa entre diversos tipos de lajes**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Orientador: Ney Amorim Silva

Belo Horizonte

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **trinta e um dias** do mês de **janeiro** de **2023**, às 14:30h, o estudante **André Nascimento Gondim**, matrícula 2020673953, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise Comparativa Entre Diversos Tipos de Lajes**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 90 (noventa pontos)

Orientador(a): Prof. Ney Amorim Silva

Nota: 90 (noventa pontos)

Examinador(a): Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Vianna Pessoa de Mendonca, Subchefe de departamento**, em 08/03/2023, às 05:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ney Amorim Silva, Membro de comissão**, em 20/03/2023, às 09:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2123537** e o código CRC **8C43AA99**.

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

À minha mãe e ao meu pai, por estarem sempre me apoiando e incentivando a sempre buscar mais conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Abel e Robertha agradeço por serem ótimos profissionais, em suas respectivas profissões, o que serviu de exemplo para mim.

À minha irmã Marcela, agradeço por todo apoio moral que me deu em minha carreira.

À minha noiva Megan que me deu muita força e encorajamento para a elaboração deste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação agradeço por tornar esta experiência muito mais agradável, com destaque para Taynara, Leandro, Davi e Maurício.

Aos meus chefes Marco Túlio e Raphael que me incentivaram a buscar uma especialização.

"A ciência é sobre saber, a engenharia é sobre fazer".

(Henry Petroski)

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo descrever as diferenças entre os principais tipos de laje. São elas: lajes maciças, lajes lisas e cogumelo, lajes pré-moldadas (com lajotas cerâmicas, com poliestireno expandido e com painéis treliçados) e lajes nervuradas. Também será mencionado lajes alveolares, lajes steel deck e lajes protendidas, porém estas não serão calculadas. O trabalho irá abordar diferenças na execução, na quantidade de aço, nas deformações, tipo de mão-de-obra necessário para a execução, vantagens e desvantagens de cada tipo de laje. Os cálculos foram feitos utilizando conhecimentos adquiridos no curso de graduação de engenharia civil, no curso de pós graduação de estruturas e o software de cálculo estrutural Cypecad. Com a descrição detalhada de cada tipo de laje, ao final deste, será possível fazer uma definição de qual o melhor tipo de laje para cada situação.

Palavras-chave: Laje; Estrutura; Construção; Planejamento.

Abstract

The present work aims to describe the differences between the main types of slabs. They are solid slabs, flat plate slabs, precast slabs (with ceramic tiles, expanded polystyrene, and with lattice panels) and waffle slabs. Hollow-core slabs, composite slabs and prestressed slabs will also be mentioned, but these will not be calculated. The paper will address differences in execution, in the amount of steel, in deformations, type of labor required for the execution, advantages and disadvantages of each type of slab. The calculations were made using knowledge acquired in the civil engineering undergraduate course, in the postgraduate course of structures and the Cypecad structural calculation software. With the detailed description of each type of slab, at the end of it, it will be possible to define the best type of slab for each situation.

Keywords: Slab; Structure; Construction; Planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PLANTA ARQUITETÔNICA	18
FIGURA 2 - LAJE MACIÇA	19
FIGURA 3 - LAJE LISA	20
FIGURA 4 - LAJE NERVURADA	21
FIGURA 5 - DETALHE DA FORMA DA NERVURA UTILIZADA	22
FIGURA 6 - LAJE PRÉ-MOLDADA	23
FIGURA 7 - AUTOCAD 2022	24
FIGURA 8 - CYPECAD 2016	25
FIGURA 9 – LAJE MACIÇA	26
FIGURA 10 – LAJE LISA	27
FIGURA 11 – LAJE-COGUMELO	28
FIGURA 12 – LAJE TRELIÇADA COM LAJOTAS CERÂMICAS	30
FIGURA 13 – LAJE TRELIÇADA COM EPS	31
FIGURA 14 – LAJE DE PAINÉIS TRELIÇADOS	32
FIGURA 15 – LAJE NERVURADA	33
FIGURA 16 – LAJE STEEL DECK	35
FIGURA 17 – LAJE ALVEOLAR	36
FIGURA 18 – LAJE PROTENDIDA	37
FIGURA 19 – 3D LAJE MACIÇA	38
FIGURA 20 – ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR - LAJE MACIÇA	39
FIGURA 21 – ARMADURA TRANSVERSAL INFERIOR - LAJE MACIÇA	39
FIGURA 22 – ARMADURA LONGITUDINAL SUPERIOR - LAJE MACIÇA	40
FIGURA 23 – ARMADURA TRANSVERSAL SUPERIOR - LAJE MACIÇA	40
FIGURA 24 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS LAJES - LAJE MACIÇA	41
FIGURA 25 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS VIGAS - LAJE MACIÇA	41
FIGURA 26 – QUADRO RESUMO DE AÇO DOS PILARES- LAJE MACIÇA	42
FIGURA 27 – 3D LAJE LISA	42
FIGURA 28 – ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR - LAJE LISA	43
FIGURA 29 – ARMADURA TRANSVERSAL INFERIOR - LAJE LISA	43
FIGURA 30 – ARMADURA LONGITUDINAL SUPERIOR - LAJE LISA	44

FIGURA 31 – ARMADURA TRANSVERSAL SUPERIOR - LAJE LISA	44
FIGURA 32 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS LAJES - LAJE LISA	45
FIGURA 33 – ARMADURA DE PUNÇÃO - LAJE LISA	46
FIGURA 34 – QUADRO RESUMO DE AÇO DA ARM. DE PUNÇÃO - LAJE LISA	46
FIGURA 35 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS VIGAS - LAJE LISA	47
FIGURA 36 – QUADRO RESUMO DE AÇO DOS PILARES- LAJE LISA	47
FIGURA 37 – 3D LAJE PRÉ-MOLDADA	48
FIGURA 38 – CORTE DA LAJE PRÉ-MOLDADA	49
FIGURA 39 – DETALHE DA VIGOTA TRELIÇADA ARMADA	49
FIGURA 40 – TABELA DE LAJE PRÉ-MOLDADA - ESPESSURA 12CM	50
FIGURA 41 – QUADRO ARM. ADICIONAL DAS LAJES - LAJE PRÉ-MOLDADA	51
FIGURA 42 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS VIGAS - LAJE PRÉ-MOLDADA	51
FIGURA 43 – QUADRO RESUMO DE AÇO DOS PILARES- LAJE PRÉ-MOLDADA	52
FIGURA 44 – 3D LAJE NERVURADA	52
FIGURA 45 – ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR - LAJE NERVURADA	53
FIGURA 46 – ARMADURA TRANSVERSAL INFERIOR - LAJE NERVURADA	53
FIGURA 47 – ARMADURA LONGITUDINAL SUPERIOR - LAJE NERVURADA	54
FIGURA 48 – ARMADURA TRANSVERSAL SUPERIOR - LAJE NERVURADA	54
FIGURA 49 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS LAJES - LAJE NERVURADA	55
FIGURA 50 – ARMADURA DE PUNÇÃO - LAJE NERVURADA	56
FIGURA 51 – QUADRO RESUMO AÇO DA ARM. DE PUNÇÃO - LAJE NERV.	56
FIGURA 52 – ARMADURA DO MACIÇO - LAJE NERVURADA	57
FIGURA 53 – QUADRO RESUMO AÇO DA ARM. DO MACIÇO - LAJE NERV.	57
FIGURA 54 – QUADRO RESUMO DE AÇO DAS VIGAS - LAJE NERVURADA	58
FIGURA 55 – QUADRO RESUMO DE AÇO DOS PILARES- LAJE NERVURADA	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUANTIDADES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	59
TABELA 2 – PESO DE AÇO	60
TABELA 3 – VOLUME DE CONCRETO	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (opcional)

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ELS – Def. - estado limite de serviço de deformação

EPS - expanded polystyrene (poliestireno expandido)

NBR - norma brasileira

VC - Vigota de concreto

VP - vigota protendida

VT - vigota treliçada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	METODOLOGIA	16
4	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
4.1	HISTÓRIA	17
4.2	DEFINIÇÃO	17
5	DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA ESTRUTURA	18
6	FERRAMENTAS UTILIZADAS	24
7	TIPOLOGIA	25
7.1	LAJE MACIÇA	25
7.1.1	LAJE LISA E LAJE-COGUMELO	27
7.2	LAJE PRÉ-MOLDADA OU LAJE PRÉ-FABRICADA	28
7.2.1	LAJE TRELIÇADA COM LAJOTAS CERÂMICAS	29
7.2.2	LAJE TRELIÇADA COM EPS	30
7.2.3	LAJE DE PAINÉIS TRELIÇADOS	32
7.3	LAJE NERVURADA	32
7.4	OUTROS	35
7.4.1	LAJE STEEL DECK	35
7.4.2	LAJE ALVEOLAR	36
7.4.3	LAJE PROTENDIDA	37
8	CÁLCULOS	38
8.1	LAJE MACIÇA	38
8.2	LAJE LISA	42
8.3	LAJE PRÉ-MOLDADA	48
8.4	LAJE NERVURADA	52
9	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
10	CONCLUSÃO	63
11	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Com a grande variedade de opções de laje atualmente, frequentemente tem-se uma dificuldade na escolha da melhor opção para cada obra. Esta dificuldade pode, em muitos casos, gerar custos extras com a escolha de uma laje não apropriada para um tipo de obra, um aumento do tempo de planejamento ou até da construção. Neste trabalho foi elaborado uma estrutura modelo, onde foi calculada utilizando os tipos de laje mais utilizados em Belo Horizonte. A partir deste cálculo foi feito um comparativo para que esta escolha seja simplificada, tornando-a mais eficaz e precisa, garantindo que a obra tenha, não somente, uma diminuição de gastos, mas também uma redução no tempo de planejamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar um comparativo entre os tipos de lajes mais usados em Belo Horizonte visando uma melhor clareza nas vantagens e desvantagem de cada uma delas.

2.2 Objetivos Específicos

Procura-se atingir os seguintes objetivos específicos através da elaboração deste trabalho:

- direcionar a escolha de qual laje usar em cada situação;
- gerar mais economia para construções através da escolha da laje correta para cada obra;
- garantir uma redução no prazo do planejamento das obras.

3 METODOLOGIA

Através de telefonemas e reuniões com o professor orientador, busca de informações em bibliografias confiáveis, cálculos, lançamento da estrutura em softwares e através de conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Civil e no curso de especialização em Estruturas, foi elaborado o presente trabalho onde foi calculado uma estrutura de pequeno porte com os tipos de lajes a serem comparados.

4 CONTEXTUALIZAÇÃO

4.1 História

A construção sempre esteve presente na vida do ser humano e com o passar do tempo as estruturas foram se aperfeiçoando.

O concreto armado surgiu há cerca de 150 anos e rapidamente se tornou o material de construção mais utilizado no mundo, visto que ele tira proveito da excelente capacidade do aço de trabalhar à tração com a ótima resistência do concreto a compressão. E com este material as estruturas criadas pelo homem foram se tornando cada vez mais ousadas, e para tais estruturas o uso de três elementos estruturais é indispensável: lajes, vigas e pilares.

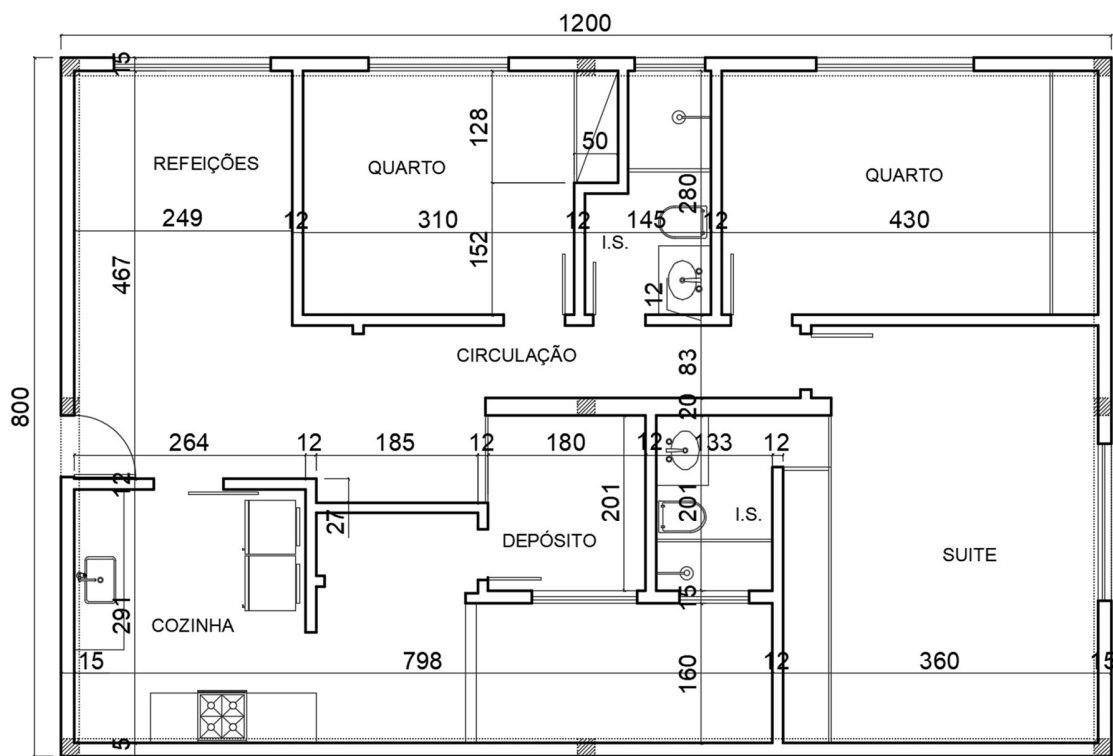
4.2 Definição

A laje, um elemento estrutural que em muitas vezes é feita de concreto armado, é definida por ter sua dimensão de espessura muito menor que as outras duas em planta. As lajes podem ser usadas em diversos tipos de construção, como lajes de piso, lajes de forro, piscinas, reservatórios ou até mesmo muros de contenção.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA ESTRUTURA

Trata-se de uma estrutura de pequeno porte, com comprimento de 12 metros e largura de 8 metros. Tem-se os mesmos 9 pilares em todos os tipos de forma em análise para que o foco dos cálculos sejam as respectivas lajes. A quantidade de vigas varia de acordo com o tipo de laje em cada modelo.

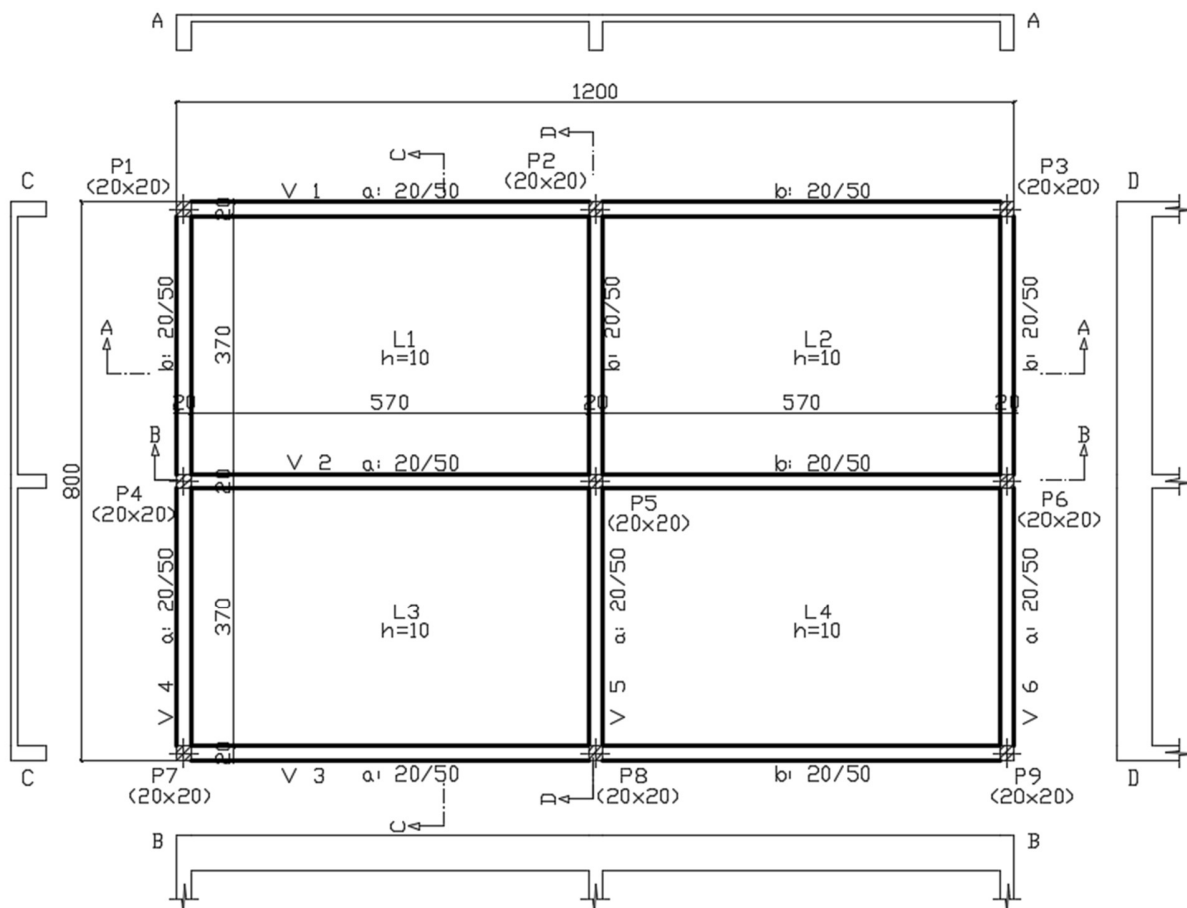
Figura 1 - Planta Arquitetônica



Fonte: Autor.

No modelo de laje maciça foi considerado 9 pilares e 6 vigas (ver **Figura 2 - Laje maciça**).

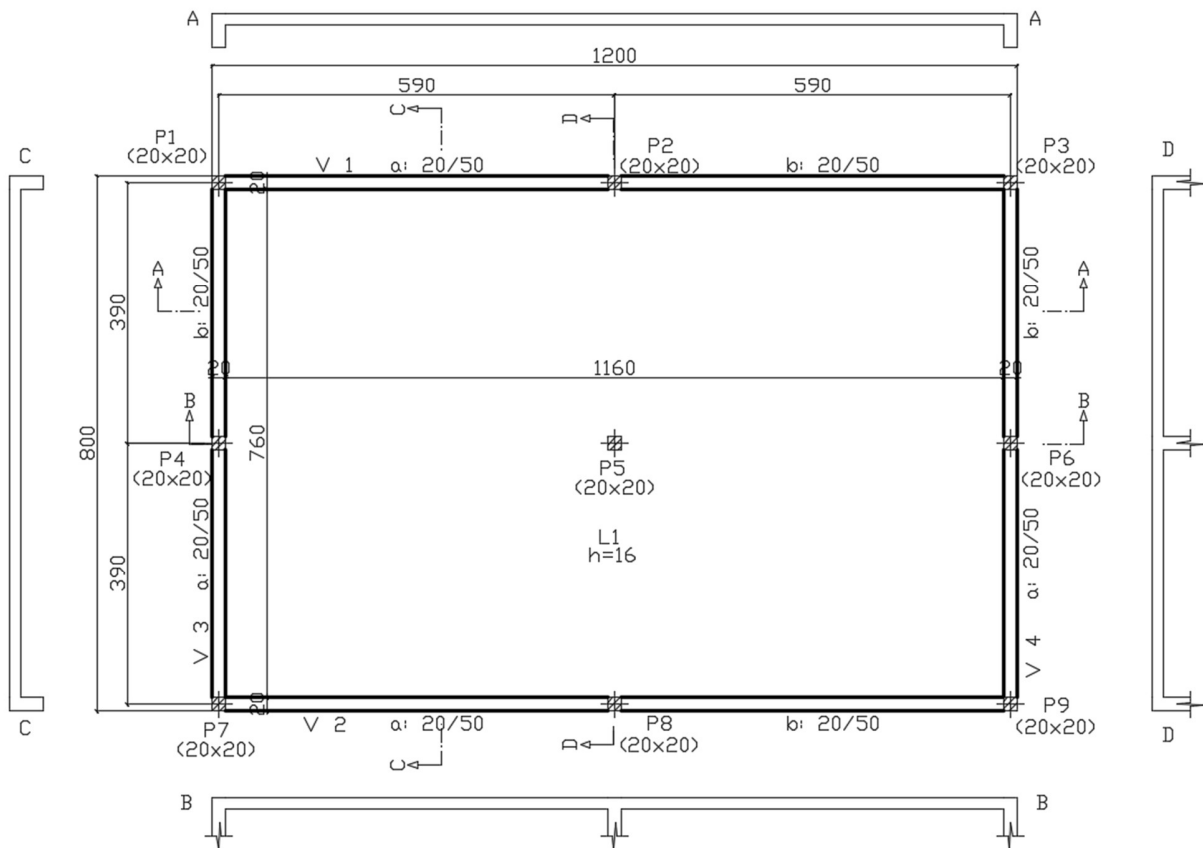
Figura 2 - Laje maciça



Fonte: Autor.

No modelo de laje lisa foi utilizado 9 pilares, porém apenas 4 vigas, visto que neste modelo os pilares podem servir de apoio direto para as lajes, sem a necessidade da criação de vigas (ver **Figura 3 - Laje lisa**).

Figura 3 - Laje lisa

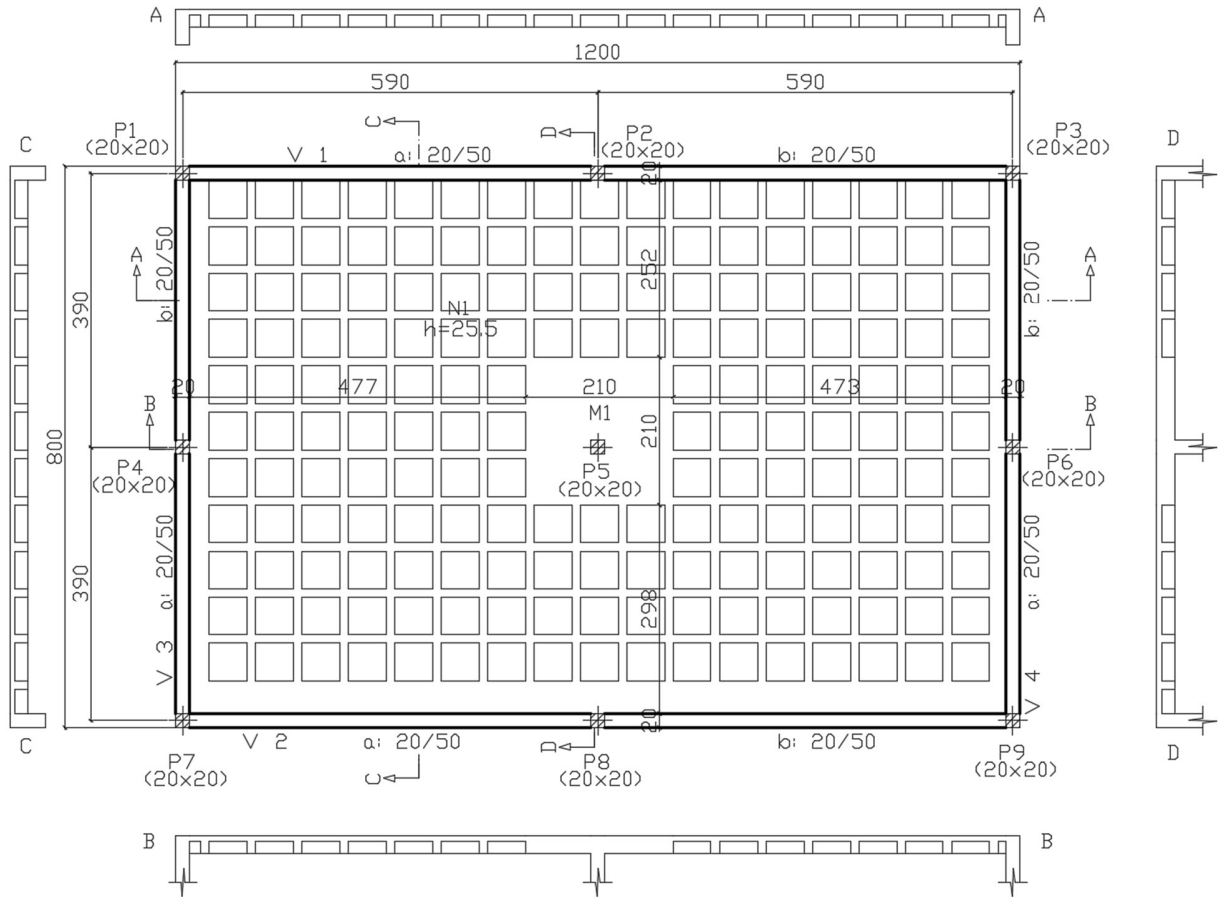


Fonte: Autor.

Normalmente este modelo não apresenta vigas, porém para este estudo foi considerado vigas de borda para que não ocorresse deslocamentos aparentes no perímetro da estrutura e a mesma atendessem o ELS – Def. (estado limite de serviço). O recuo dos pilares ou a criação de lajes em balanço seriam soluções para compensar estes momentos negativos e reduzir as flechas nas extremidades, porém para que a estrutura original não fosse modificada foi decidido colocar a viga de borda para que o foco do cálculo seja a laje na mesma arquitetura em todos os modelos.

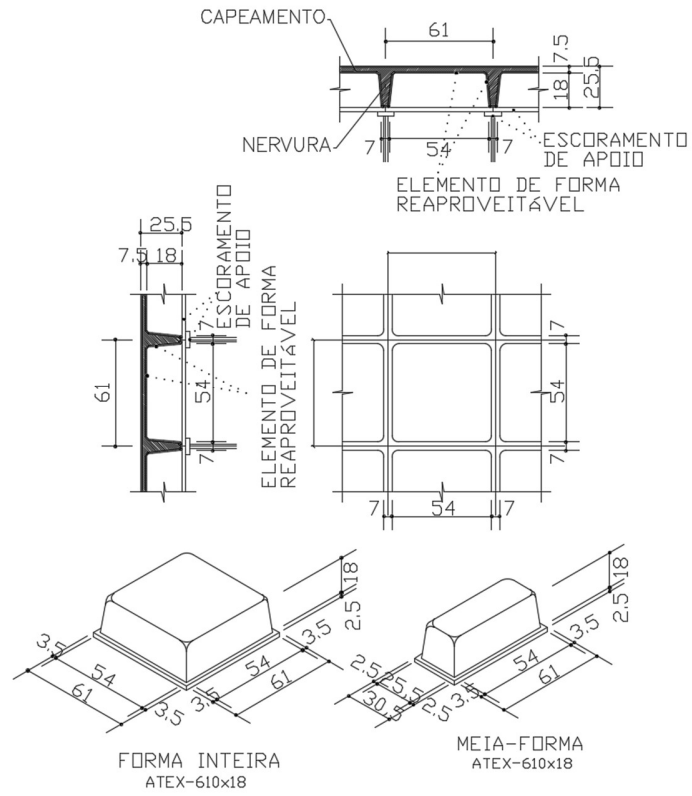
O modelo de laje nervurada possui 9 pilares e, assim como o modelo anterior, 4 vigas (ver **Figura 4 - Laje nervurada**).

Figura 4 - Laje nervurada



Fonte: Autor.

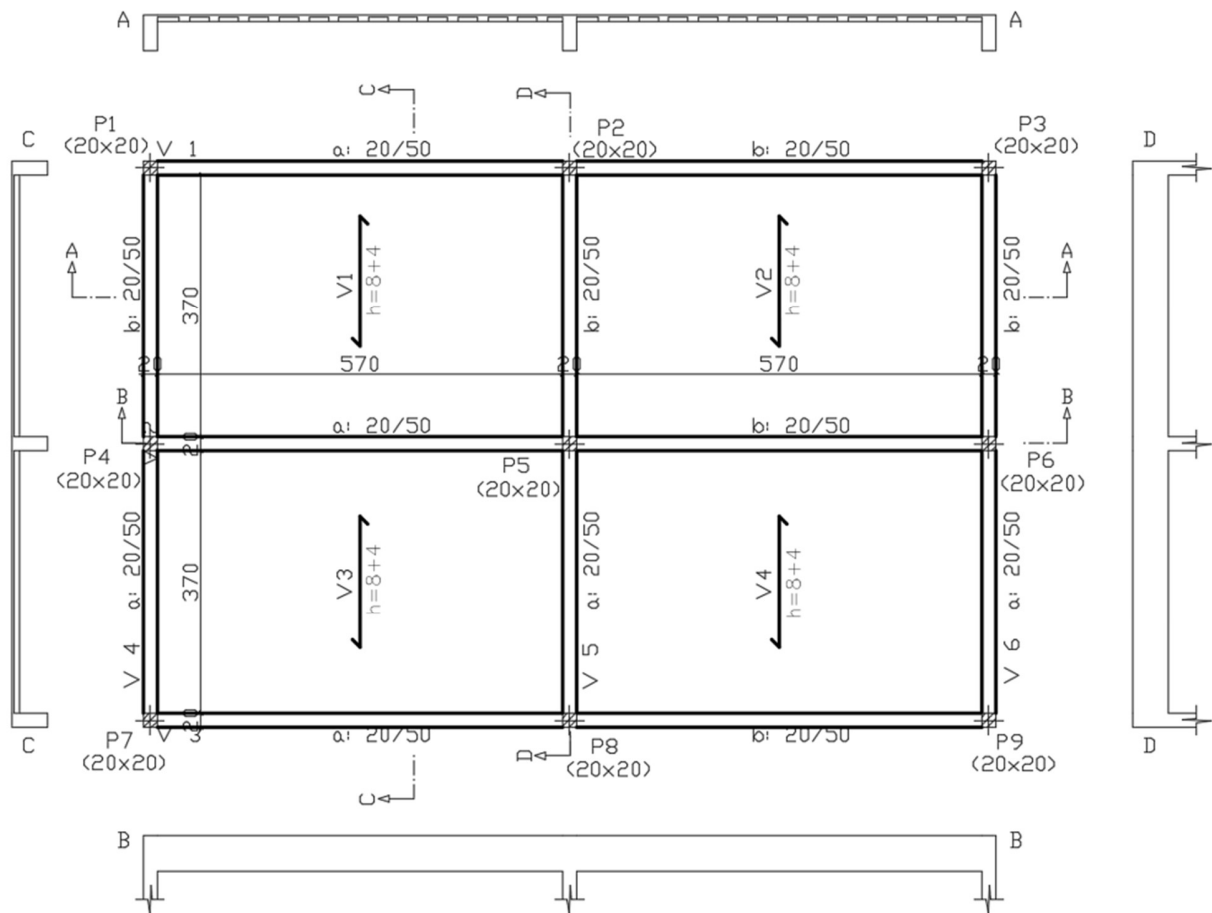
Figura 5 - Detalhe da forma da nervura utilizada



Fonte: Autor.

E por fim, no modelo de laje pré-moldada (para todos os seus subtipos a forma é a mesma) foi utilizado 9 pilares e 6 vigas (ver **Figura 6 - Laje pré-moldada**).

Figura 6 - Laje pré-moldada



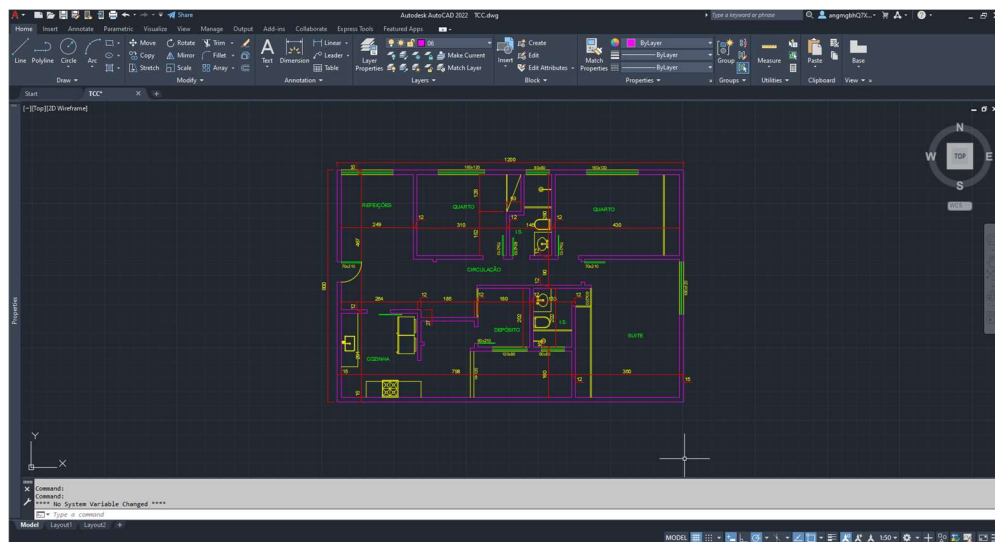
Fonte: Autor.

6 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para a execução do trabalho, foram utilizadas algumas ferramentas que hoje são indispensáveis e outras que podem auxiliar na elaboração de um projeto.

O modelamento e detalhamento da arquitetura foi feito utilizando o software AutoCAD 2022 da Autodesk (Figura 7 - AutoCAD 2022).

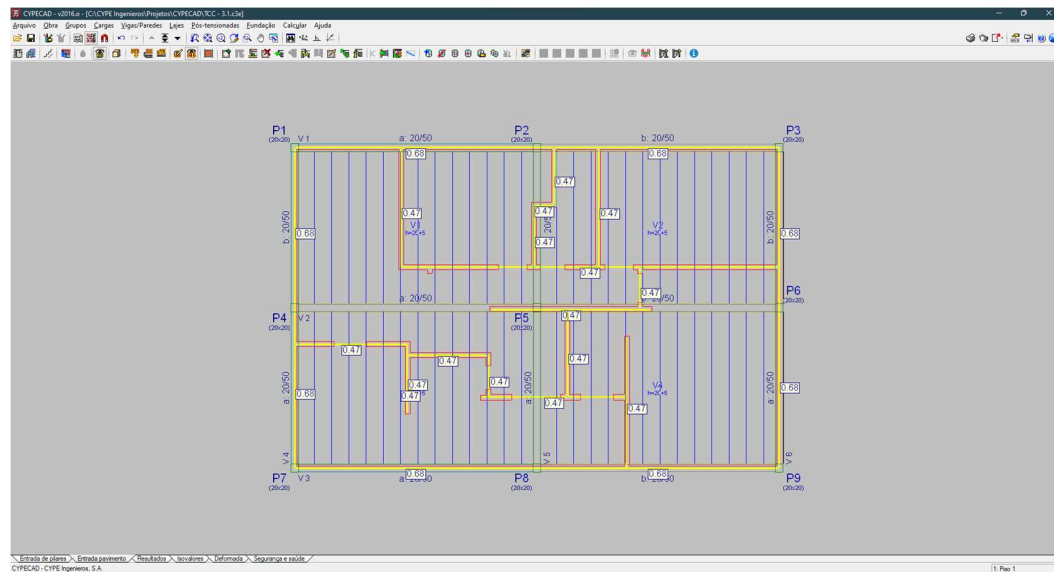
Figura 7 - AutoCAD 2022



Fonte: Autor.

Uma vez elaborado a estrutura, foi utilizado o software Cypecad 2016, da Multiplus Softwares Técnicos (Figura 8 - Cypecad 2016) para o cálculo estrutural. Tal software fornece valores da deformada, dos isovalores, memória de cálculo, detalhamento de armações e forma dos elementos estruturais, que posteriormente precisam ser adaptados no AutoCAD.

Figura 8 - Cypecad 2016



Fonte: Autor.

Para cálculos adicionais foi utilizado a apostila ‘Especialização em Estruturas - Concreto Armado I’ do professor Ney Amorim Silva.

7 TIPOLOGIA

Com o avanço da tecnologia e dos estudos mais tipos de lajes foram surgindo ao longo dos anos, e hoje existe uma vasta lista de opções destes elementos de construção de uma estrutura, cada uma com suas vantagens e desvantagens. Os principais tipos de lajes utilizados em Belo Horizonte são, lajes maciças, lajes lisas e cogumelo, lajes pré-moldadas, lajes nervuradas, lajes alveolares, lajes steel deck e lajes protendidas.

7.1 Laje Maciça

A laje maciça é um dos tipos de laje mais utilizados, ela consiste em uma placa de espessura constante moldada in loco, geralmente com uma armadura inferior e outra superior. As lajes maciças podem ser apoiadas em todas as direções ou em duas direções (no menor vão).

Figura 9 – Laje Maciça



Fonte: Guia da Engenharia.

O custo e resistência de uma laje maciça está diretamente ligado à sua espessura, visto que as outras dimensões variam de acordo com a arquitetura. Qualquer pequena alteração na espessura de uma laje implica num aumento considerável no volume de concreto e, conseqüentemente no custo e resistência. Conseqüentemente, quanto mais esbelta a laje, mais econômica ela será, porém elas estarão sujeitas a maiores flechas, vibrações e possuirão um menor isolamento acústico do que lajes mais espessas.

De acordo com a NBR (Norma Brasileira) 6118 (2014) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) os limites mínimos das espessuras de lajes maciças são os seguintes:

- 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 $\ell/42$ para lajes de piso bi apoiadas e $\ell/50$ para lajes de piso contínuas.

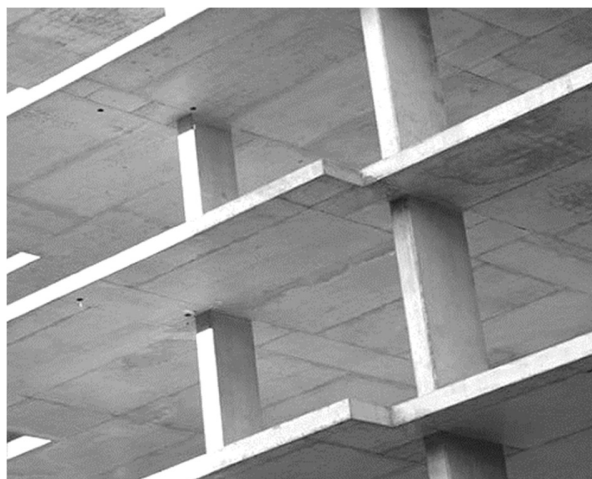
Este tipo de laje é um dos mais utilizados no Brasil, principalmente pelas suas vantagens de uso. A laje maciça possui alta resistência a trincas e fissuras pois o concreto torna-se um bloco único e se contrai uniformemente. Além disso, sua execução é relativamente simples e rápida.

Porém tal laje também possui desvantagens, como a necessidade do uso de formas para executá-la, o que gera um gasto considerável em um material que será, posteriormente, descartado, a necessidade de uma mão de obra qualificada e o acompanhamento de um encarregado, mestre de obras e/ou o engenheiro da obra.

7.1.1 Laje Lisa e Laje-Cogumelo

A laje lisa e a cogumelo são variações da laje maciça, contudo a laje maciça é apoiada sobre vigas, a laje-cogumelo se apoia diretamente sobre pilares com capitéis, enquanto a laje lisa é apoiada em pilares sem capitéis.

Figura 10 – Laje Lisa



Fonte: CarLuc.

As espessuras mínimas para este tipo de laje são, 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Figura 11 – Laje-cogumelo



Fonte: CarLuc.

É de extrema importância, nestes dois tipos de laje, a verificação da punção de acordo com o item 19.5 da NBR 6118 (2014).

Este tipo de laje por ter uma espessura maior possui uma maior resistência se comparada com a maciça, ou seja, ela consegue cobrir maiores vãos. Outra vantagem da laje lisa ou cogumelo, é que neste modelo é dispensado o uso de vigas, o que gera uma economia nas formas e um aumento na facilidade e agilidade da execução.

Como desvantagens pode-se citar o aumento do custo, visto que a espessura mínima da laje em questão pode ultrapassar até o dobro da espessura mínima da laje maciça, com isso gasta-se mais com aço e concreto devido ao aumento do peso próprio.

7.2 Laje Pré-Moldada ou Laje Pré-Fabricada

A laje pré-moldada ou pré-fabricada, como o próprio nome diz, é produzida antes da execução da obra. As mais usuais são feitas com vigotas de concreto (VC), vigotas treliçadas (VT) e vigotas protendidas (VP) e o preenchimento pode ser feito com lajotas cerâmicas, bloco de concreto ou com EPS (poliestireno expandido).

Este tipo de laje possui um peso próprio menor e é mais barato em relação a outros tipos de laje, pois não necessita de forma nem de mão de obra especializada. Devido a simplicidade da execução sua velocidade de execução é maior se comparada com outros tipos. A qualidade e desempenho também aumentam consideravelmente quando se utiliza lajes pré-moldadas e possui uma maior facilidade na passagem de tubulações antes da concretagem.

Sua armação é dada pela armação inferior posicionada sobre as vigotas e uma malha superior que é preenchida com a capa de concreto in loco, no caso das vigotas treliçadas além das armaduras mencionadas anteriormente, tem-se a armação das treliças.

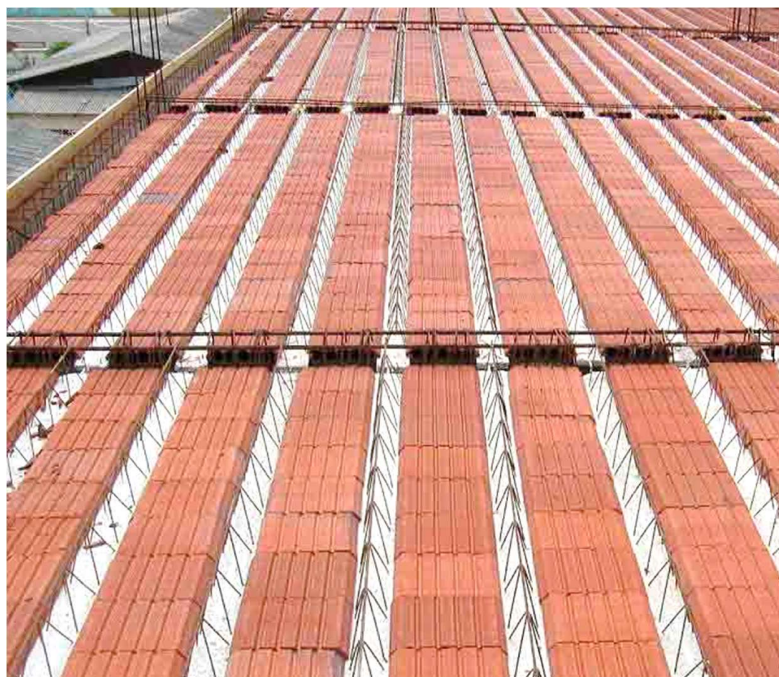
Esta malha superior sobre a laje é construída a partir de fios de aço CA-60 nervurados, transversais e longitudinais, sobrepostos e soldados, ela garante maior rapidez e menos imprevistos, como trincas e fissuras. Assim como a laje pré-moldada, esta malha é previamente fabricada e existem quatro tipos desta. Malha leve, indicada na construção de lajes pré-fabricadas ou treliçadas de cobertura, em contrapisos e em calçadas. Malha média, indicada para lajes pré-fabricadas ou treliçadas de pisos de residências e placas pré-moldadas para execução de muros. Malha reforçada, seu uso é recomendado em pisos de concreto de residências, escritórios, quadras, garagens e estacionamentos. Malha pesada, deve ser utilizada na construção de piscinas, pisos de concreto para postos de gasolina ou depósitos, ou em qualquer situação com maior risco e que exigem ainda mais resistência e segurança da estrutura pré-moldada.

Como desvantagens de se utilizar lajes pré-moldadas podemos citar a complicação na execução de lajes com angulação e o desconforto térmico, exceto em lajes que o preenchimento é feito com EPS. Além disso também tem a possibilidade da direção de uma alvenaria coincidir com a direção da vigota o que pode ocasionar trincas, neste caso recomenda-se a execução de uma viga de concreto com a espessura da laje sob a alvenaria.

7.2.1 Laje Treliçada com Lajotas Cerâmicas

As lajotas cerâmicas, também conhecidas como lajes de tijolo ou lajota, são usadas como o preenchimento entre as vigotas.

Figura 12 – Laje Treliçada com Lajotas Cerâmicas



Fonte: m2Obras.

As lajes pré-moldadas com lajotas cerâmicas são mais baratas que as preenchidas com EPS e não precisam de material especial para a aderência do acabamento e/ou do reboco.

Em contrapartida, este tipo de laje é mais pesado e precisa de mais cuidado no seu manuseio, concretagem e transporte, visto que as lajotas cerâmicas são mais propícias a trincas ou quebras, podendo causar um desperdício do material.

7.2.2 Laje Treliçada com EPS

A utilização dos blocos de isopor é bem similar ao preenchimento com cerâmica, ele é posicionado entre as vigotas juntamente com a ferragem e então a laje é preenchida com concreto.

Figura 13 – Laje Treliçada com EPS



Fonte: Ferza.

A maior vantagem deste tipo de laje é a diminuição do peso próprio da estrutura se comparada com outras do mesmo tipo. Também pode-se citar a sustentabilidade do isopor visto que o material é 100% reciclável e, como já mencionado, o conforto térmico devido ao alto grau de isolamento do EPS.

Apesar do isopor ser um bom isolante térmico, este tipo de laje requer um maior planejamento, onde a construção precisa ter bastante circulação de ar e janelas bem-posicionadas para que a vantagem do EPS não se torne um desconforto em períodos de calor. Uma outra desvantagem do isopor seria seu custo, se comparado à lajota cerâmica o EPS tem um custo mais elevado. Além disto, há uma necessidade de uma cola especial para um acabamento em chapisco ou gesso para que possa garantir a aderência ao material, o que eleva o custo do modelo de laje treliçada com EPS ainda mais.

7.2.3 Laje de Painéis Treliçados

Este tipo de laje é bem similar as anteriores, também são compostas por vigotas ao longo da laje, porém sua base é maior.

Figura 14 – Laje de Painéis Treliçados



Fonte: Incobraz.

Uma de suas maiores vantagens é sua elevada capacidade de carga devido ao maior tamanho de suas vigotas. Neste tipo de laje os painéis ficam lado a lado, com isso pode-se dispensar o uso de formas para a concretagem.

Por ser composta de painéis mais robustos, este tipo de laje pré-moldada é mais caro que os demais.

7.3 Laje Nervurada

A laje nervurada é um tipo de laje que apresenta nervuras, onde as mesmas podem ser preenchidas com cubos de EPS ou executadas com cubetas plásticas de polipropileno com aditivos, que são

removidas após a concretagem. Este tipo de laje dispensa reboco, visto que os painéis já são bem acabados.

Figura 15 – Laje Nervurada



Fonte: Incobraz.

De acordo com a norma 6118 (2014) algumas medidas mínimas e máximas devem ser consideradas:

- Quando não existirem tubulações embutidas na laje, a espessura da mesa deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (l_0) e não menor que 4 cm. Quando existirem tubulações embutidas na laje de diâmetro menor ou igual a 10 mm, o valor mínimo absoluto da espessura da mesa passa a ser 5 cm.
- Para tubulações com diâmetro (\emptyset) maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4 \text{ cm} + \emptyset$, ou $4 \text{ cm} + 2 \emptyset$ no caso de haver cruzamento destas tubulações.

- A espessura das nervuras nunca pode ser inferior a 5 cm e as nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

Quando essas condições não atenderem seus valores mínimos ou máximos, deve-se analisar a laje nervurada como uma laje maciça, com a espessura da mesa, apoiada em uma grelha de vigas, com as medidas das nervuras.

E além disto as seguintes condições também devem ser obedecidas:

- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- para lajes nervradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

Este tipo de laje possui uma grande eficiência, uma alta resistência e consegue vencer grandes vãos com um menor peso próprio. Além disto, a laje nervurada dispensa o uso de vigas. As cubetas dão um melhor acabamento para a laje e elas podem ser reaproveitadas em outras obras. No caso do preenchimento com EPS ele proporciona isolamento acústico e térmico.

Uma grande desvantagem deste tipo de laje é sua espessura, isso precisa ser levado em consideração na fase de projetos, visto que o pé direito da estrutura reduz consideravelmente.

7.4 Outros

Existem outros tipos de laje que estão ganhando popularidade em Belo Horizonte, porém que não serão calculados e nem abordados com muitos detalhes neste trabalho, visto que se tratam de elementos mistos e protendidos.

7.4.1 Laje Steel Deck

A laje steel deck é composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto. A telha tem a função de forma autoportante e de armadura positiva da laje.

Figura 16 – Laje Steel Deck



Fonte: Projetou Blog.

Para sua execução deve-se seguir as recomendações da NBR 8800 (2008) (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), visto que é um elemento misto. Além disso, a telha deve estar de acordo com a NBR 16421 (2015) (Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e Ensaios).

7.4.2 Laje Alveolar

Laje alveolar é um outro tipo de laje pré-moldada, porém sendo produzida com concreto protendido. esta laje consiste em placas de concreto com vãos internos, chamados de alvéolos, que dão o nome da laje. Este tipo de laje tem espessura que varia de 9 a 30cm, comprimentos que podem chegar até 20m e largura constante de 1,24m.

Figura 17 – Laje Alveolar



Fonte: Construtora e Incorporadora Estilos.

Assim como as outras lajes pré-moldadas, a laje alveolar possui uma camada de concreto armado que é moldada in loco. Cada painel pode ter resistência à compressão simples de até 40 Mpa.

O uso desse tipo de laje ocorre em diversas aplicações comerciais, inclusive de grande responsabilidade estrutural, estando em estacionamentos, shoppings centers, hospitais, supermercados, depósitos e outros. Esses empreendimentos exigem, inclusive, cronogramas de obra mais enxutos, a fim de que comecem a promover rentabilidade aos investidores mais cedo, fator que conta pontos para uma solução em pré-moldados.

7.4.3 Laje Protendida

Lajes protendidas, também conhecida por laje de armadura ativa, são lajes que fazem uso da técnica do concreto protendido. Esta técnica melhora o desempenho do concreto consideravelmente, pois sua armadura é pré-tensionada, ou seja, as tensões são aplicadas previamente. Fato que não ocorre na laje tradicional, em que a armadura trabalha de forma passiva, pois as cargas são aplicadas posteriormente a sua execução.

Figura 18 – Laje Protendida



Fonte: Escola Engenharia.

8 CÁLCULOS

Para os seguintes cálculos, foi considerado os valores mínimos da Norma NBR 6118 (2014) que atendem cada situação a seguir. A parcela da carga permanente considerada foi de 100kg/m^2 , a sobrecarga de 150kg/m^2 , a carga das alvenarias são cargas lineares adicionais que também foram consideradas e o peso próprio dos elementos foi considerado automaticamente pelo software Cypacad. O concreto utilizado foi o C25, a classe de agressividade II, o cobrimento de 2,5cm para lajes e 3,0cm para vigas e pilares.

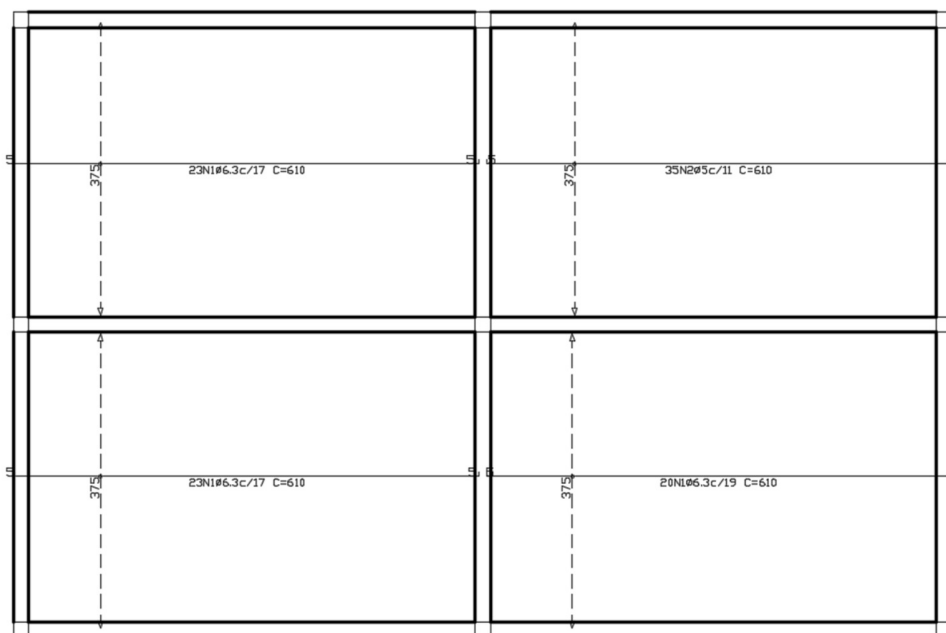
8.1 Laje Maciça

Para o cálculo da estrutura com laje maciça, foi considerada uma espessura de 10cm.

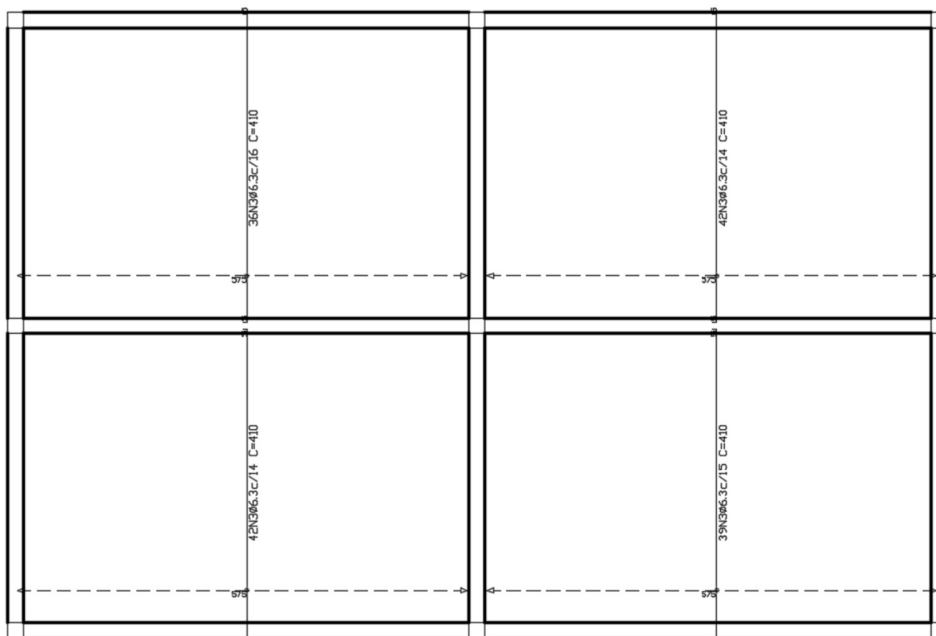
Figura 19 – 3D Laje Maciça



Fonte: Autor.

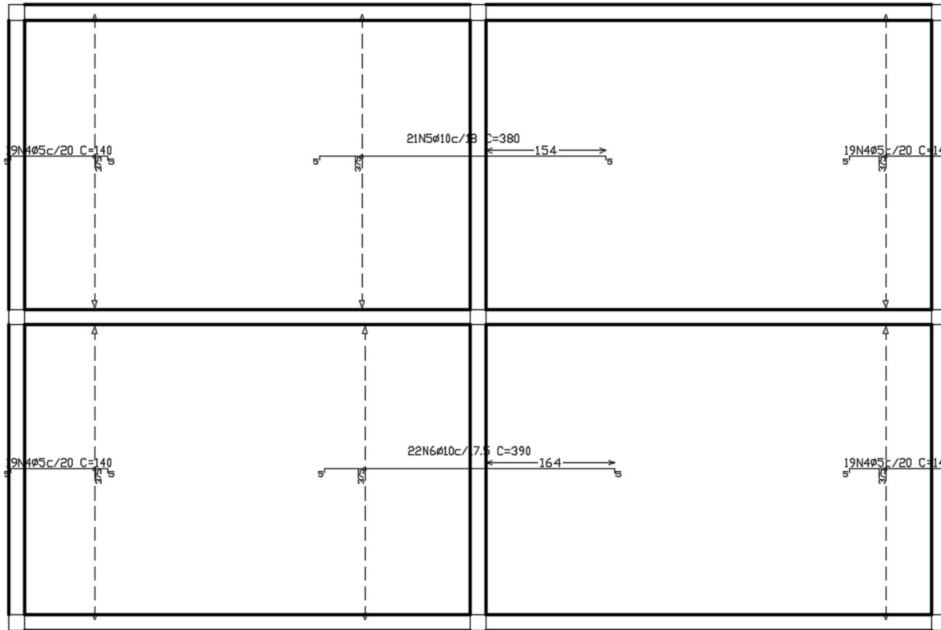
Figura 20 – Armadura Longitudinal Inferior - Laje Maciça

Fonte: Autor.

Figura 21 – Armadura Transversal Inferior - Laje Maciça

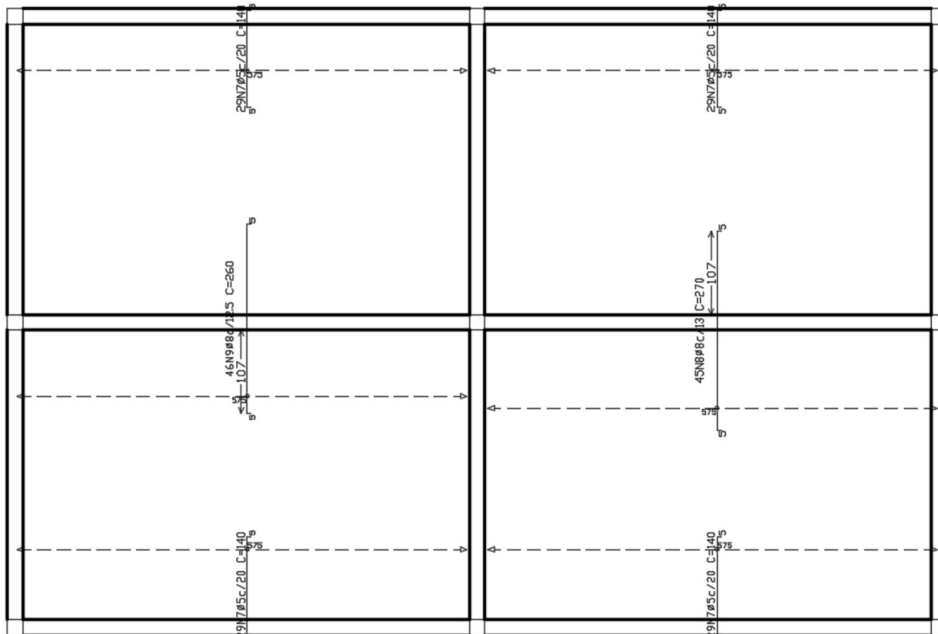
Fonte: Autor.

Figura 22 – Armadura Longitudinal Superior - Laje Maciça



Fonte: Autor.

Figura 23 – Armadura Transversal Superior - Laje Maciça



Fonte: Autor.

Figura 24 – Quadro Resumo de Aço das Lajes - Laje Maciça

Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Ret. (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
Armadura longitudinal inferior	1	Ø6.3	66	5	600	5	610	40260	98.6	
	2	Ø5	35	5	600	5	610	21350		33.5
	Total:									98.6
Armadura transversal inferior	3	Ø6.3	159	5	400	5	410	65190	159.7	
	Total:									159.7
Armadura longitudinal superior	4	Ø5	76	5	130	5	140	10640		16.7
	5	Ø10	21	5	370	5	380	7980	49.2	
	6	Ø10	22	5	380	5	390	8580	52.9	
	Total:									102.1
Armadura transversal superior	7	Ø5	116	5	130	5	140	16240		25.5
	8	Ø8	45	5	260	5	270	12150	48.0	
	9	Ø8	46	5	250	5	260	11960	47.2	
	Total:									95.2
								Ø5:	0.0	75.7
								Ø6.3:	258.3	0.0
								Ø8:	95.2	0.0
								Ø10:	102.1	0.0
								Total:	455.6	75.7

Fonte: Autor.

Figura 25 – Quadro Resumo de Aço das Vigas - Laje Maciça

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
Desenho de vigas			
CA-50 Ø6.3	94.8	23	
Ø8	64.9	26	
Ø10	113.4	70	
Ø12.5	68.4	66	
Ø16	46.3	73	
Ø20	20.5	51	
Ø25	8.0	31	340
CA-60 Ø5	320.8	50	50
Total			390

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de vigas ver Anexos.

Figura 26 – Quadro Resumo de Aço dos Pilares- Laje Maciça

Resumo Aço Pilares	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 10	120.6	74	
ϕ 12.5	15.7	15	89
CA-60 ϕ 5	158.9	25	25
Total			114

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de pilares ver Anexos.

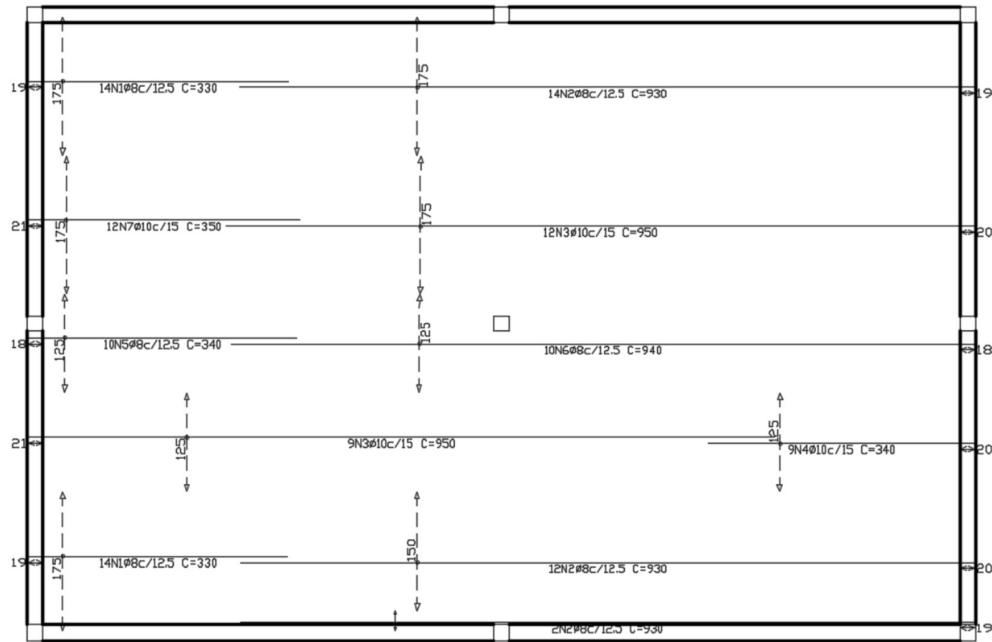
8.2 Laje Lisa

Para o cálculo da estrutura com laje lisa, foi considerada uma espessura de 16cm.

Figura 27 – 3D Laje Lisa

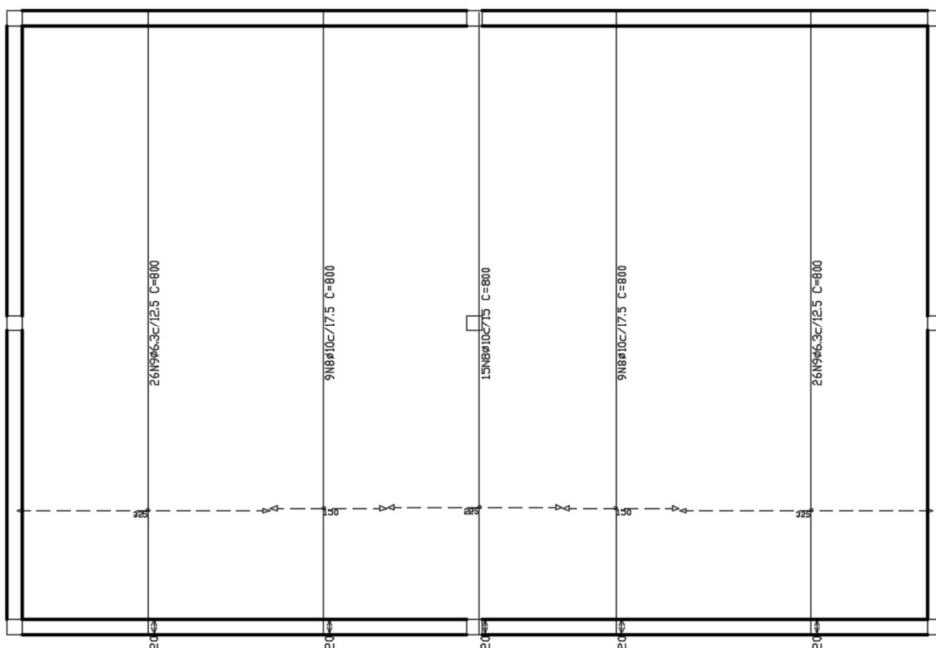
Fonte: Autor.

Figura 28 – Armadura Longitudinal Inferior - Laje Lisa



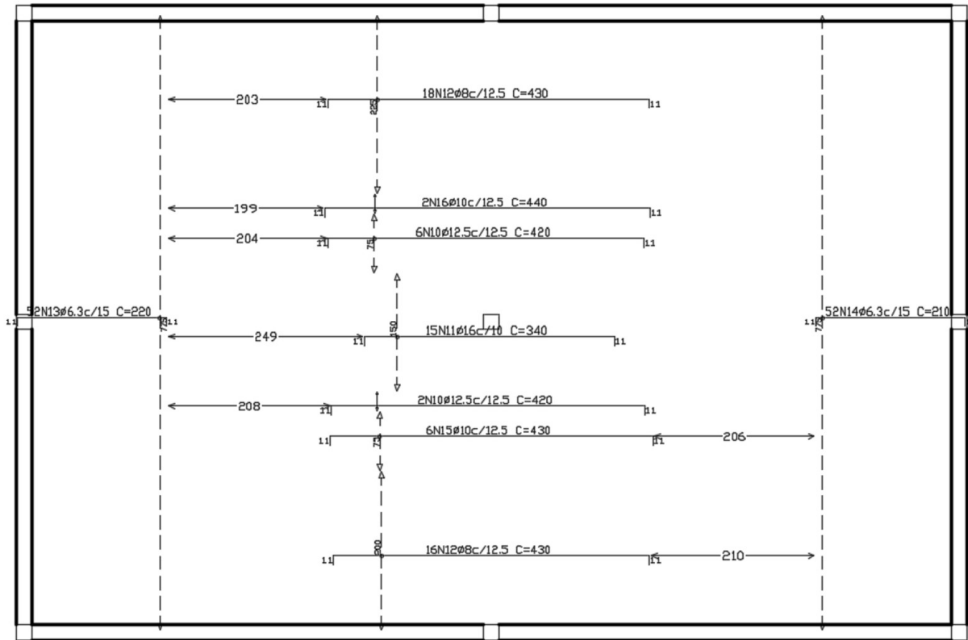
Fonte: Autor.

Figura 29 – Armadura Transversal Inferior - Laje Lisa



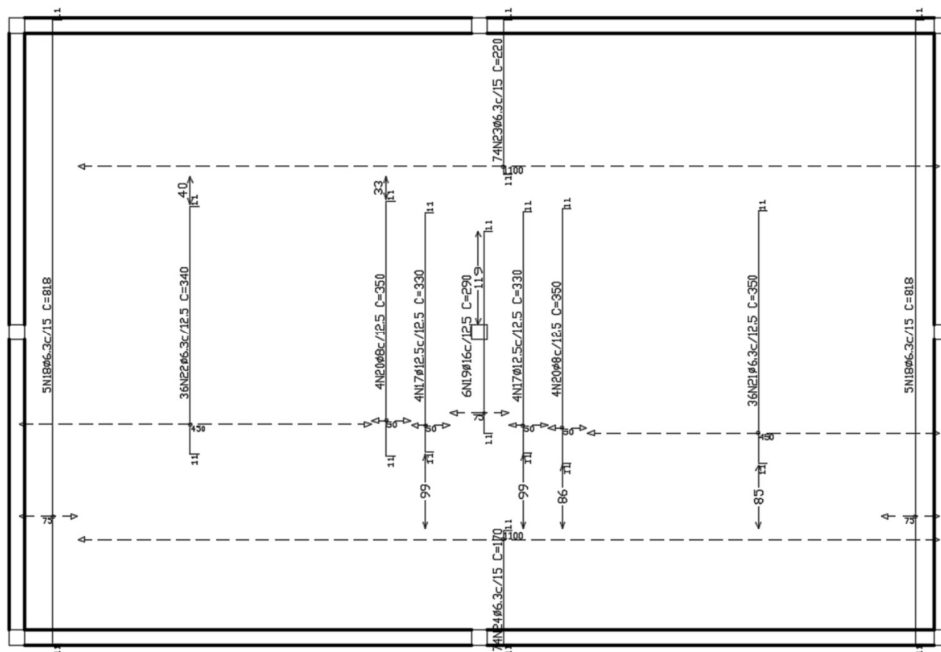
Fonte: Autor.

Figura 30 – Armadura Longitudinal Superior - Laje Lisa



Fonte: Autor.

Figura 31 – Armadura Transversal Superior - Laje Lisa



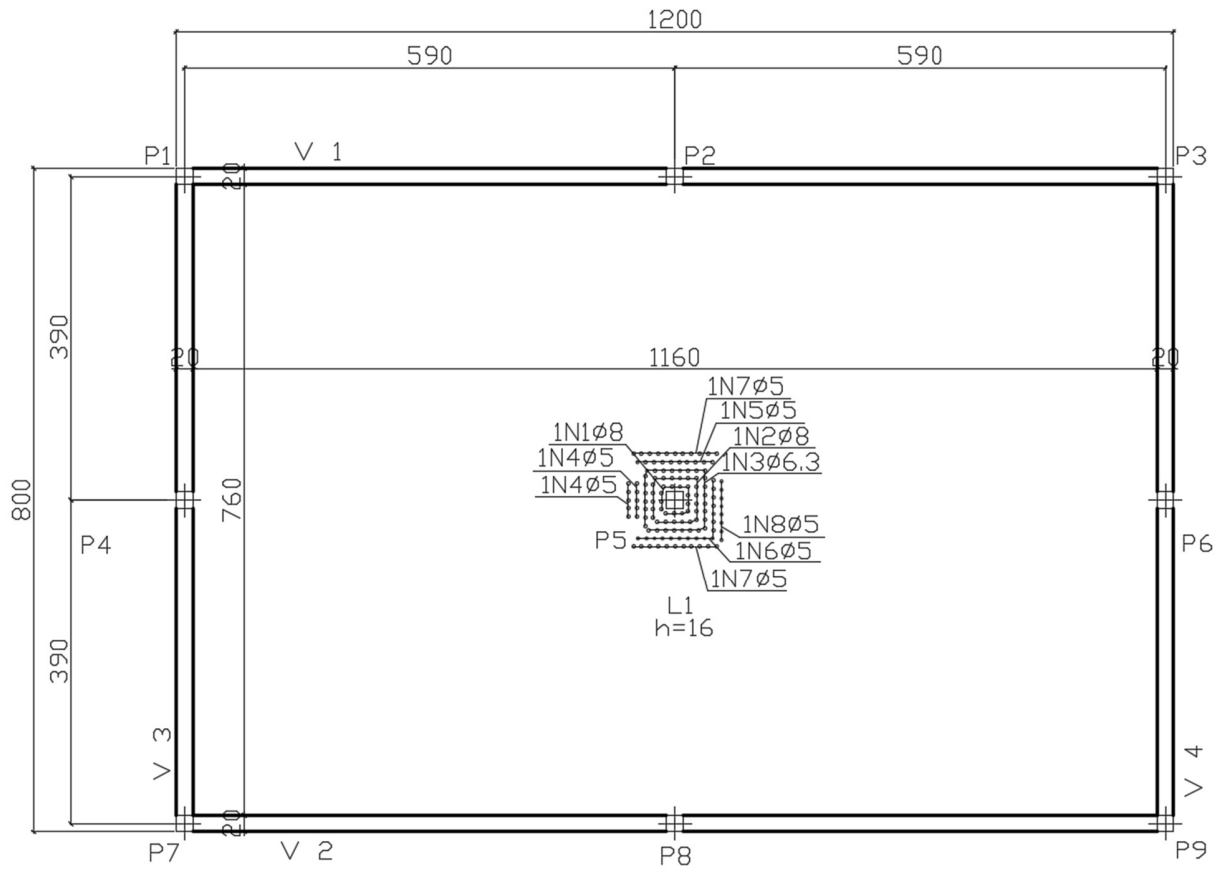
Fonte: Autor.

Figura 32 – Quadro Resumo de Aço das Lajes - Laje Lisa

Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Reta (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
Armadura longitudinal inferior	1	Ø8	28		330		330	9240	36.5	
	2	Ø8	28		930		930	26040	102.8	
	3	Ø10	21		950		950	19950	122.9	
	4	Ø10	9		340		340	3060	18.9	
	5	Ø8	10		340		340	3400	13.4	
	6	Ø8	10		940		940	9400	37.1	
	7	Ø10	12		350		350	4200	25.9	
Total:									357.5	
Armadura transversal inferior	8	Ø10	33		800		800	26400	162.7	
	9	Ø6.3	52		800		800	41600	101.9	
Total:									264.6	
Armadura longitudinal superior	10	Ø12.5	8	11	398	11	420	3360	32.4	
	11	Ø16	15	11	318	11	340	5100	80.5	
	12	Ø8	34	11	408	11	430	14620	57.7	
	13	Ø6.3	52	11	198	11	220	11440	28.0	
	14	Ø6.3	52	11	188	11	210	10920	26.7	
	15	Ø10	6	11	408	11	430	2580	15.9	
16	Ø10	2	11	418	11	440	880	5.4		
Total:									246.6	
Armadura transversal superior	17	Ø12.5	8	11	308	11	330	2640	25.4	
	18	Ø6.3	10	11	796	11	818	8180	20.0	
	19	Ø16	6	11	268	11	290	1740	27.5	
	20	Ø8	8	11	328	11	350	2800	11.1	
	21	Ø6.3	36	11	328	11	350	12600	30.9	
	22	Ø6.3	36	11	318	11	340	12240	30.0	
	23	Ø6.3	74	11	198	11	220	16280	39.9	
	24	Ø6.3	74	11	148	11	170	12580	30.8	
Total:									215.6	
								Ø6.3:	308.2	0.0
								Ø8:	258.6	0.0
								Ø10:	351.7	0.0
								Ø12.5:	57.8	0.0
								Ø16:	108.0	0.0
								Total:	1084.3	0.0

Fonte: Autor.

Figura 33 – Armadura de Punção - Laje Lisa



Fonte: Autor.

Figura 34 – Quadro Resumo de Aço da Armadura de Punção - Laje Lisa

Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Reta (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)	
Formas	1	Ø8	1	15	257	15	287	287	1.1		
	2	Ø8	1	15	425	15	455	455	1.8		
	3	Ø6.3	1	15	593	15	623	623	1.5		
	4	Ø5	2	15	95	15	125	250		0.4	
	5	Ø5	1	15	200	15	230	230		0.4	
	6	Ø5	1	15	347	15	377	377		0.6	
	7	Ø5	2	15	221	15	251	502		0.8	
	8	Ø5	1	15	158	15	188	188		0.3	
Total:									4.4	2.5	
									Ø5:	0.0	2.5
									Ø6.3:	1.5	0.0
									Ø8:	2.9	0.0
									Total:	4.4	2.5

Fonte: Autor.

Figura 35 – Quadro Resumo de Aço das Vigas - Laje Lisa

Resumo Aço Desenho de vigas	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 6.3	66.4	16	192
ϕ 10	85.2	53	
ϕ 12.5	17.2	17	
ϕ 16	55.4	87	
ϕ 20	7.7	19	
CA-60 ϕ 5	260.1	41	41
Total			233

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de vigas ver Anexos.

Figura 36 – Quadro Resumo de Aço dos Pilares- Laje Lisa

Resumo Aço Pilares	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 6.3	12.1	3	106
ϕ 10	120.6	74	
ϕ 16	18.2	29	
CA-60 ϕ 5	144.2	23	23
Total			129

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de pilares ver Anexos.

8.3 Laje Pré-Moldada

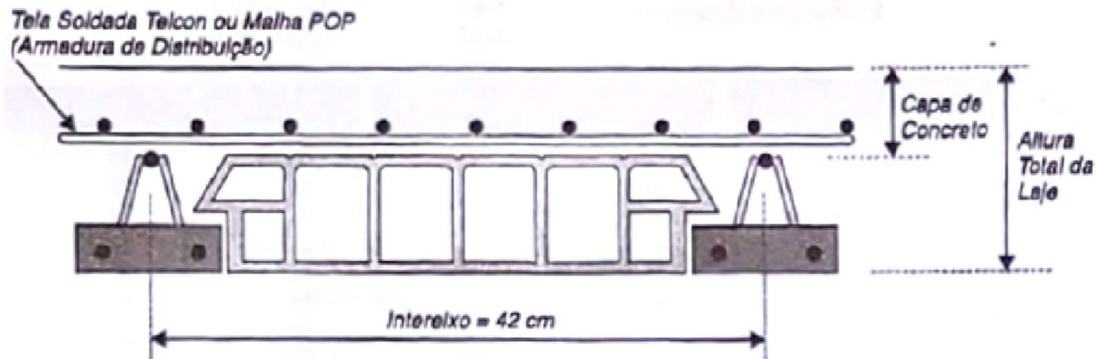
Para o cálculo da estrutura com laje pré-moldada, foi considerada uma espessura de 12cm.

Figura 37 – 3D Laje Pré-Moldada



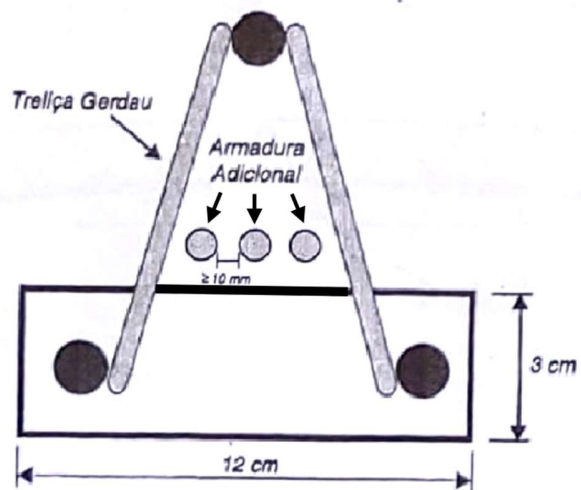
Fonte: Autor.

Figura 38 – Corte da Laje Pré-Moldada



Fonte: Catálogo de Lajes Treliçadas Gerdau.

Figura 39 – Detalhe da Vigota Treliçada Armada



Fonte: Catálogo de Lajes Treliçadas Gerdau.

Figura 40 – Tabela de Laje Pré-Moldada - Espessura 12cm

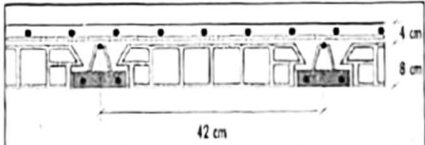
TR 08634

ALTURA TOTAL DA LAJE: 12 CM CAPA DA LAJE: 4 CM

ELEMENTOS CERÂMICOS

TG 8 L	Carga Adicional em kg/m ²							
Vãos (cm)	50	100	150	200	250	300	350	500
200	NÃO HA Necessidade DE REFORÇO				1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0
220			1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2
240		1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0	1 Ø 6,0	1 Ø 7,0
260	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	1 Ø 6,0	1 Ø 7,0	1 Ø 5,0 1 Ø 6,0
280	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 7,0	1 Ø 8,0	3 Ø 4,2 1 Ø 5,0
300	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	1 Ø 6,0	1 Ø 7,0	3 Ø 4,2	1 Ø 5,0	3 Ø 4,2	1 Ø 5,0 1 Ø 6,0
320	2 Ø 4,2	1 Ø 4,2 1 Ø 5,0	1 Ø 7,0	2 Ø 4,2	1 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 5,0	2 Ø 6,0 1 Ø 7,0
340	1 Ø 6,0	1 Ø 7,0	2 Ø 4,2 1 Ø 5,0	1 Ø 4,2 2 Ø 5,0	1 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 4,2 3 Ø 5,0	2 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 7,0 1 Ø 9,5
360	1 Ø 7,0	2 Ø 4,2 1 Ø 5,0	4 Ø 4,2	1 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 5,0 2 Ø 6,0	2 Ø 4,2 2 Ø 6,0	1 Ø 5,0 3 Ø 6,0	2 Ø 7,0 1 Ø 8,0
380	2 Ø 4,2 1 Ø 5,0	1 Ø 4,2 2 Ø 5,0	1 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 5,0 2 Ø 6,0	3 Ø 5,0 1 Ø 6,0	3 Ø 5,0 3 Ø 6,0	3 Ø 6,0 1 Ø 7,0	2 Ø 7,0 1 Ø 9,5
400	1 Ø 4,2 2 Ø 5,0	1 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 5,0 2 Ø 6,0	3 Ø 5,0 1 Ø 6,0	1 Ø 5,0 3 Ø 6,0	3 Ø 7,0	2 Ø 9,5	2 Ø 8,0 1 Ø 9,5
420	3 Ø 5,0	1 Ø 4,2 3 Ø 5,0	3 Ø 5,0 1 Ø 6,0	1 Ø 5,0 3 Ø 6,0	3 Ø 7,0	2 Ø 6,0 2 Ø 7,0	3 Ø 7,0 1 Ø 8,0	
440	3 Ø 4,2 1 Ø 6,0	2 Ø 4,2 2 Ø 6,0	2 Ø 8,0	3 Ø 7,0	2 Ø 6,0 2 Ø 7,0	2 Ø 7,0 1 Ø 9,5	2 Ø 7,0 1 Ø 9,5	
460	1 Ø 6,0 1 Ø 8,0	2 Ø 6,0 1 Ø 7,0	4 Ø 6,0	2 Ø 6,0 2 Ø 7,0	2 Ø 7,0 1 Ø 9,5	2 Ø 8,0 1 Ø 9,5	1 Ø 9,5	
480	2 Ø 6,0 1 Ø 7,0	1 Ø 7,0 1 Ø 9,5	2 Ø 7,0 1 Ø 8,0	2 Ø 7,0 1 Ø 9,5	2 Ø 8,0 1 Ø 9,5	2 Ø 8,0	2 Ø 8,0	

NÃO ATENÇÃO PELA TRELIÇA (PSICHERE POR OUTRA)



NOTA: A ALTURA DA TRELIÇA ESTÁ LIGADA AO PESO PRÓPRIO DA LAJE ACABADA, À CARGA DE TRABALHO E À DISTÂNCIA ENTRE LINHAS DE ESCORAS

Fonte: Catálogo de Lajes Treliçadas Gerdau.

- Treliça: TG 8L
- Armadura adicional: 1 Ø 5,0mm + 2 Ø 6,0mm
- Capa da Laje: 4cm
- Altura total: 12cm
- Número de vigotas: $(5,90\text{m}/0,42\text{m}) = 14,04$ vigotas x 4 lajes $\cong 57$ vigotas

Figura 41 – Quadro Resumo de Armadura Adicional das Lajes - Laje Pré-Moldada

QUANTITATIVO				
N	ϕ	Quant.	C (cm)	T (m)
1	5	57	390	222,30
2	6	114	390	444,60

QUADRO RESUMO			
Aço	ϕ	Total (m)	Peso (kg)
CA-60	5	222,30	34
	6	444,60	99
Peso Total =			133

Fonte: Autor.

De acordo com o catálogo da ArcelorMittal foi adotado a malha média para pisos pré-moldados de residências Q61.

- EQ 61 (média)

Malha - 15cm x 15cm

Dimensões - 2,45m x 6,00m

Bitola - 3,4mm x 3,4mm

Peso - 0,97kg/m² ou 14,3kg/peça

12,0m x 8,0m = 96m² x 0,97kg/m² = 93,12kg

Figura 42 – Quadro Resumo de Aço das Vigas - Laje Pré-Moldada

Resumo Aço Desenho de vigas		Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50	ϕ 6.3	104.0	25	
	ϕ 8	200.2	79	
	ϕ 10	50.8	31	
	ϕ 12.5	47.4	46	
	ϕ 16	25.6	40	
	ϕ 20	26.9	66	
	ϕ 25	18.3	71	
CA-60	ϕ 5	323.2	51	51
Total				409

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de vigas ver Anexos.

Figura 43 – Quadro Resumo de Aço dos Pilares- Laje Pré-Moldada

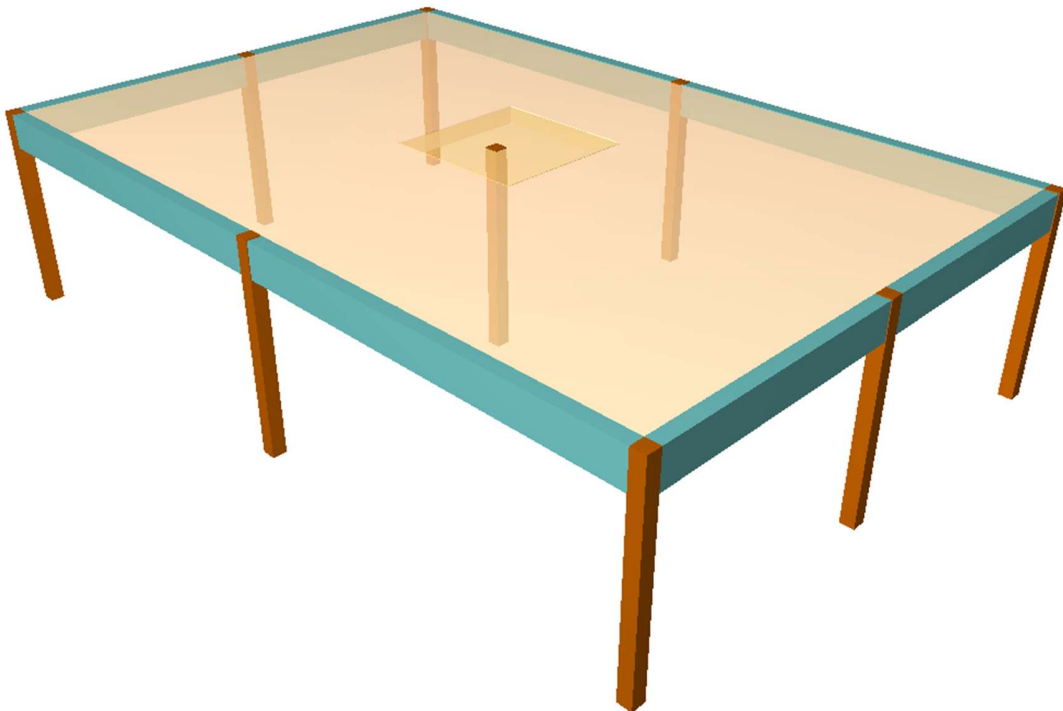
Resumo Aço Pilares	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 6.3	12.1	3	
ϕ 10	120.6	74	
ϕ 16	17.6	28	105
CA-60 ϕ 5	144.2	23	23
Total			128

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de pilares ver Anexos.

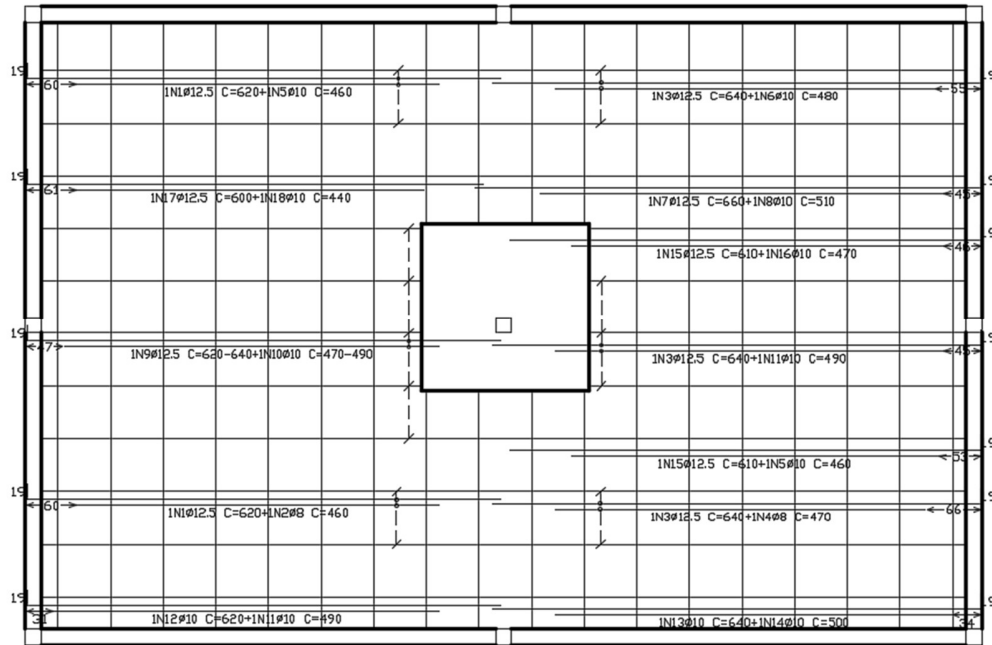
8.4 Laje Nervurada

Para o cálculo da estrutura com laje nervurada, foi considerada uma espessura de 25,5cm.

Figura 44 – 3D Laje Nervurada

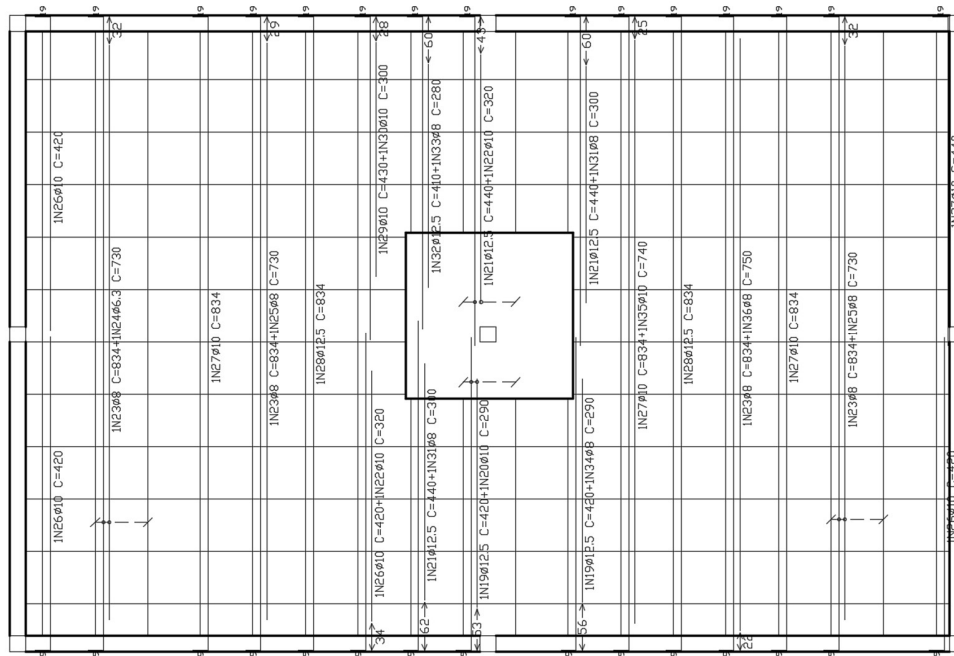
Fonte: Autor.

Figura 45 – Armadura Longitudinal Inferior - Laje Nervurada



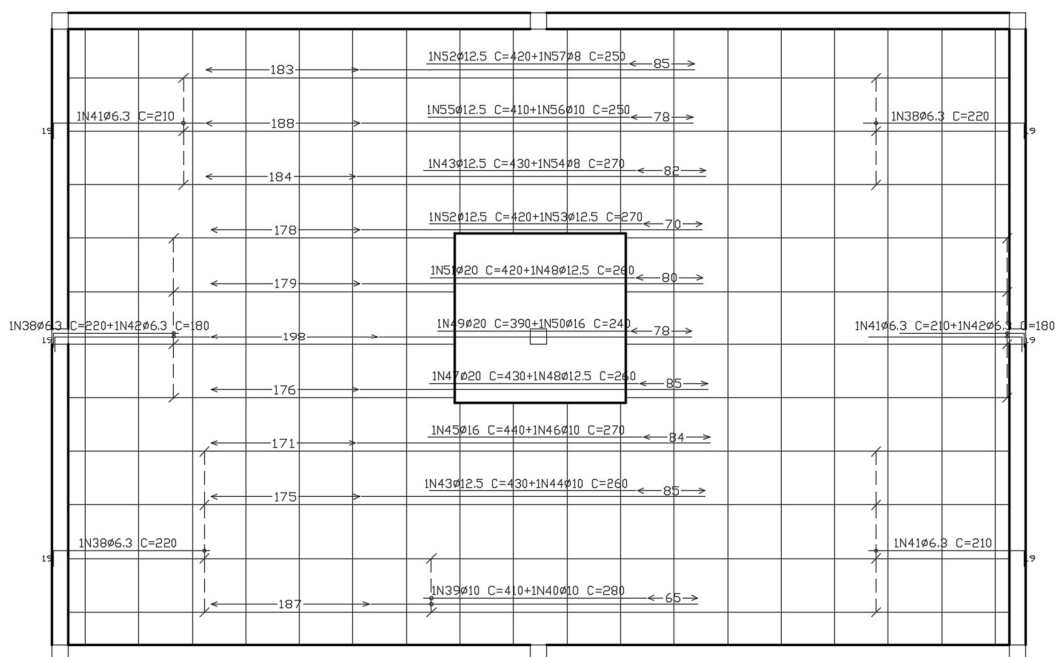
Fonte: Autor.

Figura 46 – Armadura Transversal Inferior - Laje Nervurada



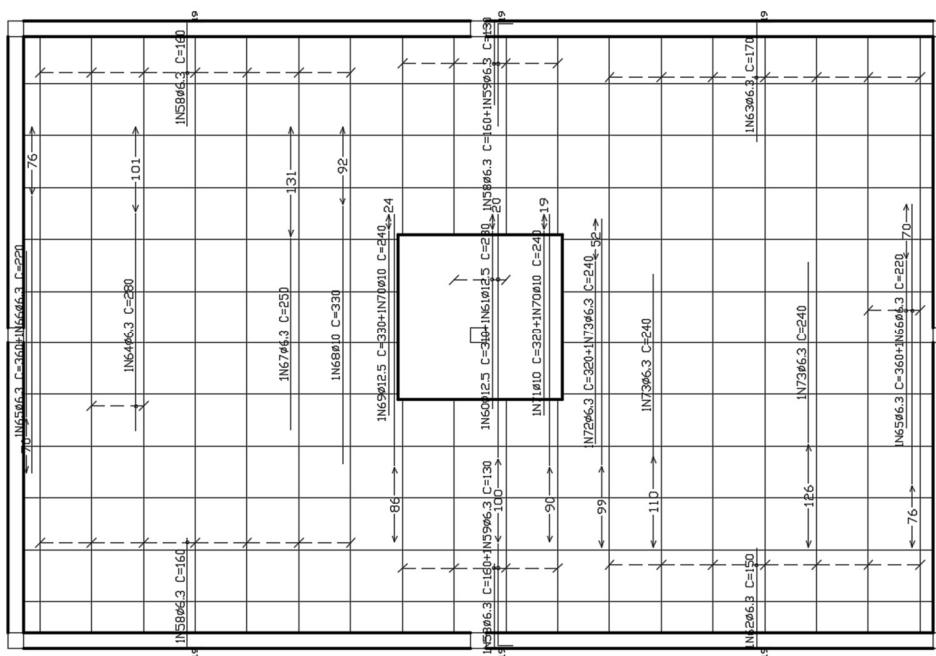
Fonte: Autor.

Figura 47 – Armadura Longitudinal Superior - Laje Nervurada



Fonte: Autor.

Figura 48 – Armadura Transversal Superior - Laje Nervurada



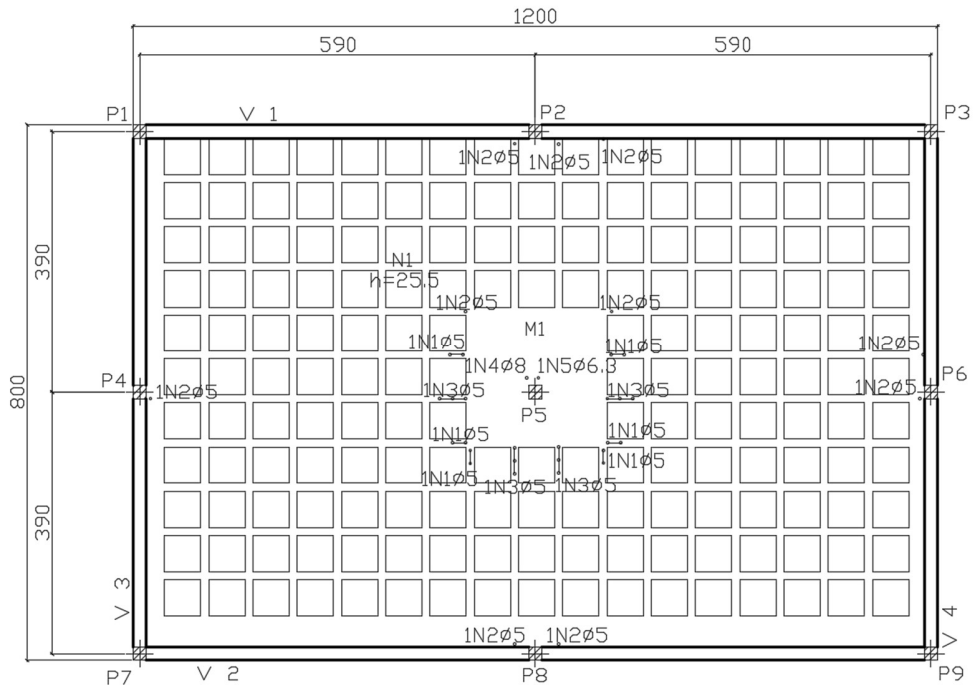
Fonte: Autor.

Figura 49 – Quadro Resumo de Aço das Lajes - Laje Nervurada

Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Reta (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
Armadura longitudinal inferior	1	Ø12.5	4	19	601		620	2480	23.9	
	2	Ø8	2		460		460	920	3.6	
	3	Ø12.5	7	19	621		640	4480	43.2	
	4	Ø8	2		470		470	940	3.7	
	5	Ø10	3		460		460	1380	8.5	
	6	Ø10	2		480		480	960	5.9	
	7	Ø12.5	1	19	641		660	660	6.4	
	8	Ø10	1		510		510	510	3.1	
	9	Ø12.5	5	19	VAR.		VAR.	3140	30.2	
	10	Ø10	5		VAR.		VAR.	2390	14.7	
	11	Ø10	4		490		490	1960	12.1	
	12	Ø10	1	19	601		620	620	3.8	
	13	Ø10	1	19	621		640	640	3.9	
	14	Ø10	1		500		500	500	3.1	
	15	Ø12.5	2	19	591		610	1220	11.8	
	16	Ø10	1		470		470	470	2.9	
	17	Ø12.5	1	19	581		600	600	5.8	
	18	Ø10	1		440		440	440	2.7	
Total								489.3		
Armadura transversal inferior	19	Ø12.5	3	19	401		420	1260	12.1	
	20	Ø10	2		290		290	580	3.6	
	21	Ø12.5	4	19	421		440	1760	17.0	
	22	Ø10	3		320		320	960	5.9	
	23	Ø8	6	19	796	19	834	5004	19.8	
	24	Ø6.3	2		730		730	1460	3.6	
	25	Ø8	3		730		730	2190	8.6	
	26	Ø10	4	19	401		420	1680	10.4	
	27	Ø10	3	19	796	19	834	2502	15.4	
	28	Ø12.5	2	19	796	19	834	1668	16.1	
	29	Ø10	1	19	411		430	430	2.6	
	30	Ø10	1		300		300	300	1.8	
	31	Ø8	2		300		300	600	2.4	
	32	Ø12.5	1	19	391		410	410	3.9	
	33	Ø8	1		280		280	280	1.1	
	34	Ø8	1		290		290	290	1.1	
	35	Ø10	1		740		740	740	4.6	
	36	Ø8	1		750		750	750	3.0	
	37	Ø10	1	19	421		440	440	2.7	
Total								135.7		
Armadura longitudinal superior	38	Ø6.3	11	19	201		220	2420	5.9	
	39	Ø10	2		410		410	820	5.1	
	40	Ø10	2		280		280	560	3.5	
	41	Ø6.3	11	19	191		210	2310	5.7	
	42	Ø6.3	8	19	161		180	1440	3.5	
	43	Ø12.5	2		430		430	860	8.3	
	44	Ø10	1		260		260	260	1.6	
	45	Ø16	1		440		440	440	6.9	
	46	Ø10	1		270		270	270	1.7	
	47	Ø20	1		430		430	430	10.6	
	48	Ø12.5	2		260		260	520	5.0	
	49	Ø20	1		390		390	390	9.6	
	50	Ø16	1		240		240	240	3.8	
	51	Ø20	1		420		420	420	10.4	
	52	Ø12.5	2		420		420	840	8.1	
	53	Ø12.5	1		270		270	270	2.6	
	54	Ø8	1		270		270	270	1.1	
55	Ø12.5	1		410		410	410	3.9		
56	Ø10	1		250		250	250	1.5		
57	Ø8	1		250		250	250	1.0		
Total								99.8		
Armadura transversal superior	58	Ø6.3	22	19	141		160	3520	8.6	
	59	Ø6.3	8	19	111		130	1040	2.5	
	60	Ø12.5	2		310		310	620	6.0	
	61	Ø12.5	2		230		230	460	4.4	
	62	Ø6.3	7	19	131		150	1050	2.6	
	63	Ø6.3	7	19	151		170	1190	2.9	
	64	Ø6.3	2		280		280	560	1.4	
	65	Ø6.3	3		360		360	1080	2.6	
	66	Ø6.3	3		220		220	660	1.6	
	67	Ø6.3	1		250		250	250	0.6	
	68	Ø10	1		330		330	330	2.0	
	69	Ø12.5	1		330		330	330	3.2	
	70	Ø10	2		240		240	480	3.0	
	71	Ø10	1		320		320	320	2.0	
	72	Ø6.3	1		320		320	320	0.8	
	73	Ø6.3	3		240		240	720	1.8	
Total								46.0		
								Ø6.3	44.1	0.0
								Ø8	45.4	0.0
								Ø10	128.1	0.0
								Ø12.5	211.9	0.0
								Ø16	10.7	0.0
								Ø20	30.6	0.0
Total								470.8	0.0	

Fonte: Autor.

Figura 50 – Armadura de Punção - Laje Nervurada



Fonte: Autor.

Figura 51 – Quadro Resumo de Aço da Armadura de Punção - Laje Nervurada

Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Reta (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
Formas	1	Ø5	6	15	60	15	90	540		0.8
	2	Ø5	10	15	21	15	51	510		0.8
	3	Ø5	4	15	100	15	130	520		0.8
	4	Ø8	1	15	21	15	51	51	0.2	
	5	Ø6.3	1	15	21	15	51	51	0.1	
								Total	0.3	2.4
								Ø5,	0.0	2.4
								Ø6.3,	0.1	0.0
								Ø8,	0.2	0.0
								Total	0.3	2.4

Fonte: Autor.

Figura 52 – Armadura do Maciço - Laje Nervurada

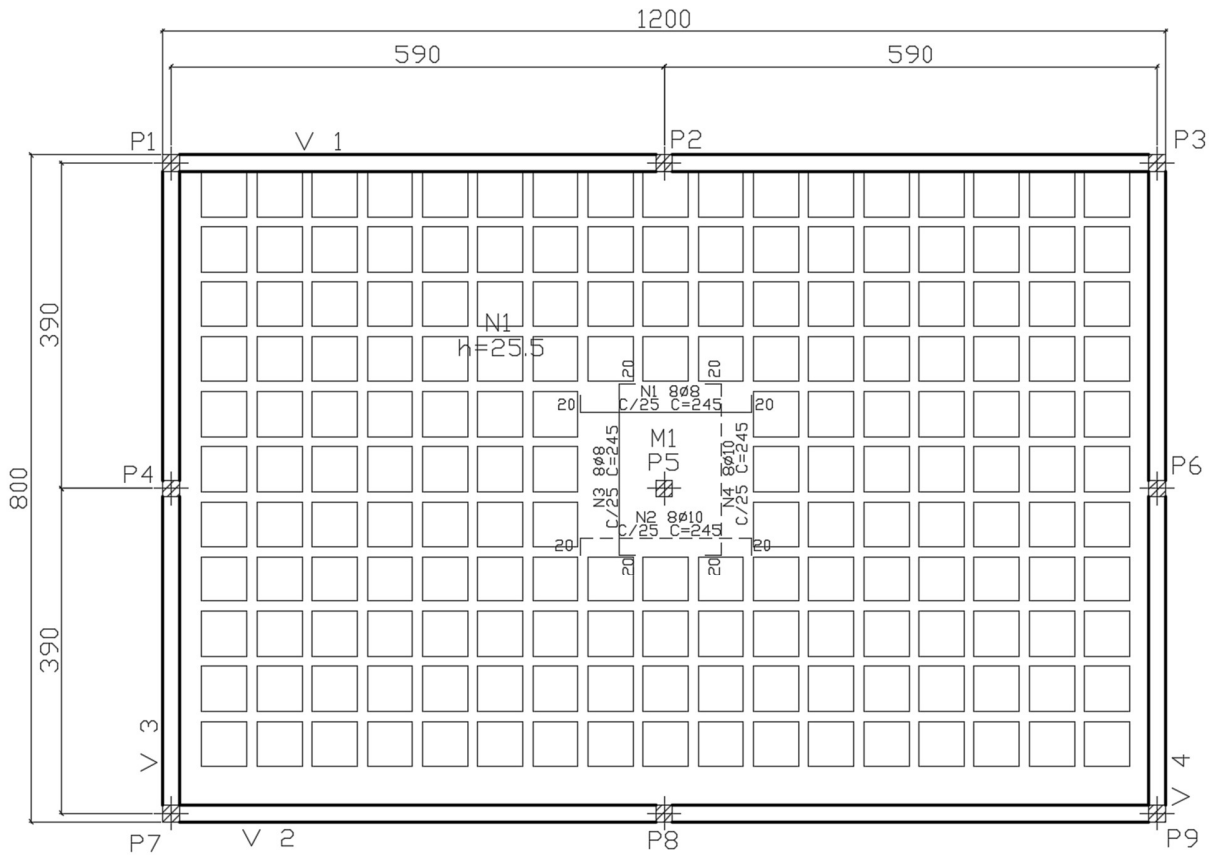


Figura 53 – Quadro Resumo de Aço da Armadura do Maciço - Laje Nervurada

QUANTITATIVO				
N	ϕ	Quant.	C (cm)	T (m)
1	8	8	245	19,60
2	10	8	245	19,60
3	8	8	245	19,60
4	10	8	245	19,60

QUADRO RESUMO			
Aço	ϕ	Total (m)	Peso (kg)
CA-50	8	39,20	15
	10	39,20	24
Peso Total =			40

Figura 54 – Quadro Resumo de Aço das Vigas - Laje Nervurada

Resumo Aço Desenho de vigas	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 6.3	23.8	6	133
ϕ 10	85.6	53	
ϕ 12.5	13.1	13	
ϕ 16	19.6	31	
ϕ 25	7.7	30	
CA-60 ϕ 5	294.5	46	46
Total			179

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de vigas ver Anexos.

Figura 55 – Quadro Resumo de Aço dos Pilares- Laje Nervurada

Resumo Aço Pilares	Comp. total (m)	Peso (kg)	Total
CA-50 ϕ 6.3	12.1	3	105
ϕ 10	120.6	74	
ϕ 16	17.8	28	
CA-60 ϕ 5	144.2	23	23
Total			128

Fonte: Autor.

Para o projeto detalhado e o quadro completo da armação de pilares ver Anexos.

9 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo as medidas mínimas de espessura para cada tipo de laje exigido pela norma NBR 6118 (2014) e o necessário para que a estrutura resistisse aos esforços aplicados, foi feita uma análise comparando vários aspectos das lajes calculadas.

Tabela 1 – Quantidades dos Elementos Estruturais

	Espessura	Quantidade de Pilares	Quantidade de Vigas	Quantidade de Lajes
Laje Maciça	10,00 cm	9	6	4
Laje Lisa	16,00 cm	9	4	1
Laje Pré-Moldada	12,00 cm	9	6	4
Laje Nervurada	25,50 cm	9	4	1

Fonte: Autor.

Como já mencionado anteriormente, os quatro tipos de laje em estudo apresentam a mesma quantidade de pilares para que o foco da análise seja nas lajes, porém a quantidade de vigas se diverge em alguns modelos e, conseqüentemente, a quantidades de lajes. A laje maciça e a laje pré-moldada necessitam de 6 vigas e 4 lajes para que a estrutura resista aos esforços com o mínimo de armação e volume de concreto possíveis, enquanto a laje lisa e a nervurada permite que a mesma estrutura possua apenas 4 vigas e 1 laje.

Tabela 2 – Peso de Aço

	Peso de Aço dos Pilares	Peso de Aço das Vigas	Peso de Aço das Lajes	Peso de Aço de Armadura Adicional	Peso Total de Aço
Laje Maciça	115,00 kg	389,60 kg	531,30 kg	0,00 kg	1035,90 kg
Laje Lisa ¹	129,20 kg	232,70 kg	1084,30 kg	6,90 kg	1453,10 kg
Laje Pré-Moldada	115,00 kg	378,30 kg	226,12 kg*	0,00 kg	719,42 kg*
Laje Nervurada ²	128,60 kg	178,30 kg	468,10 kg	42,70 kg	817,70 kg

¹ - Armadura de punção adicional

² - Armadura de punção e do maciço adicional

*armadura da treliça não considerada, apenas a armadura adicional da laje e malha

Fonte: Autor.

Quando a comparação é feita em relação ao peso de aço total de cada elemento estrutural, os valores começam a apresentar uma maior variação. A armadura da laje pré-moldada é a que necessita menos aço, cerca de 720kg, porém foi considerado apenas a armadura de reforço e sua malha soldada e não a armadura das treliças das vigotas, visto que estas já estão presentes no elemento pré-moldado. Com 468,10kg de armadura, o modelo com laje nervurada é a segunda laje mais econômica em relação ao peso de aço. O modelo de laje maciça possui um peso de 531,30kg de aço, valor muito próximo ao modelo de laje nervurada. E por fim, com mais de 1000kg a laje lisa é a que mais necessita de armação.

Analisando o peso total de aço a ordem se mantém a mesma, o modelo de lajes pré-moldadas é o mais leve, seguido do modelo de laje nervurada, depois o da laje maciça e finalmente o modelo da laje lisa. Porém a diferença de peso entre o modelo da laje pré-moldada e laje nervurada diminui, pois o peso de aço das vigas do primeiro modelo é quase o dobro do segundo.

Percebe-se que a armadura dos pilares e da laje da estrutura calculada como laje lisa foram os mais carregados, isto ocorre devido ao fato de que este é modelo com a laje de maior espessura maciça, fazendo com que seu peso próprio aumente consideravelmente. Os modelos menos carregados são

os modelos de laje maciça e pré-moldada, como as armaduras são idênticas, pode-se concluir que está sendo considerado as armaduras mínimas dos respectivos pilares.

Analisando as armaduras de vigas, percebe-se que as vigas menos armadas são as do modelo de laje nervurada, visto que é a laje mais espessa e, conseqüentemente, com a maior inércia, o que minimiza os esforços destas vigas. Analogamente, as vigas mais carregadas são as das estruturas com lajes maciça e pré-moldada, respectivamente, as lajes menos espessas das quatro analisadas.

Tabela 3 – Volume de Concreto

	Volume de Concreto dos Pilares	Volume de Concreto das Vigas	Volume de Concreto das Lajes	Volume Total de Concreto
Laje Maciça	0,90 m ³	6,00 m ³	8,44 m ³	15,34 m ³
Laje Lisa	0,90 m ³	4,00 m ³	14,10 m ³	19,00 m ³
Laje Pré-Moldada	0,90 m ³	6,00 m ³	3,84 m ^{3**}	10,74 m ^{3**}
Laje Nervurada	0,90 m ³	4,00 m ³	12,33 m ³	17,23 m ³

**concreto de elemento moldado in loco

Fonte: Autor.

Quando o estudo é feito sobre o volume de concreto das lajes o fator decisivo é a espessura equivalente de cada uma. A laje pré-moldada é a que apresenta um menor volume de concreto 3,84m³, porém o concreto utilizado na obra para esta laje seria somente a espessura da camada de compressão (capeamento), neste caso 4cm visto que o restante do preenchimento é feito com elementos pré-fabricados. Com um pouco mais de 8 metros cúbicos, a laje maciça é o tipo de laje com um menor volume de concreto a ser moldado in loco seguido do modelo de laje nervurada com 17,23 m³, que apesar de ser a mais espessa, possui nervuras que reduzem seu volume de concreto, sem perder rigidez devido ao aumento de sua inércia, sua espessura equivalente é de 14cm, ou seja, se ela não possuísse nervuras, teria uma espessura constante com tal espessura, por isso um menor volume de concreto. E finalmente, com mais de 14 metros cúbicos, a laje lisa é a que apresenta um maior volume de concreto das quatro.

Quando a análise é feita em relação ao volume total não existem diferenças relevantes a ser consideradas, visto que o volume de concreto dos pilares é o mesmo em todos os modelos e o volume de concreto das vigas varia em apenas $2,00\text{m}^3$ de diferença.

10 CONCLUSÃO

Diante dos dados apresentados e dos cálculos e análises feitas ao decorrer do trabalho, foi concluído que a laje pré-moldada, além de ser uma laje de fácil execução, é a que menos necessita de uso de materiais moldados in loco, o que faz com que este tipo de laje seja uma excelente escolha para obras de pequenos e médios vãos. A laje maciça é uma outra ótima escolha para estruturas similares a anterior, seu gasto com materiais é um pouco mais elevado, porém por ser concretada juntamente com as vigas, torna a estrutura mais rígida, o que a faz ser bastante resistente a trincas e fissuras. A laje nervurada não seria indicada para obras visando a economia, pois apesar de apresentar uma menor quantidade de armadura do que a laje maciça, tal laje possui um maior volume de concreto que as anteriores. Este tipo de laje é mais recomendado para vencer grandes vãos e estruturas que não apresentam dificuldades em ter um elevado pé-direito devido à grande espessura deste tipo de laje. E por fim, a laje lisa, mesmo não sendo a mais espessa, é a laje que mais necessita de concreto e aço. Este tipo de laje por não ser econômica só é recomendado para obras onde é visado a estética, visto que a estrutura fica com uma aparência mais limpa sem interrupções, além disso também consegue vencer grandes vãos. Este tipo de laje é, geralmente, escolhido para estruturas mais ousadas, como por exemplo casas de luxo ou prédios comerciais.

Tendo em vista o pequeno porte da estrutura analisada foi chegada à conclusão de que a laje mais exequível é a laje pré-fabricada. Embora não esteja sendo analisado custos, esta laje seria a mais viável economicamente, pois todos os outros tipos teriam a eficiência para suportar as cargas aplicadas, mas os fatores decisivos na escolha de qual modelo utilizar seriam o volume de materiais e o custo. O modelo de laje pré-moldada apresenta uma maior velocidade de execução, ou seja, o tempo para aluguel de equipamentos e contratação de funcionários é reduzido. O custo com formas é quase inexistente, já que as próprias vigotas são usadas como forma, o volume do concreto moldado in loco também é reduzido e, por fim, não há necessidade de mão de obra especializada para este tipo de laje, o que também reduz o custo total da obra.

Para o presente trabalho foi calculada uma estrutura de um pavimento, pois se fosse considerada uma estrutura de vários pavimentos a ação do vento teria que ser levada em consideração, fazendo

com que o foco da análise, o comparativo entre as lajes, se desviasse com o acréscimo de mais uma variável.

A escolha da laje certa para cada tipo de estrutura é indispensável para que o construtor não encontre surpresas desagradáveis, como custos extras não previstos ou uma extensão não planejada da entrega da obra. Por isso um minucioso planejamento e um projeto estrutural bem executado são imprescindíveis para a execução de qualquer obra com segurança e economia.

11 REFERÊNCIAS

UFSC PORTAL VIRTUAHAB. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/en/laje-macica>>, acessado em: 18/05/2022

UFSC PORTAL VIRTUAHAB. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/en/laje-pre-fabricada>>, acessado em: 18/05/2022

THE CONSTRUCTOR. Disponível em: <<https://theconstructor.org/practical-guide/concrete-slab-construction-cost/28153>>, acessado em: 18/05/2022

UFSC PORTAL VIRTUAHAB. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/en/laje-steel-deck>>, acessado em: 19/05/2022

ESCOLA ENGENHARIA. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/laje-protendida>>, acessado em: 19/05/2022

MAPA DA OBRA. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/lajes-concreto/>>, acessado em: 29/05/2022

SILVA, NEY A. Apostila Especialização em Estruturas - Concreto Armado 1, Belo Horizonte, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:

Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:

Ações para o cálculo de estruturas de edificações: ABNT, 2019 Errata 1:2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062:

Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-1

Lajes Pré-Fabricadas de Concreto: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520:
informação e documentação: citações em documentos: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724:
informação e documentação: trabalhos acadêmicos: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023:
informação e documentação: referências: elaboração: ABNT, 2018 Errata 2 :2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6024:
numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação: ABNT, 2012.

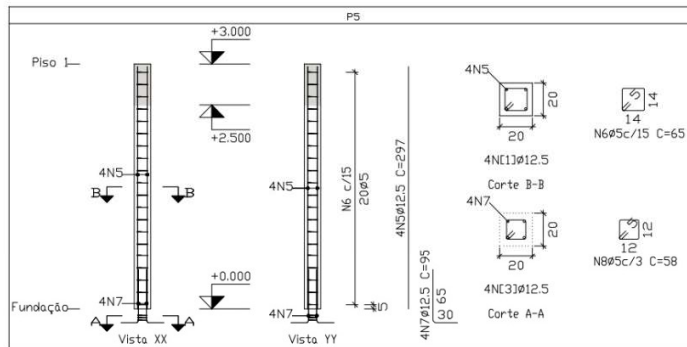
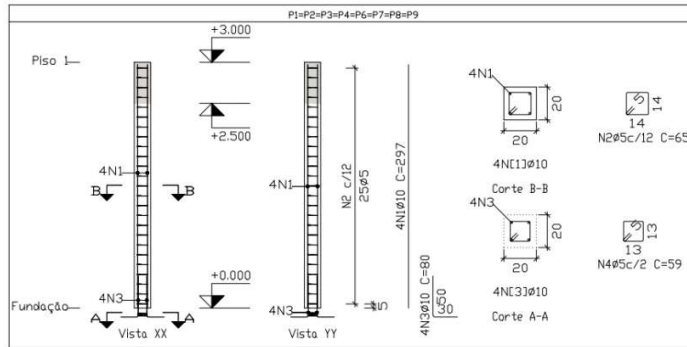
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6027:
informação e documentação: sumário: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6028:
informação e documentação: resumo: apresentação: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6029:
informação e documentação: livros e folhetos: ABNT, 2006.

APÊNDICES E ANEXOS

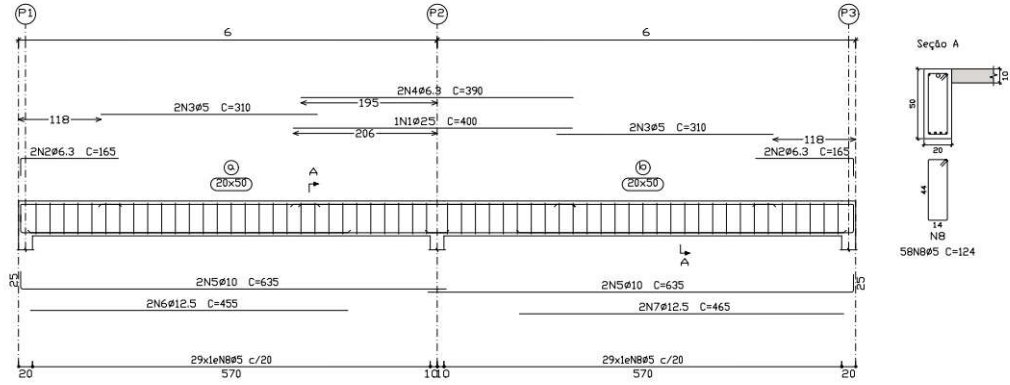
Anexo 1 – Armação de Pilares – Laje Maciça



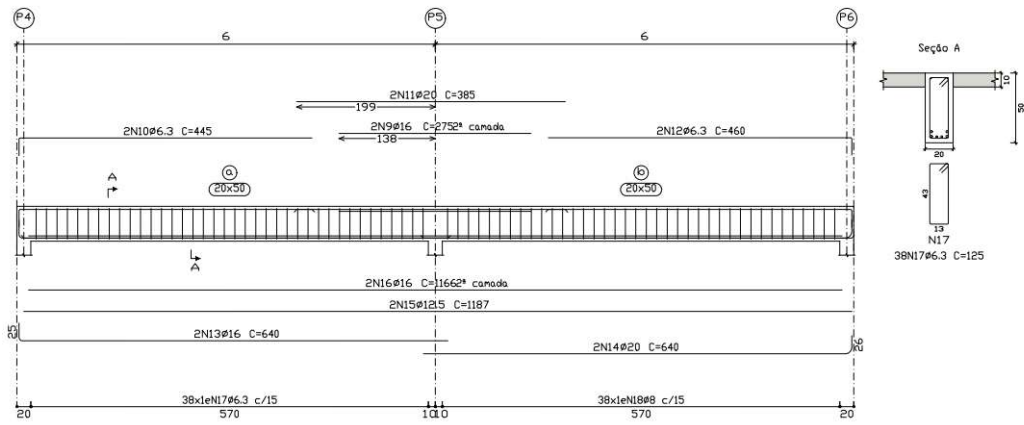
Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)	
P1=P2=P3=P4=P6=P7=P8=P9	1	Ø10	4		297	1188	7.3		
	2	Ø5	25		65	1625		2.6	
	3	Ø10	4		80	320	2.0		
	4	Ø5	3		59	177		0.3	
Total:							9.3	2.9	
(x8)							74.4	23.2	
P5	5	Ø12.5	4		297	1188	11.4		
	6	Ø5	20		65	1300		2.0	
	7	Ø12.5	4		95	380	3.7		
	8	Ø5	3		58	174		0.3	
Total:							15.1	2.3	
							Ø5:	0.0	25.5
							Ø10:	74.4	0.0
							Ø12.5:	15.1	0.0
Total:							89.5	25.5	

Anexo 2 – Armação de Vigas – Laje Maciça

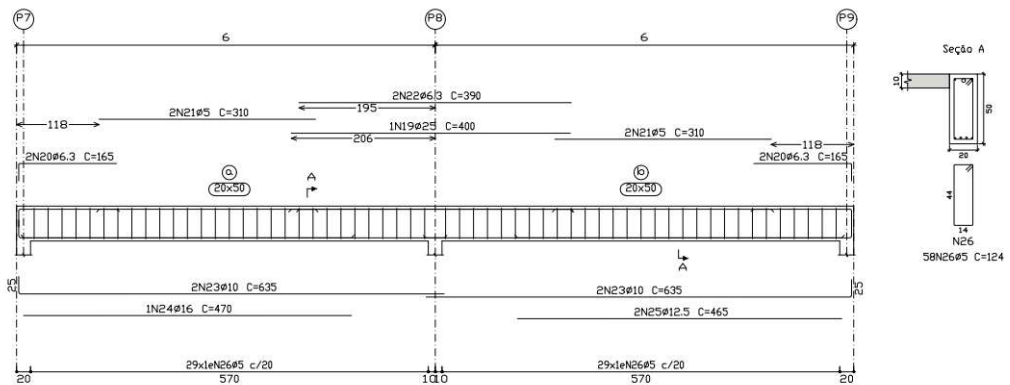
V 1
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



V 2
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

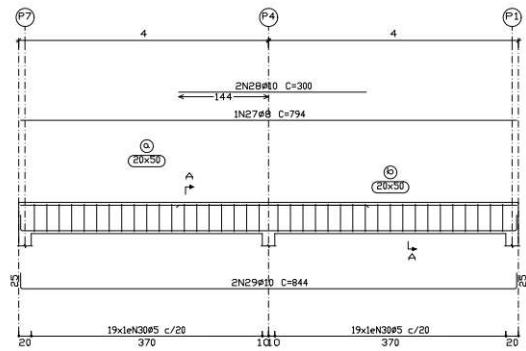


V 3
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

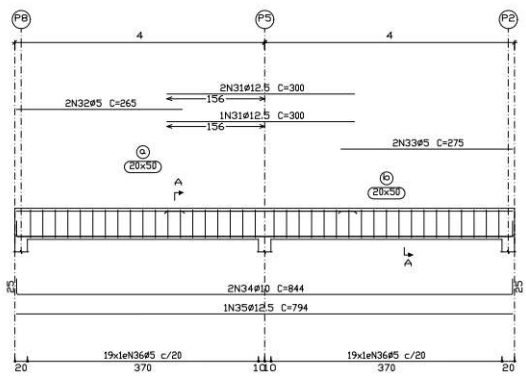


Anexo 3 – Armação de Vigas – Laje Maciça

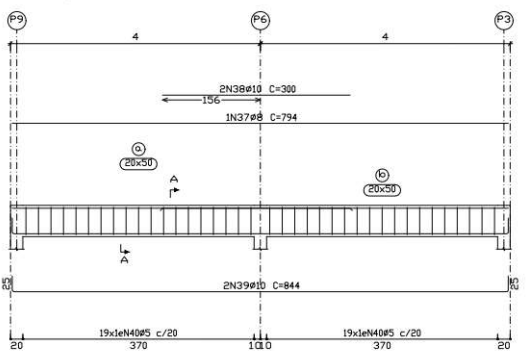
V 4
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



V 5
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

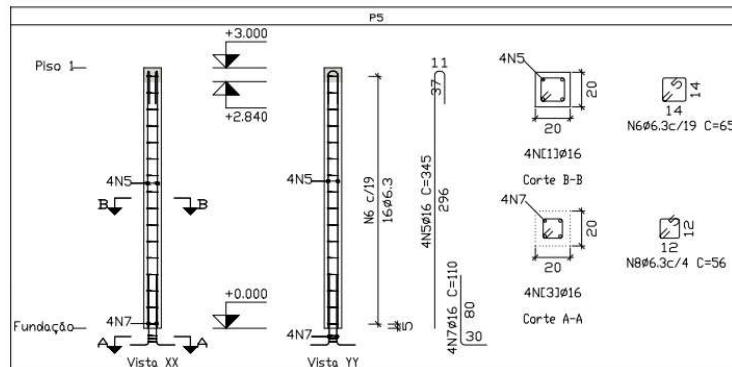
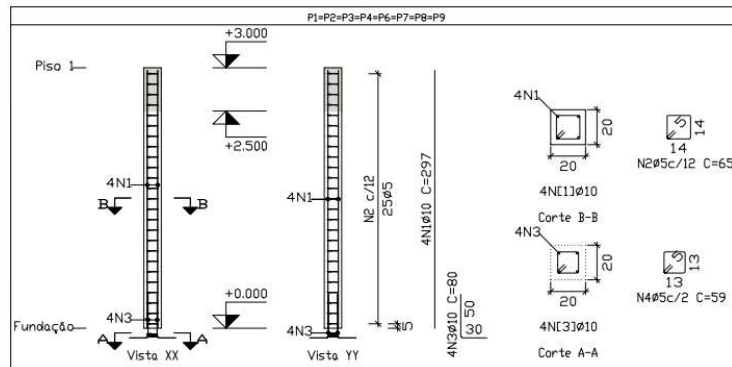


V 6
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



Elemento	Pos	Diam	Q.	Esquema (cm)	Comp (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)		
V 1	1	Ø25	1	400	400	400	15.4			
	2	Ø6.3	4	140	165	660	1.6			
	3	Ø5	4	310	310	1240		1.9		
	4	Ø6.3	2	290	390	780	1.9			
	5	Ø10	4	610	635	2540	15.7			
	6	Ø12.5	2	430	455	910	8.8			
	7	Ø12.5	2	460	465	930	9.0			
	8	Ø5	58			124	7192		11.3	
Total							58.4	13.2		
V 2	9	Ø16	2	270	275	550	8.7			
	10	Ø6.3	2	400	445	890	2.2			
	11	Ø20	2	380	385	770	19.0			
	12	Ø6.3	2	420	460	920	2.3			
	13	Ø16	2	610	640	1280	20.2			
	14	Ø20	2	610	640	1280	31.6			
	15	Ø12.5	2	1187	1187	2374	22.9			
	16	Ø16	2	1166	1166	2332	36.8			
	17	Ø6.3	38			126	4788	11.7		
	18	Ø8	38			129	4902	19.4		
Total							74.8			
V 3	19	Ø25	1	400	400	400	15.4			
	20	Ø6.3	4	140	165	660	1.6			
	21	Ø5	4	310	310	1240		1.9		
	22	Ø6.3	2	290	390	780	1.9			
	23	Ø10	4	610	635	2540	15.7			
	24	Ø16	1	470	470	470	7.4			
	25	Ø12.5	2	460	465	930	9.0			
	26	Ø5	58			124	7192		11.3	
	Total							51.0	13.2	
	V 4	27	Ø8	1	790	790	790	3.1		
28		Ø10	2	300	300	600	3.7			
29		Ø10	2	790	844	1688	10.4			
30		Ø5	38			124	4712		7.4	
Total							17.2	7.4		
V 5	31	Ø12.5	3	300	300	900	8.7			
	32	Ø5	25	265	265	530		0.8		
	33	Ø5	25	270	275	550		0.9		
	34	Ø10	2	790	844	1688	10.4			
	35	Ø12.5	1	790	790	790	7.6			
	36	Ø5	38			124	4712		7.4	
Total							26.7	9.1		
V 6	37	Ø8	1	790	790	790	3.1			
	38	Ø10	2	300	300	600	3.7			
	39	Ø10	2	790	844	1688	10.4			
	40	Ø5	38			124	4712		7.4	
Total							17.2	7.4		
Total							0.5	0.0	50.3	
Total							Ø6.3	232	0.0	
Total							Ø8	256	0.0	
Total							Ø10	700	0.0	
Total							Ø12.5	66.0	0.0	
Total							Ø16	73.1	0.0	
Total							Ø20	50.6	0.0	
Total							Ø25	30.8	0.0	
Total							Ø39.3		50.3	

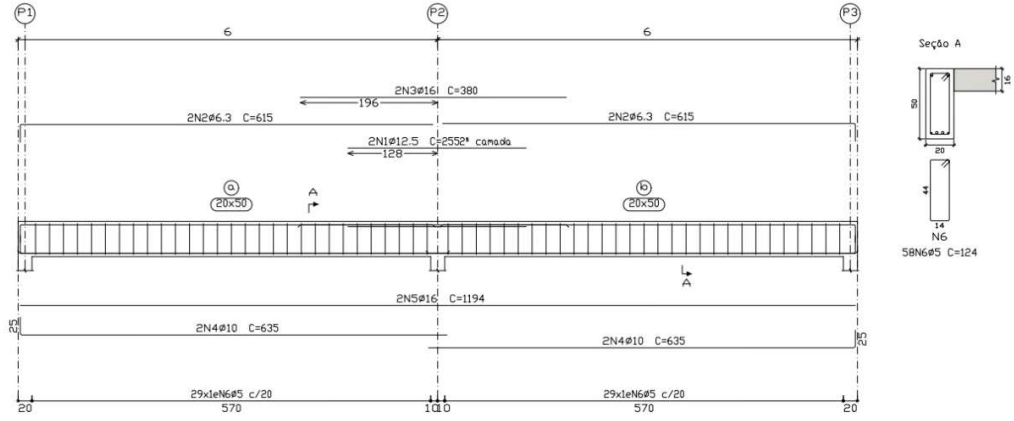
Anexo 4 – Armação de Pilares – Laje Lisa



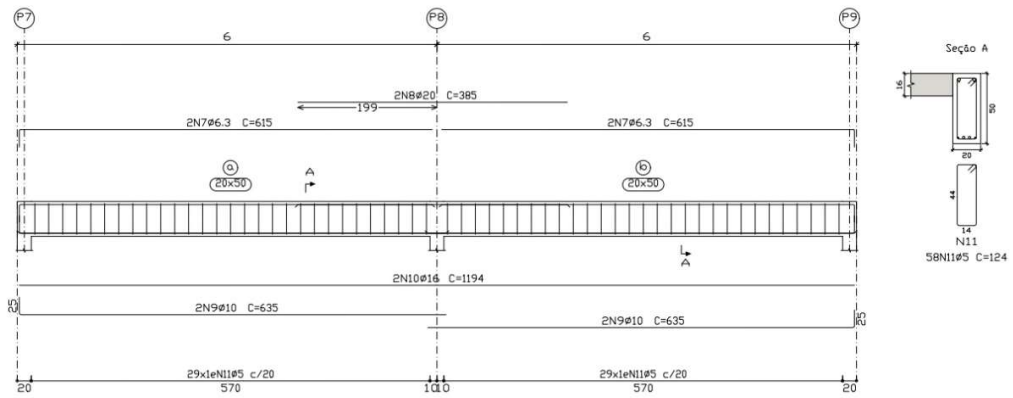
Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
P1=P2=P3=P4=P6 P7=P8=P9	1	Ø10	4	297	297	1188	7.3	
	2	Ø5	25		65	1625		2.6
	3	Ø10	4		80	320	2.0	
	4	Ø5	3		59	177		0.3
						Total (x8)	9.3	2.9
							74.4	23.2
P5	5	Ø16	4	296	345	1380	21.8	
	6	Ø6.3	16		65	1040	2.5	
	7	Ø16	4		110	440	6.9	
	8	Ø6.3	3		56	168	0.4	
						Total	31.6	
						Ø5:	0.0	23.2
						Ø6.3:	2.9	0.0
						Ø10:	74.4	0.0
						Ø16:	28.7	0.0
						Total:	106.0	23.2

Anexo 5 – Armação de Vigas – Laje Lisa

V 1
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

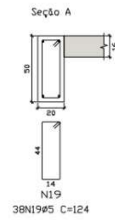
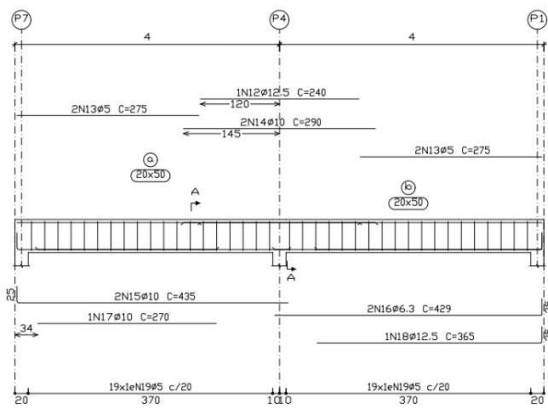


V 2
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

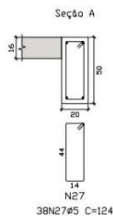
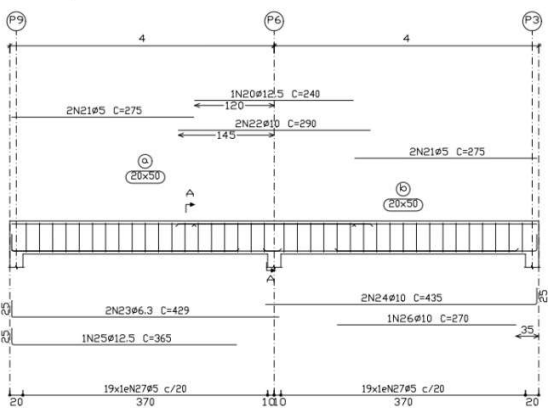


Anexo 6 – Armação de Vigas – Laje Lisa

V 3
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

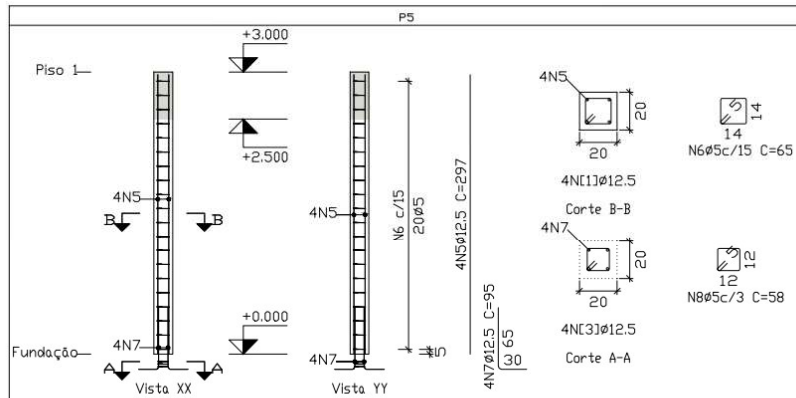
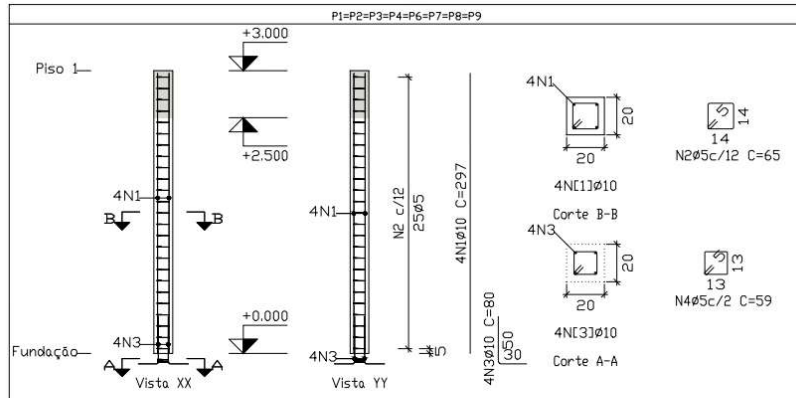


V 4
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
V 1	1	Ø12.5	2	240	255	510	4.9	
	2	Ø6.3	4	390	615	2460	6.0	
	3	Ø16	2	380	380	760	12.0	
	4	Ø10	4	610	635	2540	15.7	
	5	Ø16	2	1194	1194	2388	37.7	
	6	Ø5	38	124	124	7192		11.3
						Total	76.3	11.3
V 2	7	Ø6.3	4	390	615	2460	6.0	
	8	Ø20	2	385	385	770	19.0	
	9	Ø10	4	610	635	2540	15.7	
	10	Ø16	2	1194	1194	2388	37.7	
	11	Ø5	38	124	124	7192		11.3
						Total	78.4	11.3
V 3	12	Ø12.5	1	240	240	240	2.3	
	13	Ø5	4	275	275	1100		1.7
	14	Ø10	2	290	290	580	3.6	
	15	Ø10	2	410	435	870	5.4	
	16	Ø6.3	2	404	429	858	2.1	
	17	Ø10	1	270	270	270	1.7	
	18	Ø12.5	1	365	365	365	3.5	
	19	Ø5	38	124	124	4712		7.4
							Total	18.6
V 4	20	Ø12.5	1	240	240	240	2.3	
	21	Ø5	4	275	275	1100		1.7
	22	Ø10	2	290	290	580	3.6	
	23	Ø6.3	2	404	429	858	2.1	
	24	Ø10	2	410	435	870	5.4	
	25	Ø12.5	1	340	365	365	3.5	
	26	Ø10	1	270	270	270	1.7	
	27	Ø5	38	124	124	4712		7.4
						Total	18.6	9.1
						Ø5:	0.0	40.8
						Ø6.3:	16.2	0.0
						Ø10:	52.8	0.0
						Ø12.5:	16.5	0.0
						Ø16:	87.4	0.0
						Ø20:	19.0	0.0
						Total:	191.9	40.8

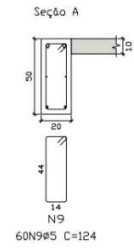
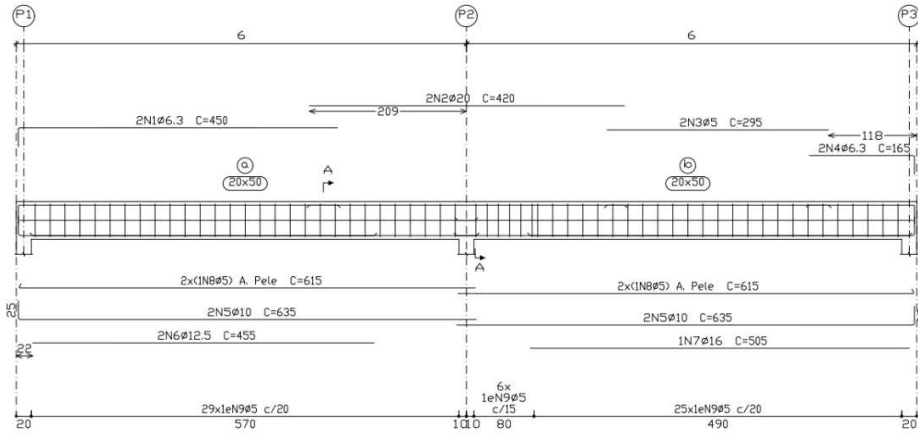
Anexo 7 – Armação de Pilares – Laje Pré-Moldada



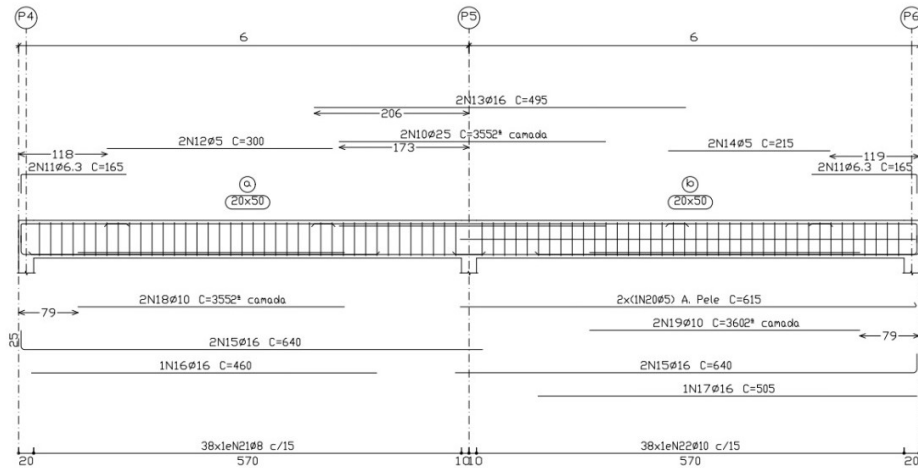
Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)	
P1=P2=P3=P4=P6 P7=P8=P9	1	Ø10	4	297	297	1188	7.3		
	2	Ø5	25		65	1625		2.6	
	3	Ø10	4		80	320	2.0		
	4	Ø5	3		59	177		0.3	
Total:							9.3	2.9	
(x8)							74.4	23.2	
P5	5	Ø12.5	4	297	297	1188	11.4		
	6	Ø5	20		65	1300		2.0	
	7	Ø12.5	4		95	380	3.7		
	8	Ø5	3		58	174		0.3	
Total:							15.1	2.3	
Ø5:							0.0	25.5	
Ø10:							74.4	0.0	
Ø12.5:							15.1	0.0	
Total:							89.5	25.5	

Anexo 8 – Armação de Vigas – Laje Pré-Moldada

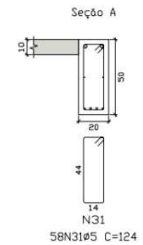
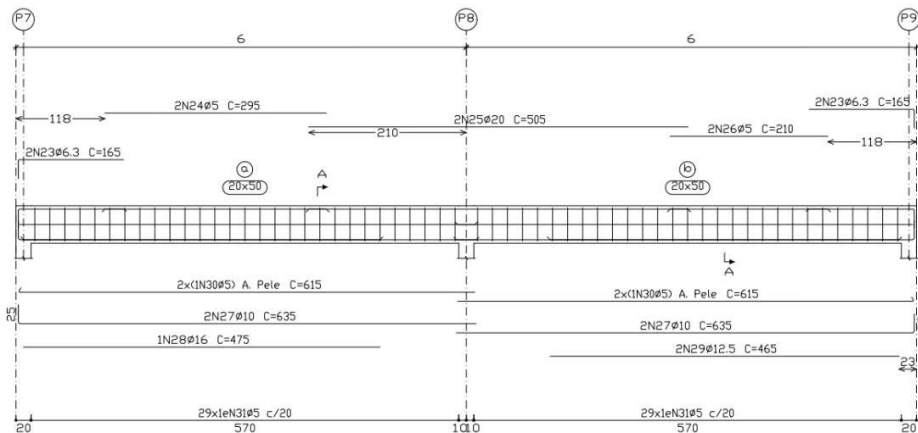
V 1
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



V 2
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

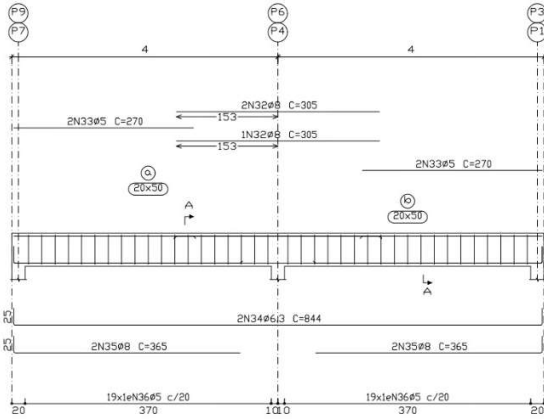


V 3
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

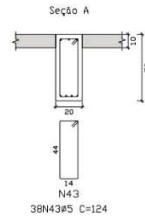
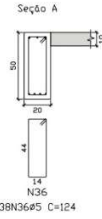
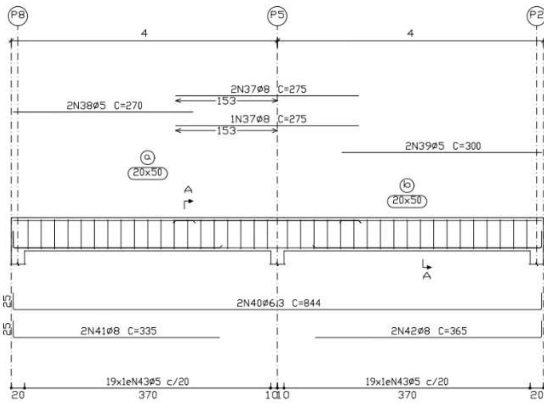


Anexo 9 – Armação de Vigas – Laje Pré-Moldada

V 4
V 6
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25

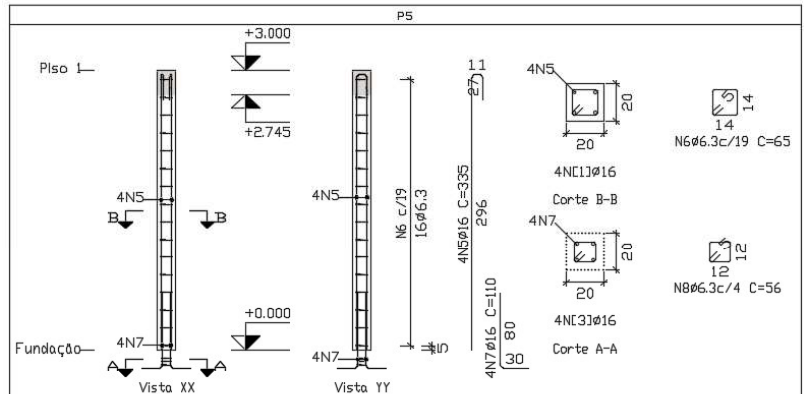
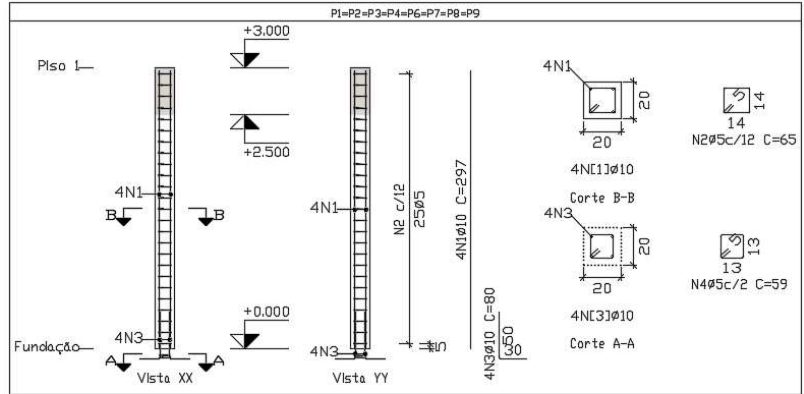


V 5
Escala vigas 1:50
Escala seções 1:25



Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)		
V 1	1	ø6.3	2	450	450	900	2.2			
	2	ø20	2	420	420	840	20.7			
	3	ø5	2	295	295	590		0.9		
	4	ø6.3	2	140	165	330	0.8			
	5	ø10	4	610	635	2540	15.7			
	6	ø12.5	2	455	455	910	8.8			
	7	ø16	1	365	505	505	8.0			
	8	ø5	4	669	615	2460		3.9		
	9	ø5	60			124	7440		11.7	
							Total:	56.2	16.5	
V 2	10	ø25	2	355	355	710	27.4			
	11	ø6.3	4	140	165	660	1.6			
	12	ø5	2	300	300	600		0.9		
	13	ø16	2	495	495	990	15.6			
	14	ø5	2	215	215	430		0.7		
	15	ø16	4	610	640	2560	40.4			
	16	ø16	1	460	460	460	7.3			
	17	ø16	1	395	505	505	8.0			
	18	ø10	2	355	355	710	4.4			
	19	ø10	2	360	360	720	4.4			
	20	ø5	2	669	615	1230		1.9		
	21	ø8	38			129	4902	19.4		
22	ø10	38			132	5016	30.9			
							Total:	59.4	3.5	
V 3	23	ø6.3	4	140	165	660	1.6			
	24	ø5	2	295	295	590		0.9		
	25	ø20	2	505	505	1010	24.9			
	26	ø5	2	210	210	420		0.7		
	27	ø10	4	610	635	2540	15.7			
	28	ø16	1	475	475	475	7.5			
	29	ø12.5	2	465	465	930	9.0			
	30	ø5	4	669	615	2460		3.9		
	31	ø5	58			124	7192		11.3	
								Total:	58.7	16.8
	V 4+V 6	32	ø8	3	395	305	915	3.6		
33		ø5	4	270	270	1080		1.7		
34		ø6.3	2	734	844	1688	4.1			
35		ø8	4	340	365	1460	5.8			
36		ø5	38			124	4712		7.4	
							Total:	13.5	9.1	
V 5	37	ø8	3	275	275	825	3.3			
	38	ø5	2	270	270	540		0.8		
	39	ø5	2	300	300	600		0.9		
	40	ø6.3	2	734	844	1688	4.1			
	41	ø8	2	310	335	670	2.6			
	42	ø8	2	340	365	730	2.9			
	43	ø5	38			124	4712		7.4	
								Total:	12.9	9.1
							ø5:	0.0	64.1	
							ø6.3:	18.5	0.0	
							ø8:	47.0	0.0	
							ø10:	71.1	0.0	
							ø12.5:	17.8	0.0	
							ø16:	86.8	0.0	
							ø20:	45.6	0.0	
							ø25:	27.4	0.0	
							Total:	314.2	64.1	

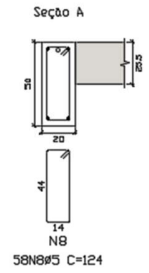
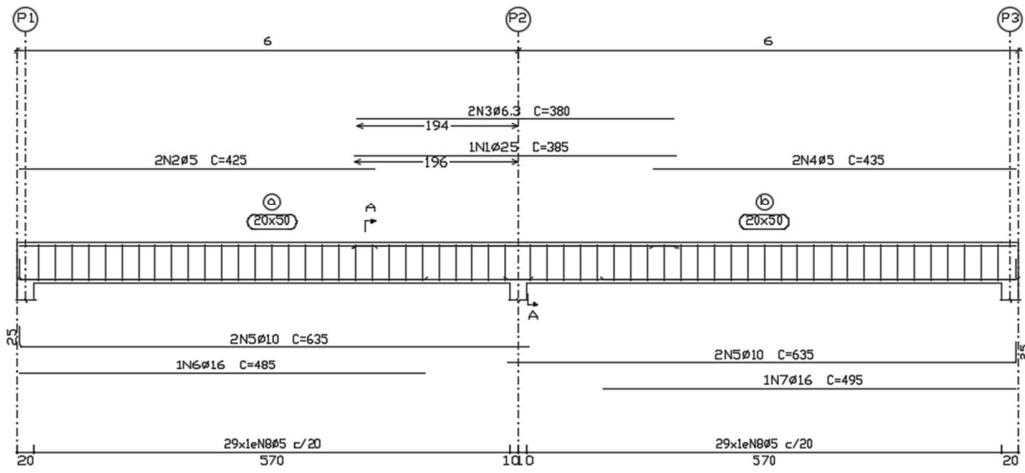
Anexo 10 – Armação de Pilares – Laje Nervurada



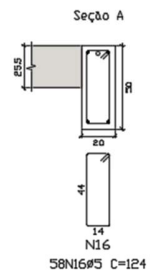
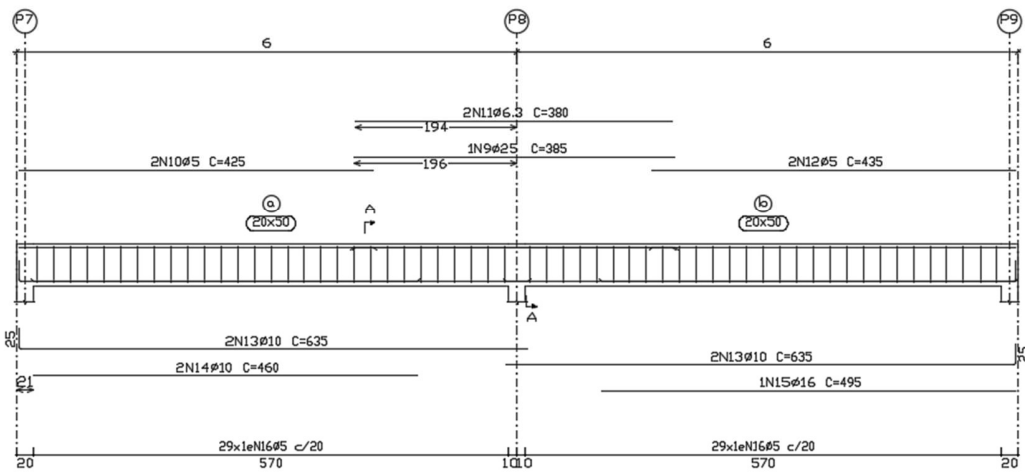
Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)
P1=P2=P3=P4=P6 P7=P8=P9	1	Ø10	4	297	297	1188	7.3	
	2	Ø5	25	14	65	1625		2.6
	3	Ø10	4	80	80	320	2.0	
	4	Ø5	3	13	59	177		0.3
						Total (x8)	9.3	2.9
P5	5	Ø16	4	335	335	1340	21.2	
	6	Ø6.3	16	14	65	1040	2.5	
	7	Ø16	4	110	110	440	6.9	
	8	Ø6.3	3	12	56	168	0.4	
						Total	31.0	
						Ø5:	0.0	23.2
						Ø6.3:	2.9	0.0
						Ø10:	74.4	0.0
						Ø16:	28.1	0.0
						Total:	105.4	23.2

Anexo 11 – Armação de Vigas – Laje Nervurada

V 1
Escala vigas 1/50
Escala seções 1/25

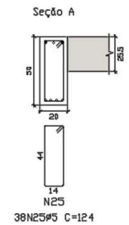
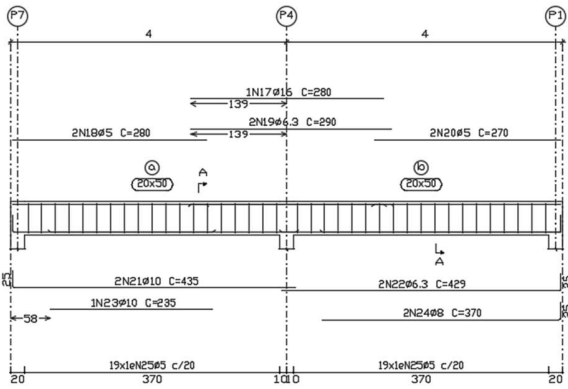


V 2
Escala vigas 1/50
Escala seções 1/25

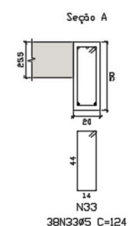
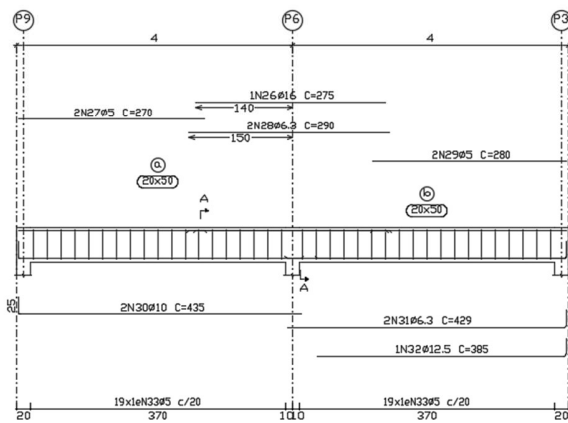


Anexo 12 – Armação de Vigas – Laje Nervurada

V 3
Escala vigas 1/50
Escala seções 1/25

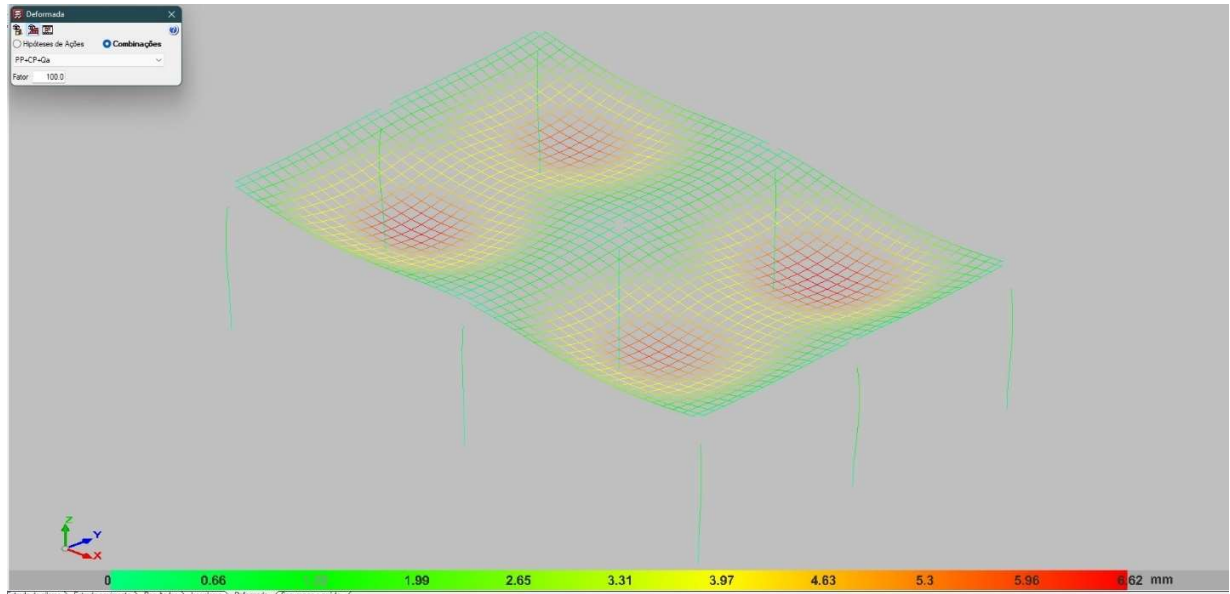


V 4
Escala vigas 1/50
Escala seções 1/25

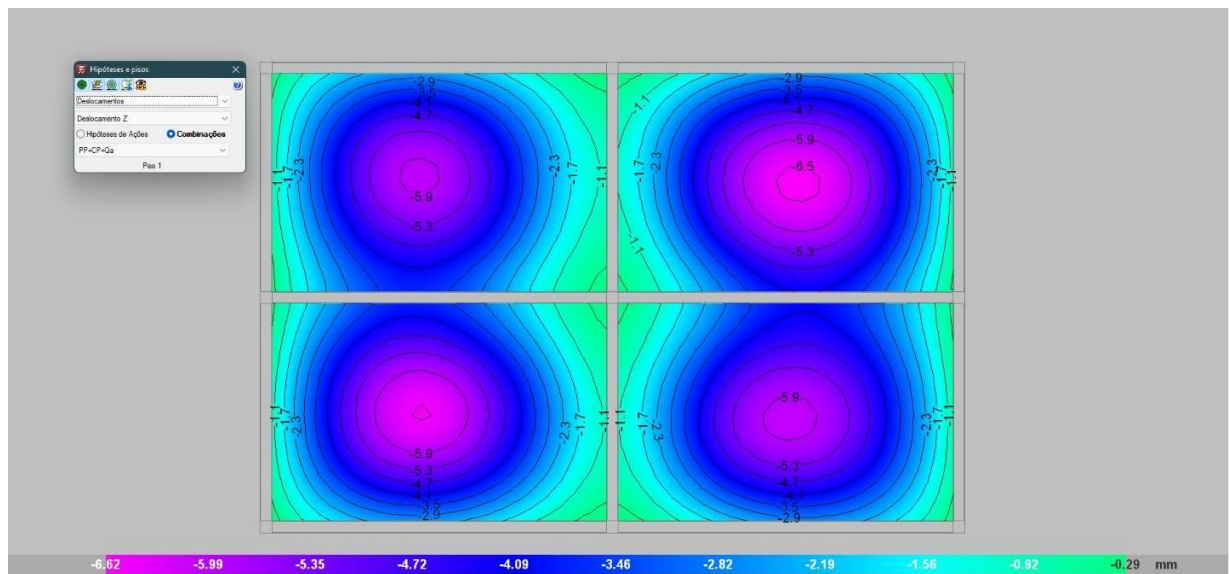


Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Esquema (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)	
V 1	1	#25	1	286	385	385	14.8		
	2	#5	2	425	425	850		1.3	
	3	#6.3	2	380	380	760	1.9		
	4	#5	2	425	435	870		1.4	
	5	#10	4	610	635	2540	15.7		
	6	#16	1	465	485	485	7.7		
	7	#16	1	475	495	495	7.8		
	8	#5	58	124	124	7192		11.3	
Total							47.9	14.0	
V 2	9	#25	1	385	385	385	14.8		
	10	#5	2	425	425	850		1.3	
	11	#6.3	2	380	380	760	1.9		
	12	#5	2	425	435	870		1.4	
	13	#10	4	610	635	2540	15.7		
	14	#10	2	465	460	920	5.7		
	15	#16	1	475	495	495	7.8		
	16	#5	58	124	124	7192		11.3	
Total							45.9	14.0	
V 3	17	#16	1	280	280	280	4.4		
	18	#5	2	280	280	560		0.9	
	19	#6.3	2	290	290	580	1.4		
	20	#5	2	270	270	540		0.8	
	21	#10	2	410	435	870	5.4		
	22	#6.3	2	484	429	858	2.1		
	23	#10	1	235	235	235	1.4		
	24	#8	2	370	370	740	2.9		
	25	#5	38	124	124	4712		7.4	
	Total							17.6	9.1
V 4	26	#16	1	275	275	275	4.3		
	27	#5	2	270	270	540		0.8	
	28	#6.3	2	290	290	580	1.4		
	29	#5	2	280	280	560		0.9	
	30	#10	2	410	435	870	5.4		
	31	#6.3	2	484	429	858	2.1		
	32	#12.5	1	360	385	385	3.7		
33	#5	38	124	124	4712		7.4		
Total							16.9	9.1	
							#5	0.0	46.2
							#6.3	10.8	0.0
							#8	2.9	0.0
							#10	49.3	0.0
							#12.5	3.7	0.0
							#16	32.0	0.0
							#25	25.6	0.0
							Total	28.3	46.2

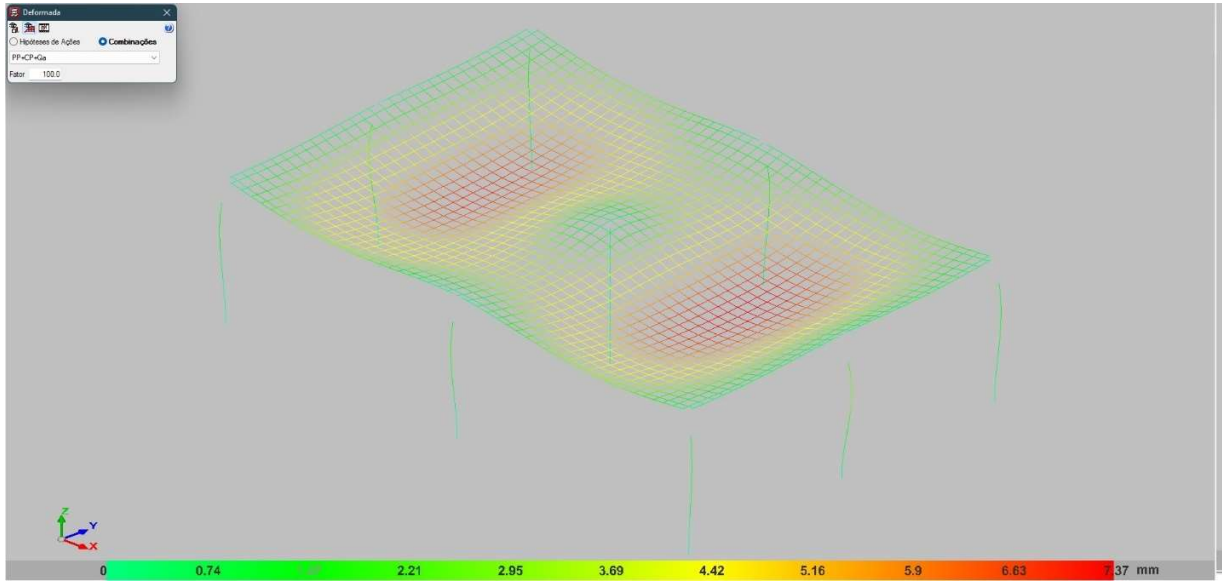
Anexo 13 – Deformada – Laje Maciça



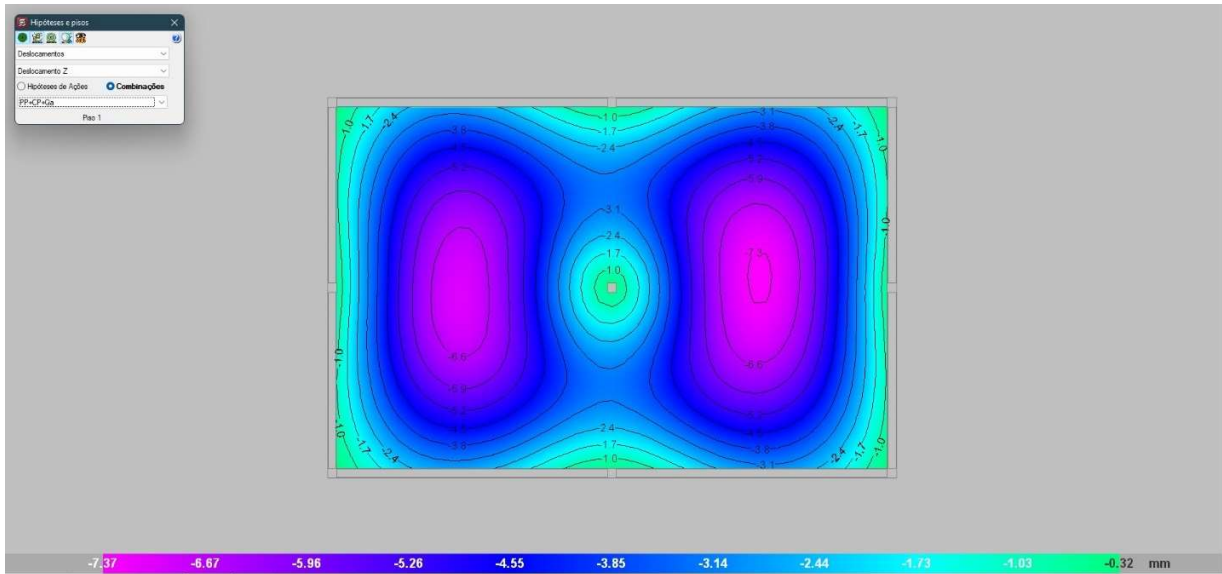
Anexo 14 – Isovalores – Laje Maciça



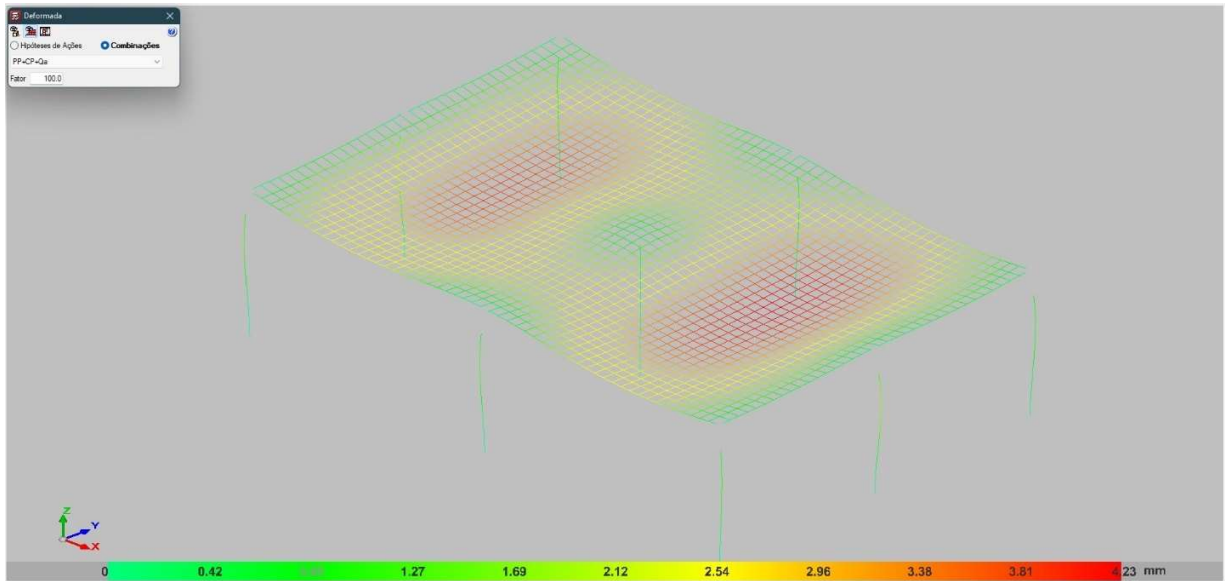
Anexo 15 – Deformada – Laje Lisa



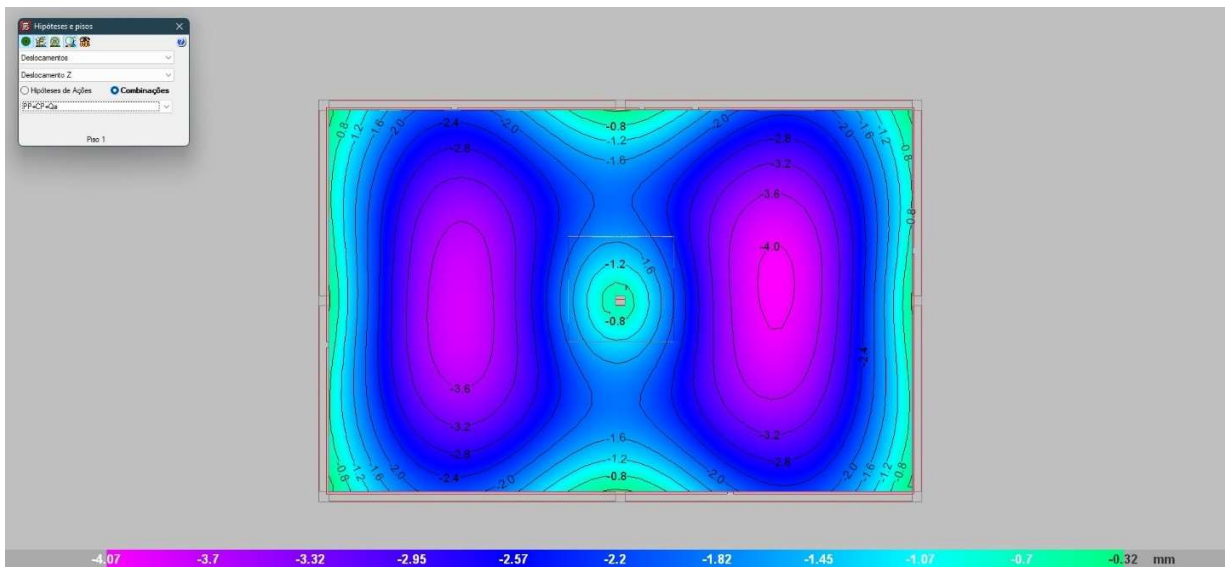
Anexo 16 – Isovalores – Laje Lisa



Anexo 17 – Deformada – Laje Nervurada



Anexo 18 – Isovalores – Laje Nervurada



Anexo 19 – Deformada – Laje Pré-Moldada

