



UNIVERSIDADE POLITÉCNICA – A POLITÉCNICA

Instituto Superior de Estudos Universitários de Nampula – ISEUNA

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-FINANCEIRO ENTRE AS  
LAJES MACIÇAS E ALIGEIRADAS**

JEREMIAS GUSTAVO MARQUINHA

**NAMPULA, 2021**

Jeremias Gustavo Marquinha

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-FINANCEIRO ENTRE AS  
LAJES MACIÇAS E ALIGEIRADAS**

Monografia apresentada à Universidade  
Politécnica, Instituto Superior de Estudos  
Universitários de Nampula - ISEUNA,  
Como requisito parcial para a obtenção do  
Grau de Licenciatura em Engenharia

Tutor: MSc. Eng<sup>o</sup> Arlindo António Munguambe

Nampula, 2021

Jeremias Gustavo Marquina

Monografia apresentada à Universidade Politécnica, Instituto Superior de Estudos  
Universitários de Nampula, como requisito para obtenção do Grau de Licenciado em  
Engenharia Civil

O Júri

---

(Supervisor)

---

(Oponente)

---

(Presidente)

## **Parecer do Tutor**

Eu, Arlindo Munguambe, orientador do estudante Jeremias Gustavo Marquinha, finalista do Curso de Engenharia Civil, turno laboral, pela importância que o tema do presente trabalho (monografia) apresenta e que foi por mim orientado, sou de parecer que o mesmo está em condições de ser avaliado como Trabalho Final do Curso do Estudante em referência.

Nesta conformidade, vai por mim assinada como garantia de que o trabalho foi da autoria do estudante e obedeceu aos preceitos científicos para elaboração do mesmo.

Nampula, Março de 2021

---

MSc. Eng<sup>o</sup> Arlindo Munguambe

## **Declaração de Honra**

Eu, Jeremias Gustavo Marquina, declaro por minha honra que esta monografia é resultado do meu estudo pessoal e das orientações do meu supervisor, o que consta neste trabalho é tudo original e todas as fontes estão devidamente citadas no texto e mencionadas nas referências bibliográficas.

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau acadêmico.

Nampula, 2021

---

Jeremias Gustavo Marquina

## **Dedicatória**

À minha família, especialmente aos meus pais, Gustavo Marquina e Cristina Jorge Tino Marquina

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me concedeu a saúde, por ter me guiado desde o começo, agradeço por me ter dado capacidades suficientes para chegar à esta etapa da minha vida. Agradeço pela sua presença em todos momentos da minha vida e por ter colocado nela pessoas tão incríveis.

Aos pais, meus heróis, Gustavo Marquinha e Cristina Jorge Tino Marquinha, pela educação que me concederam, pelo suporte, pela compreensão, por estarem sempre ao meu lado dando-me forças, apoio, confiança e acima do tudo pelo amor. Aos meus irmãos, Iseltina Gustavo, Ivaldo Gustavo, Anafáusta Gustavo, agradeço por tudo.

Ao meu orientador, Mestre, Eng. Arlindo António Munguambe, pela disponibilidade e incentivo concedidos ao longo da elaboração deste trabalho. A sua orientação e paciência foram fundamentais para a conclusão do mesmo.

Agradeço imensamente aos meus colegas de Turma que estiveram ao meu lado desde o primeiro dia de aulas do Curso, especialmente aos integrantes do grupo Infinitésimos, Afrodise Dusabe, Ássimo Iovahale, Chadir Ibraimo, Dércio Carrilho, Hussein Calu, Imiran Tajbay, Mussa Essiaca, Zulficar Ibraimo. O meu profundo agradecimento ao meu irmão, amigo e colega, Joel de Sousa, pela disponibilidade em partilhar conhecimentos e experiências.

A família ISEUNA, desde o pessoal responsável pela limpeza da Instituição até à Directora da mesma, especialmente aos docentes do Curso de Engenharia Civil.

Ao Instituto Criança, em especial à Dra. Maria Lucinda, pelos lanches, cuidados e fornecimento de material escolar durante os primeiros semestres do curso.

A todos que, de forma directa e indirecta, contribuíram para minha formação académica, o meu MUITO OBRIGADO!

## **Epígrafe**

*“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que sabe”*

Aldous Huxley

## Resumo

Esta Monografia faz um estudo comparativo dos custos e benefícios entre as lajes maciças e aligeiradas de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas de betão disponíveis no mercado, em particular na Cidade de Nampula. Vários materiais e técnicas de construção de edifícios residenciais vêm sendo desenvolvidos de modo a melhorar o desempenho das edificações e minimizar o tempo de execução e os custos destas. As lajes não escapam destas inovações construtivas, daí que surge a necessidade de conhecer os benefícios da adopção de cada modelo de lajes apresentadas nesta pesquisa. Contudo, não são apenas os custos de um sistema de execução de laje que determinam a escolha de um modelo mais adequado em detrimento de outro, por isso há necessidade de conhecer as características, limitações e vantagens que cada modelo disponibiliza ao proprietário. Daí que esta Monografia tem como objectivo geral fazer uma análise comparativa relacionando os factores custo e benefícios na adopção das lajes maciças ou aligeiradas. Neste trabalho foi definido hipoteticamente um edifício residencial como base para esta comparação, e de acordo com os dados apresentados, a Laje Aligeirada é a mais viável pois apresenta menor custo e atende às necessidades do edifício. Mas pelo facto desta ser mais adequada para o edifício em estudo não se pode afirmar que ela é a melhor opção para adoptar em todos edifícios residenciais, pois apesar de ser mais barata também tem suas desvantagens e limitações. Para o dimensionamento e quantificação dos materiais da estrutura do edifício foi usado o software Cypecad com base no REBAP e RSA, e uma consulta a empresa Condor Lda para cálculo da quantificação e orçamentação do material pré-fabricado utilizado em lajes aligeiradas, disponibilizados pela própria empresa.

**Palavras-chave:** Laje aligeirada; laje maciça; custos; benefícios.

## **Abstract**

This Monograph makes a comparative study of costs and techniques between the massive and lightened slabs of prestressed joists and concrete domes available on the market, particularly in the Nampula city. Various materials and techniques for the construction of residential buildings have been developed in order to improve the performance of buildings and minimize their execution time and costs. The slabs don't escape these constructive innovations, hence the need to know the benefits of adopting each slab model presented in this research. However, it is not just the costs of a slab execution system that determine the choice of a more suitable model over another, so there is a need to know the characteristics, limitations and advantages that each model makes available to the owner. Hence, this Monograph has as its general objective to make a comparative analysis relating the cost and benefit factors of the adoption of massive and lightened slabs. In this work, a residential building was hypothetically defined as the basis for this comparison, and according to the data presented, lightened slab is the most viable as it has the lowest cost and meets the needs of the building. But due to the fact that it is more suitable for the building under study, it cannot be said that it is the best option to adopt in all residential buildings, because although it is cheaper it also has its disadvantages and limitations. For the dimensions Cypecad software based on REBAP and RSA was used and quantification of the building structure materials, and a consultation with Condor Lda to calculate the quantification and budgeting of the prefabricated material used in lightened slabs, made available by the company itself.

**Keywords:** Lightened slab; solid slab; costs; benefits.

## Lista de Figuras

Figura 1: Vigas pré-fabricadas em betão pré-esforçado.....	5
Figura 2: Vãos da laje retangular armada em uma direcção .....	7
Figura 3: Exemplo de uma laje isolada armada em uma só direcção. ....	8
Figura 4: Vãos da laje retangular armada em duas direcções .....	9
Figura 5: Sistema de lajes armadas com ferro, 1854 – William Boutland Wilkinson .....	10
Figura 6: Sistema de lajes com blocos de gesso funcionando como caixões-perdidos, 1854 – William Boutland Wilkinson .....	11
Figura 7: Sistema construtivo em betão armado – François Hennebique .....	12
Figura 8: Ponte Tavanasa sobre o rio Rhine – Robert Maillart.....	13
Figura 9: Armazem Geisshübel, Zúrique – Robert Maillart .....	14
Figura 10: Betonagem de uma laje maciça .....	15
Figura 11: Laje Maciça .....	16
Figura 12: Cofragem de laje maciça, com prumos longarinas e travessas aparentes.....	18
Figura 13: Colocação dos prumos .....	19
Figura 14: Espaçadores de armaduras .....	20
Figura 15: Eletrodutos e caixas de passagem na cofragem de laje maciça .....	20
Figura 16: Lançamento e regularização do betão.....	21
Figura 17: Laje aligeirada .....	23
Figura 18: Composição das lajes aligeiradas .....	24
Figura 19: Vigotas de betão pré-esforçado .....	25
Figura 20: Betonagem das nervuras .....	26
Figura 21: Esferovite em painel EPS .....	27
Figura 22: Laje aligeirada: Lajotas cerâmicas como blocos de cofragem .....	30
Figura 23: Abobadilhas de betão.....	31
Figura 24: Dimensões dos blocos de cofragem.....	31
Figura 25: Solução de aligeiramento - Sistema BubbleDeck.....	33
Figura 26: Solução de aligeiramento - Sistema U-Boot.....	33
Figura 27: Solução de aligeiramento - Sistema AirDeck .....	34
Figura 28: Solução de aligeiramento - Sistema Cobiax .....	34
Figura 29: Colocação de Vigotas .....	36
Figura 30: Colocação das Abobadilhas .....	37
Figura 31: Colocação das Armaduras .....	38
Figura 32: Instalação de guias .....	38
Figura 33: Lancamento e vibração do Betão.....	39
Figura 34: Planta do edifício em estudo.....	42

## Lista de Tabelas

Tabela 1:Correspondência entre classe de agressividade e relação água/cimento.....	26
Tabela 2:Coeficiente de condutividade térmica de acordo com Young, Hugh D.....	28
Tabela 3:Propriedades mecânicas e densidade dos compósitos de EPS. ....	28
Tabela 4: Tabela de características da Laje Aligeirada.....	43
Tabela 5: Orçamento de Betão para a Laje Maciça .....	46
Tabela 6: Orçamento de Aço para a Laje Maciça .....	47
Tabela 7: Orçamento de Cofragem para as Lajes Maciças .....	47
Tabela 8: Orçamento de Betão para as Lajes Aligeiradas.....	48
Tabela 9: Orçamento de Aço para as Lajes Aligeiradas .....	48
Tabela 10: Orçamento de Cofragem para as Lajes Aligeiradas .....	49
Tabela 11: Custo do material pré-fabricado .....	49

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Consumo de Betão .....	43
Gráfico 2: Consumo do Aço.....	44
Gráfico 3: Consumo de Cofragem .....	45
Gráfico 4: Custo Total do Materiais.....	49

## **Lista de Siglas**

EPS – Poliestireno Expandido

FPLM – Forças Populares de Libertação de Moçambique

ISEUNA – Instituto Superior de Estudos Universitários de Nampula

REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado

## Lista de Abreviaturas

art. – artigo

Av. – Avenida

BA – Betão Armado

BP – Betão Pré-esforçado

cm - centímetros

Cx. – Caixa

$E_c$  – módulo de elasticidade

$f_{ck}$  – resistência característica

h – Altura

Kg – Quilogramas

KN – Kilonewton

m – Metros

$m^2$  – metro quadrado

mm – milímetro

p.- página

W/mK – Watt por metro por Kelvin

## Lista de Apêndices

Apêndice 1: Planta de Fundação .....	53
Apêndice 2:Pormenores de Fundação .....	54
Apêndice 3: Resumo Aço, pilares e fundação.....	54
Apêndice 4: Desenho de Vigas .....	54
Apêndice 5: Resumo Aço de Vigas.....	55
Apêndice 6: Painéis da Laje Maciça .....	55
Apêndice 7: Armadura Longitudinal Inferior .....	56
Apêndice 8: Armadura Transversal Inferior .....	56
Apêndice 9: Armadura Longitudinal Superior.....	57
Apêndice 10: Armadura Transversall Superior.....	57

## Índice

Parecer do Tutor .....	iii
Declaração de Honra .....	iv
Dedicatória .....	v
Agradecimentos.....	vi
Epígrafe .....	vii
Resumo.....	viii
Abstract .....	ix
Lista de Figuras .....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Gráficos .....	xii
Lista de Siglas .....	xiii
Lista de Abreviaturas .....	xiv
Lista de Apêndices .....	xv
INTRODUÇÃO .....	1
Problematização .....	1
Hipóteses .....	2
OBJECTIVOS .....	2
Objectivo Geral.....	2
Objectivos Específicos .....	2
Justificativa.....	2
Delimitação do tema.....	3
Estrutura do trabalho .....	3
CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
1.1.  Betão.....	4
1.1.1.  Betão Armado .....	4
1.1.2.  Betão Pré-esforçado .....	5

1.2. Lajes.....	6
1.2.1. Classificação das Lajes.....	6
1.2.2. Histórico das Lajes em Betão Armado.....	9
1.2.3. Lajes Maciças.....	15
1.2.3.1. Vantagens das Lajes Maciças .....	16
1.2.3.2. Desvantagens das Lajes Maciças.....	17
1.2.3.3. Processo Executivo das Lajes Maciças.....	17
1.2.4. Lajes Aligeiradas .....	23
1.2.4.1. Composição das Lajes Aligeiradas.....	23
1.2.4.2. Evolução das Soluções de Aligeiramento .....	32
1.2.4.3. Vantagens das Lajes Aligeiradas.....	35
1.2.4.4. Desvantagens .....	35
1.2.4.5. Processo Construtivo das Lajes Aligeiradas.....	36
CAPÍTULO II - METODOLOGIA.....	40
2.1. Tipo de pesquisa .....	40
2.2. Participantes.....	40
2.3. Instrumentos .....	40
2.4. Procedimentos .....	40
CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS .....	42
3.1. Apresentação do edifício .....	42
3.2. Critérios adoptados para o dimensionamento da estrutura.....	42
3.3. Quantificação do material.....	43
3.3.1. Betão .....	43
3.3.2. Aço.....	44
3.3.3. Cofragem.....	45
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS.....	46
4.1. Orçamento da laje maciça.....	46

4.1.1. Custo de Betão .....	46
4.1.2. Custo do Aço.....	47
4.1.3. Custo de Cofragem .....	47
4.2. Orçamento da Laje Aligeirada.....	48
4.2.1. Custo de Betão .....	48
4.2.2. Custo do Aço.....	48
4.2.4. Custo do Material Pré-fabricado .....	49
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	50
Referências Bibliográficas .....	51
APÊNDICES .....	53

## INTRODUÇÃO

Actualmente a construção civil vive seu grande ápice, e com isso está passando por uma evolução considerável nos últimos anos. A busca por qualidade, segurança e menor custo possível são apenas alguns dos desafios da engenharia civil. Assim, visando o melhor desempenho das edificações, torna-se necessário o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas.

Para que um empreendimento tenha o menor custo e seja bem executado proporcionando conforto aos usuários, se faz um estudo comparativo entre diferentes tipos de estruturas visando a melhor alternativa para cada caso.

As lajes são os elementos estruturais que mais influenciam o custo final da estrutura visto que a sua importância relativa em termos de volume de materiais estruturais é a mais significativa e, por outro lado, o seu próprio peso condiciona as dimensões e quantidades de armaduras nos restantes elementos da estrutura.

Com o avanço dos modelos destinados a análise estrutural, tem-se a necessidade de estudar quais as vantagens e desvantagens da adopção de determinadas técnicas construtivas. Uma das decisões importantes é a escolha do tipo de laje, visto que existem vários modelos estruturais, torna-se necessário um estudo mais detalhado para aferir qual o modelo mais indicado de acordo com as características do edifício.

### Problematização

Segundo (Marconi & Lakatos, 2003, p. 159) problema é uma dificuldade teórica ou prática, no conhecimento de alguma coisa de real importância, para a qual se deve encontrar uma solução. O problema deve ser levantado, formulado, de preferência em forma interrogativa e delimitado com indicações das variáveis que intervêm no estudo de possíveis relações entre si.

Muito se discute em relação às diferenças quanto à viabilidade técnica e económica referentes às lajes maciças e aligeiradas. Cada tipo de laje tem suas potencialidades e limitações. No entanto, é importante conhecê-las para que a escolha recaia naquela que poderá atender melhor às exigências do proprietário.

Neste contexto surge a seguinte pergunta de partida: **entre os modelos de laje em estudo, qual é o mais viável economicamente para a sua adopção em edifícios residenciais?**

## **Hipóteses**

Ainda (Marconi & Lakatos, 2003, p. 161) Hipótese é uma proposição que se faz na tentativa de verificar a validade de resposta existente para um problema. É uma suposição que antecede a constatação dos factos e tem como característica uma formulação provisória: deve ser testada para determinar sua validade. Correcta ou errada, de acordo ou contrária ao senso comum, a hipótese sempre conduz a uma verificação empírica.

**Hipótese 1:** A laje aligeirada é a melhor escolha para projectos de edifícios, pois apresenta baixo consumo de betão, aço e cofragem, quando comparada com a laje maciça.

**Hipótese 2:** A laje maciça é a melhor opção na escolha dos tipos de lajes em estudo, pois permite ser betonada em vários formatos, além de ser menos susceptível a trincas e fissuras.

## **OBJECTIVOS**

### **Objectivo Geral**

- Fazer uma análise comparativa relacionando os custos e benefícios das lajes maciças e aligeiradas.

### **Objectivos Específicos**

- Descrever benefícios da utilização de cada uma das lajes em estudo;
- Estabelecer uma comparação com relação ao consumo de aço, betão e cofragem;
- Comparar os custos da adopção de cada laje em estudo.

## **Justificativa**

Para (Marconi & Lakatos, 2003, p. 219) a justificativa é o único item do projecto que apresenta respostas à questão por quê? De suma importância, geralmente é o elemento que contribui mais directamente na aceitação da pesquisa pelas pessoas ou entidades que vão financiá-la. Consiste numa exposição sucinta, porém completa, das razões de ordem teórica e dos motivos de ordem prática que tomam importante a realização da pesquisa.

Actualmente o betão e o aço são utilizados como principais matérias primas para a construção de edifícios, tornando-se grandes contribuintes para o custo final da obra devido a necessidade de elevado consumo destes materiais. O uso combinado destes materiais dá origem

ao betão armado, que é o responsável pela garantia da resistência e estabilidade global da estrutura.

Novas técnicas e materiais vêm sendo utilizados a fim de melhorar o desempenho das construções e fazer com que os gastos com a execução fiquem cada vez menores. Esta exigência torna necessários estudos comparativos entre diferentes tipos de estruturas e métodos construtivos para que se possa possibilitar a escolha adequada da estrutura que apresenta melhor comportamento e menor consumo de materiais.

O comportamento estrutural e os custos, são variáveis importantes na definição da solução estrutural para as lajes. Estudar os diferentes tipos de laje em betão armado torna-se de extrema importância pois a escolha do tipo de laje tem impacto directo no volume de betão que será utilizado e no tempo de execução, tornando-se interessante o estudo detalhado de suas características visando soluções técnicas que reduzam o custo final da edificação.

## **Delimitação do tema**

Esta pesquisa está delimitada no estudo comparativo técnico e financeiro entre as lajes maciças e aligeiradas, de acordo com os custos actuais dos materiais na Cidade de Nampula.

## **Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

**CAPÍTULO I:** Este é o capítulo da fundamentação teórica, onde são apresentadas as ideias dos autores das obras consultadas relacionadas com o tema em estudo;

**CAPÍTULO II:** Este é o capítulo da metodologia, onde são apresentados os métodos, técnicas, instrumentos e procedimentos para a colecta de dados.

**CAPÍTULO III:** Neste capítulo faz-se a apresentação dos dados colectados durante a pesquisa.

**CAPÍTULO IV:** É neste capítulo onde são analisado os dados apresentados no capítulo anterior.

**CAPÍTULO V:** Neste capítulo são apresentadas as recomendações e considerações finais verificadas pelo Autor do trabalho durante a elaboração do mesmo.

# CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1. Betão

Betão é uma pasta feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água, tornando-se um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos, com grande resistência a compressão. No momento de sua criação empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o betão armado passa a ser utilizado também nas edificações (Santos, 2006)

### 1.1.1. Betão Armado

Fazendo abordagem ao betão armado (Botelho & Marchetti, 2008, p. 8) afirmam que quando o homem passou a usar o betão (que é uma pedra artificial através da ligação pelo cimento, de pedra, areia e água), a limitação era a mesma. As vigas de eixo recto eram limitadas no seu vão pelo esforço máximo de tracção que podia suportar, tracção essa que surgia na parte inferior da viga.

Os mesmos autores dando continuidade, dizem que em média o betão resiste à compressão dez (10) vezes mais que à tracção. Uma ideia surgiu: porque não usar uma mistura de material resistente à compressão na parte comprimida e um resistente à tracção na parte traccionada? Essa é a ideia do betão armado. Na parte traccionada do betão, coloca-se o aço e, na parte comprimida deixa-se só betão (o aço resiste bem à tracção).

Sustentando a mesma ideia (Carvalho & Filho, 2014, p. 20) afirmam que desta maneira os dois materiais, betão e aço, deverão trabalhar solidariamente, o que é possível devido às forças de aderência entre a superfície do aço e betão, pois as barras de aço traccionadas (armadura traccionada) só funcionam quando, pela deformação do betão que as envolve, começam a ser alongadas, o que caracteriza as armaduras passivas”.

E, para (Botelho & Marchetti, 2008, p. 8) Uma estrutura de betão armado (lajes, vigas, pilares, bancos de jardim, vasos, etc.) é uma ligação solidária (fundida junta) de betão (que nada mais é do que uma pedra artificial composta por pedra, areia, cimento e água) com uma estrutura resistente à tracção, que em geral é o aço.

### 1.1.2. Betão Pré-esforçado

Ao referir-se do betão pré-esforçado (Carvalho & Filho, 2014, p. 21) afirmam que este é obtido por meio da associação entre o betão simples e a armadura activa (aplica-se uma força na armadura antes da actuação do carregamento na estrutura).

Reforçando este pensamento, os mesmos autores afirmam que no caso do betão pré-esforçado, a armadura activa é usada para introduzir forças especiais (normalmente de compressão no betão) antes da fase de utilização da estrutura, de tal forma que sejam eliminadas as tensões de tracção (ou existam de forma limitada) com as cargas de serviço.

Na mesma linha de pensamento, estes autores enfatizam dizendo que a operação de traccionar a armadura activa é chamada de pré-esforço e confere à estrutura um acréscimo de resistência, em relação ao betão armado, sob cargas de serviço e ruptura, além de impedir ou limitar a fissuração.

*Figura 1: Vigas pré-fabricadas em betão pré-esforçado*



**Fonte:** Autor, 2021

## 1.2. Lajes

Aduzindo o seu pensamento (Botelho & Marchetti, 2002, p. 86) afirmam que as lajes são as estruturas primeiras que recebem e sustentam as cargas verticais acidentais que ocorrem nos prédios. Estruturas planas e quase sempre rectangulares, elas possuem reactivamente pequenas espessuras, normalmente variando entre seis e dez centímetros, podendo, conforme sejam os esforços e em casos especiais, chegar a ter mais de um metro de espessura.

Por sua vez (Carvalho & Filho, 2014, p. 319) definem as lajes como sendo placas de betão de superfície plana (elementos laminares simétricos em relação ao seu plano médio), em que a dimensão perpendicular à superfície, usualmente designada por espessura, é reactivamente pequena comparada às demais (largura e comprimento) e sujeitas principalmente a acções normais a seu plano.

Por seu lado (Borja, 2016) define lajes partes elementares dos sistemas estruturais das edificações que servem de piso ou cobertura aos ambientes de uma edificação, sendo o primeiro elemento da estrutura a receber as cargas acidentais que atuam no prédio (pessoas, móveis e equipamentos). Outra função importante que se pode ressaltar é a de contraventamento das estruturas funcionando como diafragmas (infinitamente rígidos no seu plano).

### 1.2.1. Classificação das Lajes

Para (Souza & Cunha, 1994, p. 23) as lajes podem ser classificadas segundo os seguintes critérios:

- a) **Quanto à forma:** poligonais (rectangulares, quadradas, triangulares, octogonais, em T, L, Z, etc.), elípticas (aí incluídas as circulares e anelares) etc.
- b) **Quanto à natureza:** existem as lajes maciças, nervuradas, mistas, em grelhas, duplas e pré-fabricadas.
- c) **Quanto ao tipo de apoio:** apoio contínuo sobre uma linha (sobre alvenaria, viga ou parede de betão); apoio discreto (directamente sobre pilares); apoio proporcionado por determinado trecho de sua área, que esteja em contacto com o solo (também denominadas *radiers*).
- d) **Quanto ao tipo de armação:** elas podem ser armadas em uma só direcção ou armadas em cruz, sendo que esta classificação é melhor visualizada no caso das lajes rectangulares, embora, normalmente, possa ser aplicada a vários tipos de laje.

### 1.2.1.1. Lajes Fungiformes

De acordo com o (Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP), 2014) consideram-se lajes fungiformes as lajes contínuas apoiadas directamente em pilares, armada em duas direcções, e que podem ser aligeiradas nas zonas centrais dos vãos.

#### 1.2.1.1.1. Vantagens das Lajes Fungiformes

- Menor espessura – menor altura do edifício;
- Tectos planos – instalação de condutas mais fácil (ar-condicionado, electricidade, águas, esgotos, telefones);
- Facilidade de colocação de divisórias;
- Simplicidade de execução.

#### 1.2.1.1.2. Desvantagens

- Concentração de esforços nos apoios – flexão e punçoamento;
- Concentração de deformações nos apoios e deformabilidade em geral;
- Flexibilidade às acções horizontais.

### 1.2.1.2. Lajes Armadas Em Uma Direcção

(Botelho & Marchetti, 2002, p. 94) afirmam que em lajes onde uma dimensão é maior que o dobro da outra dimensão devem ser armadas em uma direcção, na direcção do menor vão.

Por sua vez (Bastos, 2015, p. 2) diz que as lajes armadas em uma direcção tem relação entre o lado maior e o lado menor, superior a dois, isto é:

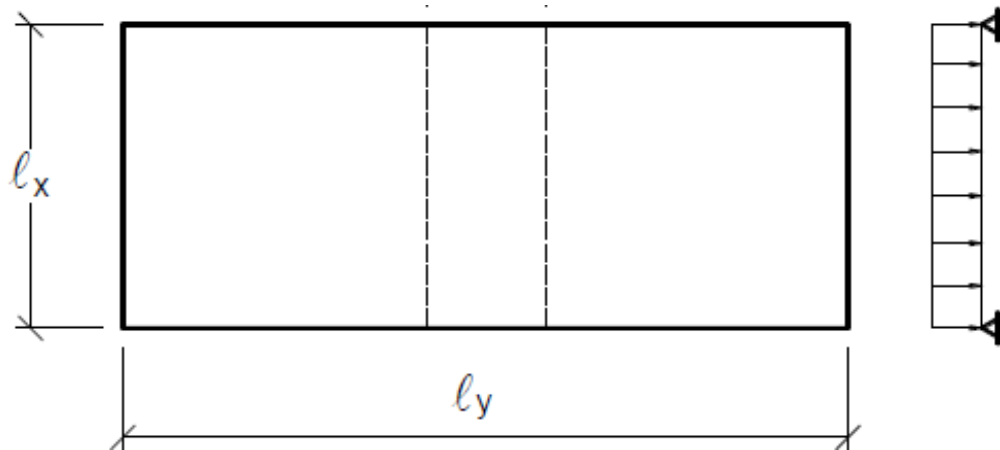
$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2$$

com:

$l_x$  = vão menor;

$l_y$  = vão maior.

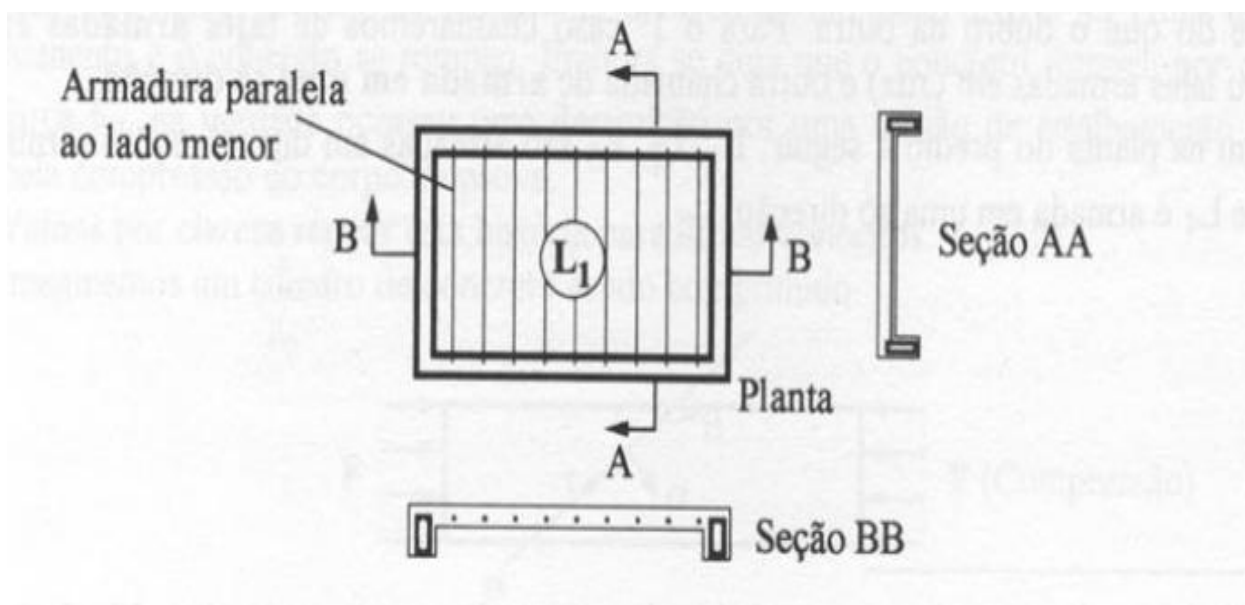
*Figura 2: Vãos da laje retangular armada em uma direcção*



**Fonte:** (Bastos, 2015, p. 2)

Ainda o mesmo autor, afirma que os esforços solicitantes de maior magnitude ocorrem segundo a direcção do menor vão, chamada direcção principal. Na outra direcção, chamada secundária, os esforços solicitantes são bem menores e, por isso, são comumente desprezados nos cálculos. Os esforços solicitantes e as flechas são calculados supondo-se a laje como uma viga com largura de 1 m, segundo a direcção principal da laje.

*Figura 3: Exemplo de uma laje isolada armada em uma só direcção.*



**Fonte:** Botelho e Marchetti, 2002

Ainda (Botelho & Marchetti, 2002, p. 95) afirmam que mesmo em lajes armadas em uma só direcção existe a obrigatoriedade de se fazer uma armadura transversal de distribuição.

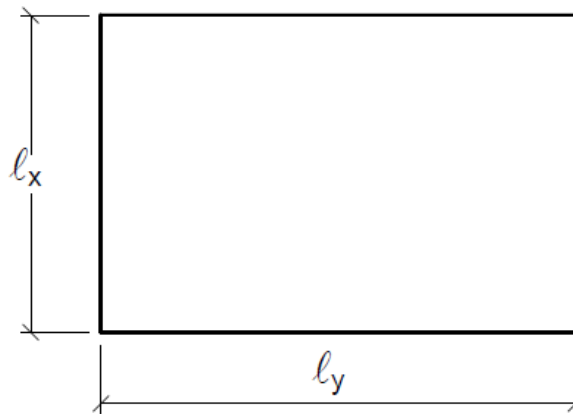
### 1.2.1.3. Laje Armada Em Duas Direcções (ou em cruz)

Segundo (Bastos, 2015, p. 2) nas lajes armadas em duas direcções os esforços solicitantes são importantes segundo as duas direcções principais da laje. A relação entre os lados é menor que dois, tal que:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad \text{com:}$$

$l_x = \text{vão menor};$   
 $l_y = \text{vão maior}.$

Figura 4: Vãos da laje retangular armada em duas direcções

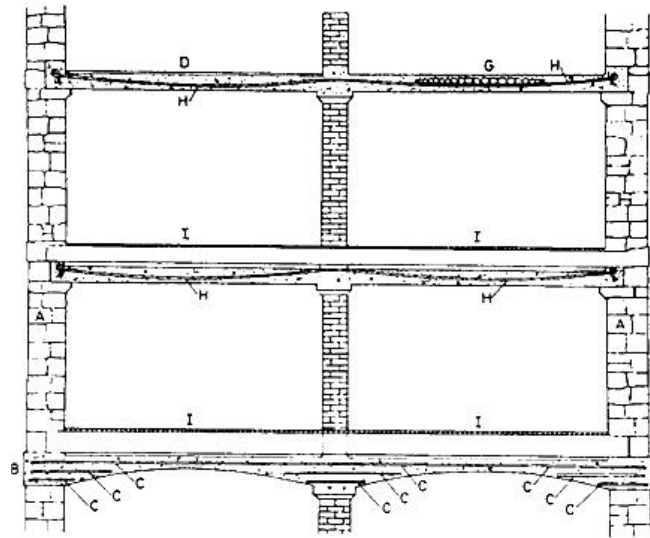


Fonte: (Bastos, 2015, p. 2)

### 1.2.2. Histórico das Lajes em Betão Armado

No que diz respeito ao historial das lajes (Vasconcellos, 2004, p. 34) afirma que o inglês William Boutland Wilkinson (1819-1902), fabricante de gesso e de argamassa de *Newcastle-upon-Tyne*, patenteou um sistema de lajes em betão armado. Com este esquema o inglês construiu uma casa de campo com dois pavimentos de alvenaria em que reforçou os planos de betão (pisos e cobertura) com barras de ferro e arames. E esta patente foi classificada como melhorias na construção à prova de fogo em moradias, armazéns e outros edifícios. O autor afirma ainda que este registro oficial é a descrição mais antiga em termos da efectiva utilização do betão armado em estruturas de edificações, o que configura Wilkinson como o pioneiro no emprego do material com esta finalidade.

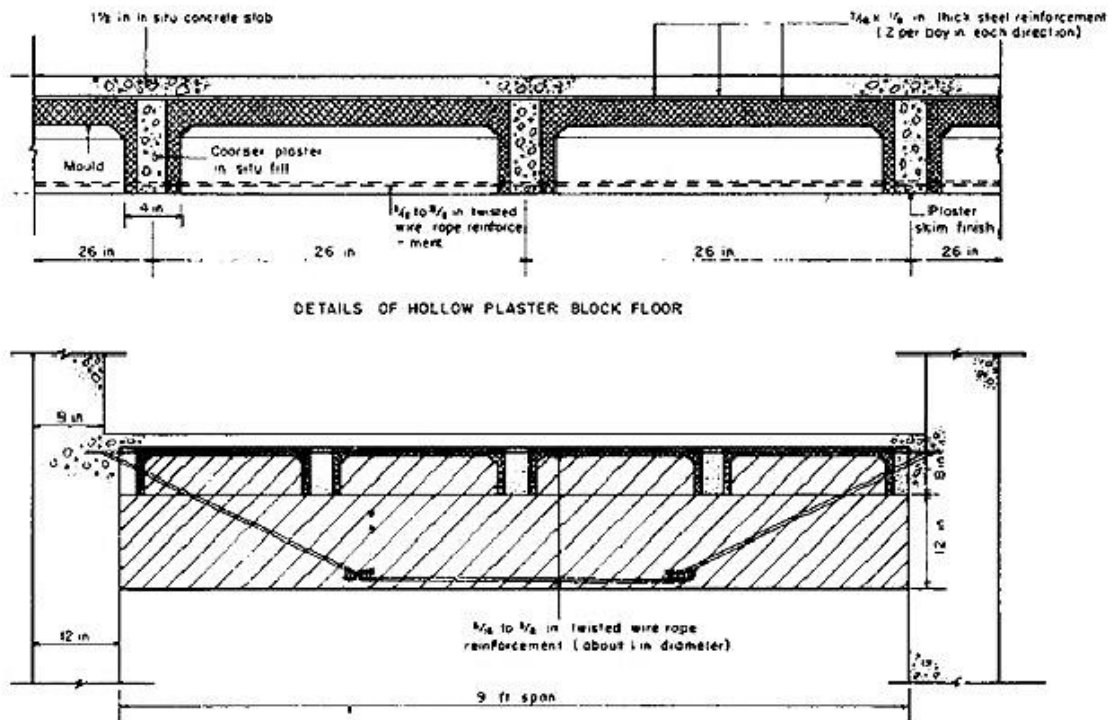
Figura 5: Sistema de lajes armadas com ferro, 1854 – William Boutland Wilkinson



**Fonte:** (Vasconcellos, 2004, p. 34)

Na mesma linha de pensamento, o mesmo autor afirma que o surto inventivo de Wilkinson avançou em direcção a outro esquema de lajes mais desenvolvido. O plano de 1854 – que impressiona pelo avanço técnico na questão da tecnologia de elaboração de lajes, podendo ser considerada as primeiras lajes nervuradas da história do betão armado. Este sistema consistia em uma série de blocos de gesso que funcionavam como caixões perdidos que serviam de suporte para colocar o betão de maneira uniforme, moldando uma série de nervuras com um plano de laje na parte superior. As armaduras das nervuras e das vigas de sustentação seguiam razoavelmente as trajectórias das tracções. A laje possuía um vão de aproximadamente 4m em cada direcção e uma malha de barras de aço era colocada na parte inferior da camada de betão de 4cm de espessura que cobria as nervuras.

Figura 6: Sistema de lajes com blocos de gesso funcionando como caixões-perdidos, 1854 – William Boutland Wilkinson

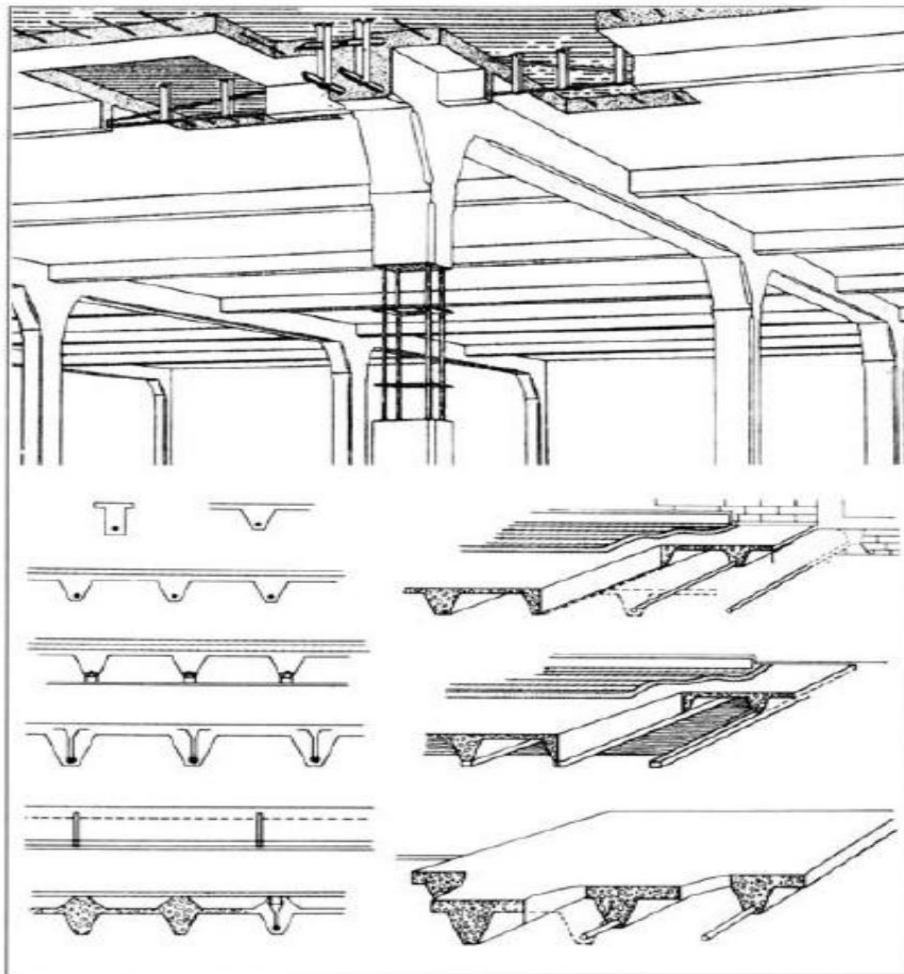


Fonte: (Vasconcellos, 2004, p. 34)

Ainda (Vasconcellos, 2004, p. 42) relata que François Benjamin Joseph Hennebique (1824-1921) construtor de origem belga radicado na França havia começado sua carreira restaurando os tectos de madeira das catedrais góticas, adquirindo um conhecimento arqueológico considerável. Sendo um dos pioneiros a utilizar o betão armado na construção civil, Hennebique também desenvolveu sistemas de lajes resistentes ao fogo mais económicas do que as praticadas até então.

Em 1892, antes de obter as patentes sobre o seu sistema na França e na Bélgica, funda uma organização com fundamentos na descentralização da construção e a centralização de patentes, cálculo e controle das obras. O real triunfo de Hennebique aconteceu apenas cinco anos depois, graças ao emprego de estribos de ferro que resistiriam as intensas tensões nas vigas de betão armado. Antes de Hennebique, o grande problema do betão armado fora produzir uma articulação monolítica de seus elementos. Os sistemas compostos de betão e ferro que haviam sido patenteados até então estavam longe de ser monolíticos. Hennebique superou essa dificuldade com o emprego de vergalhões de seção cilíndrica, que podiam ser curvados e enganchados uns nos outros.

Figura 7: Sistema construtivo em betão armado – François Hennebique



**Fonte:** (Vasconcellos, 2004, p. 42)

Na mesma linha de pensamento, (Vasconcellos, 2004, p. 52) diz que o suíço Robert Maillart ganhou a notoriedade com seus projectos de pontes inovadoras, utilizando a força estrutural e o potencial expressivo e plástico do betão armado para gerar o seu cálculo. Para evitar feixes estruturais, estabeleceu um método baseado no plano e curvou as vigas de betão armado, criando apoios com três articulações.

Figura 8: Ponte Tavanasa sobre o rio Rhine – Robert Maillart



**Fonte:** (Vasconcellos, 2004, p. 52)

O mesmo autor diz que Maillart propôs um sistema radicalmente novo baseado na superfície plana, sem vigas, sobre pilares em forma de cogumelo. Ao contrário de Hennebique que utilizou a técnica do betão armado meramente aplicado como imitação das formas de um esqueleto em aço ou madeira, Maillart foi o primeiro a ver as estruturas em betão com potencial de gerar novas formas, diferenciando esta técnica perante a aplicação das outras. A ideia principal de Hennebique estava baseada em vigas, colunas/pilares e lajes construídas de forma monolítica, moldadas como um sistema unitário. Entre 1899 e 1901, Maillart avança no desenvolvimento de formas curvas delgadas, até então não aplicáveis em estruturas com materiais tradicionais.

Continuando, o autor afirma que as novas fórmulas de Maillart - o arco aberto tri-articulado, o caixão perdido, a laje-cogumelo e o arco plataforma - ilustram ao menos três das ideias que ele expressou sobre as estruturas. Especificamente em 1908, é iniciado um processo de renovação dos projectos de lajes em betão na Europa, principalmente sobre os projectos monolíticos de Hennebique, que utilizavam pequenos vãos de laje suportados por vigotas apoiadas na estrutura primária (vigas maiores). Esta malha era monoliticamente conectada aos pilares que descarregavam as solicitações directamente nas fundações. Já em 1905, na fábrica *Pfenninger* em *Wädenswil*, Maillart ampliou o vão entre apoios e eliminou as vigotas que caracterizavam o sistema estrutural secundário tornando o plano inferior da laje mais limpo e

livre de nervuras. Durante dois anos ele continuou projetando e construindo pavimentos em edifícios desta maneira. Em 1908, são efetuados provas de resistência das lajes planas, satisfazendo em pleno todos testes efetuados e obtendo patente suíça em janeiro de 1909, expirando em 1924.

A idéia consistia em suportar as lajes dos pavimentos apenas sobre pilares, simplificando a construção e removendo obstruções sob os tetos. Diferentemente de Turner, que utilizou um sistema de armaduras em 4 direções, Maillart desenvolveu um sistema colocando a armadura das lajes em apenas 2 direções ortogonais, se valendo também das vantagens dos códigos suíços que eram favoráveis a esse tipo de experimento. Entre o projeto da *Giesshiibel Warehouse* (1910) em Zurique até o último na fábrica de tecidos *Gugelmann* (1939) em Langenthal, foi desenvolvido um grande número de edifícios com lajes planas, todas baseadas na patente de 1909. Ao contrário dos projetos de pontes, estes edifícios eram mais fáceis de projetar, já que as idéias básicas já tinham sido testadas, bastando apenas aplicar soluções semelhantes em cada caso, além de serem obras de clientes privados que não requeriam grandes detalhamentos técnicos formais.

*Figura 9: Armazem Geisshübel, Zürique – Robert Maillart*



**Fonte:** (Vasconcellos, 2004, p. 52)

Esta técnica, não apenas conseguiu uma execução mais rápida e econômica em termos financeiros constituindo um grande e atrativo negócio antes da Primeira Guerra em vários

países da Europa, mas também consolidou a estética diferenciada do plano do teto liso, iniciada pelos estudos de C.A.P Turner e que, no trabalho de Maillart, tornam-se mais leves e econômicas, já que utilizava metade das armaduras do sistema anterior.

Dessa forma, a substituição por motivos de resistência ao fogo, de estruturas interiores usualmente empregadas em construções industriais e a conseqüente transposição dos tipos estruturais se converte em um sistema construtivo, estrutural e espacial completo, realizado inteiramente em betão armado e que lhe permite afrontar competitivamente as demandas de qualquer tipo de edificação.

### 1.2.3. Lajes Maciças

Para (Souza & Cunha, 1994, p. 24), lajes maciças são aquelas constituídas por uma placa maciça de betão armado ou pré-esforçado.

Por sua vez (Bastos, 2015, p. 1) define laje maciça como sendo aquela cuja toda espessura é composta por betão, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras de transversais.

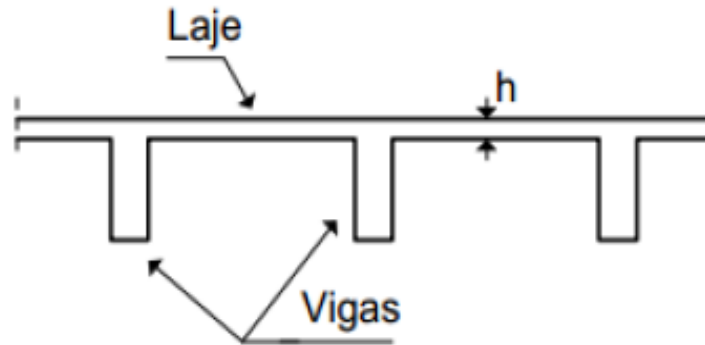
*Figura 10: Betonagem de uma laje maciça*



**Fonte:** Autor, 2021

Conforme (Araújo, 2014, p. 2) as lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas, pilares ou por alvenarias, sendo este o tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.

Figura 11:Laje Maciça



Fonte: (Araújo, 2014)

### 1.2.3.1.Vantagens das Lajes Maciças

(Albuquerque, 1999, p. 21) cita algumas vantagens das lajes maciças:

- Existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de betão, por isso a mão-de-obra já é bastante treinada.

Por sua vez (Silva, 2010) destaca outras vantagens das lajes maciças:

- Apresentam pouca deformação e esforços relativamente pequenos;
- Execução simples e rápida.

Ainda na mesma linha de pensamento (Lopes, 2012) apresenta a seguinte lista de vantagens que as lajes maciças:

- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);
- Menos susceptível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o betão torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme

### **1.2.3.2.Desvantagens das Lajes Maciças**

(Albuquerque, 1999, p. 21) destaca as seguintes vantagens:

- Devido aos limites impostos, apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a forma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção;
- Os recortes diminuem o reaproveitamento das cofragens;
- Apresenta grande consumo de betão, aço e cofragens.

Por sua vez (Lopes, 2012) cita algumas desvantagens das lajes maciças:

- Elevado peso próprio implicando em maiores reacções nos apoios (vigas, pilares e fundações);
- Elevado consumo de mão de obra referente às actividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- Tempo muito elevado para execução da cofragem e da descofragem.

### **1.2.3.3. Processo Executivo das Lajes Maciças**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015, p. 25) a execução das lajes maciças é dividida em 7 (sete) etapas básicas:

- Confecção da cofragem e prumos;
- Colocação das armaduras;
- Instalação de caixas, tubos e electroductos;
- Preparação e lançamento do betão;
- Adensamento do betão;
- Cura do betão;
- Retirada das cofragens e prumos.

#### **1.2.3.3.1. Confecção da Cofragem e Prumos**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015) a cofragem das lajes é geralmente constituída por madeiras compensadas plastificadas ou chapas de aço no assoalho junto com a colocação das prumos, longarinas e travessas com a finalidade de dar forma e sustentação para o que o betão atinja a resistência de projecto.

Os mesmos autores afirmam que o sistema de cofragem deve ter o formato e as dimensões da laje a ser projectada, havendo o estanque de modo a impedir que ocorra a perda de argamassa no momento da betonagem.

*Figura 12: Cofragem de Laje Maciça, com prumos longarinas e travessas aparentes*



**Fonte:** (Brandalise & Wessling, 2015)

“A colocação dos prumos deve ser projectada e executado para suportar o seu próprio peso, o peso da estrutura e das cargas acidentais que possam actuar durante o processo construtivo evitando as deformações prejudiciais não previstas no projecto” (Brandalise & Wessling, 2015, p. 27).

Deve se verificar a colocação dos prumos da cofragem, com a finalidade de não haver alterações das dimensões e as devidas posições da cofragem de acordo com o projecto afim de permitir o tráfego do pessoal e do equipamento necessário a operação de betonagem com segurança.

*Figura 13: Colocação dos prumos*



**Fonte:** (Brandalise & Wessling, 2015)

#### **1.2.3.3.2. Colocação das Armaduras**

(Brandalise & Wessling, 2015, p. 28) descrevem que nesta etapa o posicionamento das armaduras principais e secundárias por cima da cofragem deve estar de acordo com as especificações de projecto, havendo amarração, utilizando arames e respeitando as distâncias das barras entre si e as faces internas da cofragem. Também deve-se ter o cobrimento mínimo das armaduras com o auxílio de espaçadores, para evitar que a armadura seja exposta.

*Figura 14: Espaçadores de armaduras*



**Fonte:** [http:// www.cermaco.com.br/distanciadores.php](http://www.cermaco.com.br/distanciadores.php)

#### **1.2.3.3.3. Instalação de Caixas, Tubos Electrodutos**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015) Nesta etapa são posicionados os electroduto, as caixas de passagem e electroduto referentes a instalação eléctrica, também são utilizadas as esperas de esferovite com as dimensões necessárias para permitir a passagem de encanamentos com função hidráulica e de esgoto após a sua retirada, ou tubos de maiores dimensões vedados de alguma maneira pelos quais posteriormente os tubos dos sistemas passarão posteriormente

*Figura 15: Electrodutos e caixas de passagem na cofragem de laje maciça*



**Fonte:** (Brandalise & Wessling, 2015)

#### 1.2.3.3.4. Preparação e Lançamento do Betão

(Brandalise & Wessling, 2015) relatam que todas as considerações requeridas devem ser seguidas pelo projecto, ou seja, a resistência característica, módulo de elasticidade do betão e as condições de lançamento, adensamento e cura do betão, para se obter a durabilidade da estrutura.

No momento anterior a betonagem, a superfície da cofragem deve estar limpa, realizando a remoção de quaisquer detritos que não fazem parte da armação ou instalações eléctricas/hidráulicas, molhando a cofragem com a intenção de verificar a estanqueidade das juntas afim de evitar a perda de pasta ou argamassa e também para a saturação da madeira de cofragem com água, de modo a minimizar a perda de água do betão para a cofragem.

“Durante a betonagem, deve haver cuidado nas armaduras, evitando o deslocamento da mesma, das ancoragens e da cofragem” (Brandalise & Wessling, 2015).

*Figura 16: Lançamento e regularização do betão*



**Fonte:** (Brandalise & Wessling, 2015)

#### **1.2.3.3.5. Adensamento e Acabamento do Betão**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015, p. 32) o betão deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura seja adequadamente envolvida na massa do betão, ou seja, o cobrimento de todos os materiais da laje mantendo a homogeneidade do betão. Para o adensamento é feito o uso de vibradores, para garantir a homogeneidade e redução do número de vazios permitindo que se obtenha no mínimo a resistência mínima do concreto prevista em projecto. Deve-se evitar que haja um intervalo de maior do que o tempo previsto de início de pega, afim de evitar juntas frias. Para obter uma superfície durável e uniforme de betão além de ter um traço e uma consistência do betão adequados ao projecto da estrutura, deve fazer um lançamento e adensamento sem apresentar vazios na massa de betão com o mínimo de manipulação do betão, como processos de vibração muito demorados ou repetidos, onde pode ocorrer o processo de segregação do material fazendo a migração do material fino e da água para a superfície.

#### **1.2.3.3.5. Cura do Betão**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015, p. 33) para uma cura adequada antes de atingir o endurecimento do betão, deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais tais como: agentes químicos, mudanças súbitas de temperaturas, ventos, etc., a fim de evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superfície durável, não produzindo fissuras na massa de concreto ou prejudicando a aderência às barras da armadura.

De acordo com os mesmos autores para ocorrer a reacção química do betão necessita da água presente no betão para haver o endurecimento, e também parte dessa água se perde pela evaporação no ambiente, então é preciso garantir que não se perca essa água com o humedecimento da superfície para que a reacção ocorra correctamente, assegurando a qualidade do betão durante o período de cura, isso se garante mantendo uma lâmina d'água sobre a laje.

#### **1.2.3.3.6. Retirada da Cofragem e Prumos**

De acordo com (Brandalise & Wessling, 2015, p. 33) a retirada da cofragem e prumos só podem ser removidos após o betão ter adquirido resistência suficiente para suportar a carga imposta ao elemento estrutural, para que não ocorra deformações que excedam as tolerâncias especificadas no projecto e resista aos danos para a superfície durante a remoção, visto que são

as grandes deformações são pelo facto do betão possuir pouca idade e não haver o endurecimento total do betão.

#### **1.2.4. Lajes Aligeiradas**

Segundo (Figueiredo, 2021) As lajes aligeiradas são lajes totalmente compostas por elementos pré-fabricados. São constituídas por vigotas de betão pré-esforçado e blocos de cofragem, que podem ser feitos de betão ou cerâmicos. Em suma, são uma montagem feita com vigotas e abobadilhas, com uma camada fina de betão por cima para dar resistência e para solidarizar o conjunto.

*Figura 17:Laje Aligeirada*



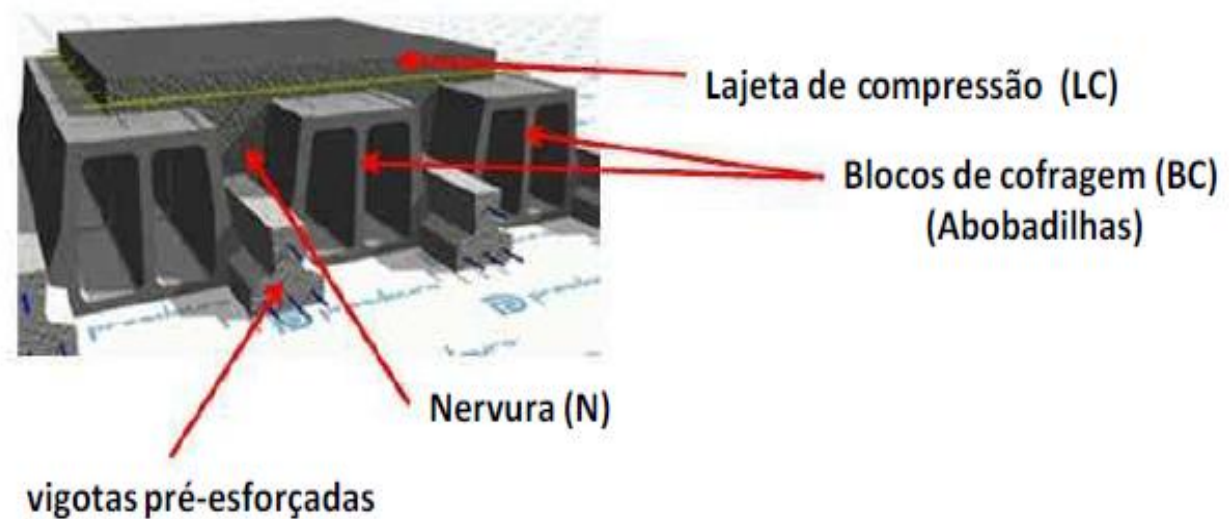
**Fonte:** Autor, 2021

Por sua vez, Joaquim (2016) afirma que as Lajes Aligeiradas são lajes constituídas por nervuras dispostas numa só ou duas direcções ortogonais, solidarizadas por uma lajeta, geralmente incorpora-se blocos de cofragem entre as nervuras.

##### **1.2.4.1. Composição das Lajes Aligeiradas**

Para (Carvalho & Filho, 2014, p. 74) as lajes aligeiradas são compostas por vigotas de betão armado ou pré-esforçado, por abobadilhas e por uma capa de betão moldada no local.

Figura 18: Composição das lajes aligeiradas



Fonte: (Joaquim, 2016)

#### 1.2.4.1.1. Vigotas Pré-fabricadas

(Figueiredo, 2021) diz que neste assunto importa também explicar o que são vigotas de betão pré-esforçado, porque são as mais usadas na construção de lajes aligeiradas e muitas vezes até se chama esta laje de laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas. Estas vigotas são materiais de betão pré-fabricados que sofreram pré-esforço com fios de aço aderentes que constituem a sua armadura.

Enfatizando (Carvalho & Filho, 2014, p. 74) afirmam que estas são constituídas por betão estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a secção de betão da nervura longitudinal. E estas podem ser:

- a) De betão armado com secção de betão usualmente formando um “T” invertido, com armadura passiva totalmente englobada pelo betão da vigota;
- b) De betão pré-esforçado com secção de betão usualmente formando um “T” invertido, com armadura activa pré-esforçada totalmente englobada pelo betão da vigota.

Figura 19: Vigotas de betão pré-esforçado



Fonte: Autor, 2021

#### 1.2.4.1.2. Nervuras

O betão utilizado em estruturas teve, durante muito tempo, como único parâmetro sua resistência característica, chamada de  $f_{ck}$ . Actualmente devido à preocupação maior com a durabilidade e funcionabilidade da estrutura, passou-se a preocupar com outros parâmetros do betão como: seu módulo de elasticidade,  $E_c$ , seu índice de vazios, e outros pois na realidade o  $f_{ck}$  pode ser apenas um indicativo do  $E_c$ . Como exemplo de que o valor do  $f_{ck}$  é só indicativo tem-se os ensaios realizados por (Peixoto, 2002) onde se obteve peças de rigidez à flexão totalmente diferentes mudando apenas o processo de vibração em protótipos executados com o mesmo betão e portanto com mesmo valor  $f_{ck}$  encontrado nos ensaios de resistência a compressão. Com isso a tendência, em médio prazo, é especificar um betão com mais parâmetros, além da resistência a compressão característica. No momento continua a se especificar somente este parâmetro, mas garantindo um valor mínimo para o mesmo de tal forma que, indiretamente se garanta também valores mínimos para outras variáveis que influem na durabilidade do betão.

O diâmetro máximo do agregado não deve ser superior a 1/3 da espessura da capa.

Tabela 1:Correspondência entre classe de agressividade e relação água/cimento

Betão	Tipo	Classe de agressividade (tabela 2.4)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimentos em massa	BA	<0.65	<0.60	<0.55	<0.45
	BP	<0.60	<0.55	<0.50	<0.45

#### NOTAS

- BA corresponde a componentes e elementos estruturais de betão armado.
- BP corresponde a componentes e elementos estruturais de betão pré-esforçado.

A durabilidade das estruturas de betão armado depende da qualidade e da espessura do betão de cobrimento das armaduras. Cobrimento mínimo é a menor distância livre entre uma face da peça e a camada de barras mais próxima dessa face (inclusive estribos) e tem por finalidade proteger as barras tanto da corrosão como da ação do fogo. Para isso, além do cobrimento adequado, é importante que o betão seja bem compactado.

Segundo (Joaquim, 2016) as nervuras podem ser:

- a) Betonadas “in situ” – Lajes aligeiradas betonadas “in situ”;
- b) Betonadas em estaleiro (Pré-fabricadas) – Lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas ou em Betão armado (s/pré-esforço).

Figura 20: Betonagem das nervuras



Fonte: Autor, 2021

### 1.2.4.1.3. Blocos de Cofragem/Material de Enchimento

O material de cofragem não é considerado um material estrutural no contexto da laje. A princípio qualquer produto inerte pode ser utilizado para essa função. Apesar de não ser necessário para a resistência da laje, a boa qualidade deste material é importante para a segurança durante a fase de montagem e moldagem da laje, pois os blocos de enchimentos são responsáveis por transferir o peso do betão ainda fresco às vigotas que se apoiam sobre as linhas de escora. Assim sendo toma-se necessário que uma unidade do elemento de enchimento resista a uma carga de 1.0kN ou seja o suficiente para suportar esforços de trabalho durante a montagem betonagem da laje. Para os elementos de enchimento com 7,0 e 8,0 cm de altura, admite-se a redução desse valor para 0.7 kN.

De acordo com (Figueiredo, 2021) o material de enchimento pode ser feito de cimento, cerâmica ou EPS (esferovite) e cada um dos materiais tem as suas vantagens e desvantagens, que deverão ser esclarecidas pelos responsáveis pelo projecto, se a dúvida lhe surgir.

#### 1.2.4.1.3.1. Enchimento de Lajes com Poliestireno Expandido (EPS)

Segundo (Moreira & Marco, 2016, p. 5) EPS é um material plástico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, na cor branca, reciclável, não poluente, fisicamente estável, é sem dúvida um material isolante da melhor qualidade.

*Figura 21: Esferovite em painel EPS*



**Fonte:** <https://www.obras360.pt/>

Ainda o mesmo autor afirma que na prática, tem algumas características o transformou em uma ótima opção na construção civil:

- Isolante termo acústico;
- Sua leveza (Peso específico de 10 a 19 kg/m<sup>3</sup>);
- Boa resistência a compressão;
- Fácil manuseio;
- Variedade de tamanhos.

*Tabela 2: coeficiente de condutividade térmica de acordo com Young, Hugh D.*

Material	Condutividade térmica (W/mK)
Fibra de vidro	0.04
Lã	0.04
Poliestireno	0.03

**Fonte:** (Moreira & Marco, 2016, p. 6)

Ainda para o mesmo autor, por suas características de baixo peso e boa resistência, apesar de sua baixa densidade, chegando a 60 KPa, o EPS apresenta boas condições para utilização como enchimento para lajes.

A Tabela seguinte apresenta os valores de resistência à tração e alongamento na ruptura, resistência à flexão e deformação na ruptura para as amostras e a densidade dos compósitos obtidos.

*Tabela 3: Propriedades mecânicas e densidade dos compósitos de EPS.*

Proporção serragem %	Resistência à Tração MPa	Alongamento na Ruptura %	Resistência à Flexão MPa	Deformação na Ruptura %	Densidade g/cm <sup>3</sup>
0	29 ± 3	0,98 ± 0,11	47 ± 4	1,72 ± 0,15	1,05 ± 0,01
20	29 ± 4	0,73 ± 0,14	32 ± 6	0,87 ± 0,17	1,12 ± 0,01
40	32 ± 2	0,56 ± 0,06	25 ± 4	0,53 ± 0,08	1,20 ± 0,02

**Fonte:** (Moreira & Marco, 2016, p. 7)

#### 1.2.4.1.3.1.1. Vantagens da Utilização do EPS como Material de Enchimento

(Moreira & Marco, 2016) cita algumas vantagens da utilização do EPS como material de enchimento:

#### **a. Isolamento Acústico**

O EPS funciona como uma barreira acústica e, quando combinado com a placa de betão, ajuda a silenciar as ondas sonoras que poderiam ser transmitidas por meio da laje, criando um ambiente ainda mais agradável dentro de casa.

#### **b. Isolamento Térmico**

Isolamento térmico é um dos pontos muito importantes na construção civil. O uso do EPS ajuda a equilibrar a temperatura interna do ambiente, sem absorver ou perder muita temperatura, mantendo sempre um clima agradável.

Estima-se que o isolamento térmico do poliestireno seja 7 vezes superior que o do betão normal.

#### **c. Agilidade no Manuseio e Transporte**

Devido a sua leveza, as placas de EPS propiciam mais agilidade na mão de obra, pois são mais fáceis de serem manuseadas. Sendo que o escoramento necessário também é menor e essa laje ainda possui recortes facilitados para a tubulação.

Sua leveza contribui também aliviando a fundação e a estrutura das edificações assim como sua carga é menor, gerando uma redução de aproximadamente 20% dos gastos com a fundação, 50% menor a utilização de ferragem da estrutura e 35% de redução na utilização de betão.

O transporte é também facilitado devido ao peso reduzido, assim como o armazenamento no canteiro de obras.

O modelo de EPS é o mais fácil para passar tubos de energia, podendo ser cortados nos pontos necessários e tornando a tarefa mais fácil, já que as mangueiras que conduzem fios podem ser instaladas em qualquer ponto da laje.

#### **d. Meio Ambiente**

A vantagem da construção civil com a utilização desse material também envolve sustentabilidade, pois o EPS é 100% reciclável.

#### **1.2.4.1.3.1.2. Desvantagens**

Segundo o mesmo autor, apesar das vantagens da utilização do EPS este material também apresenta algumas desvantagens:

### **a. Material Não Estrutural**

Devido a sua propriedade não estrutural, não é possível fazer furos ou fixação na parte inferior da laje.

### **b. Acabamento Interno**

É preciso fazer a aplicação de cola especial na face aparente do EPS para que o acabamento (gesso ou chapisco) possa aderir ao material, necessitando assim de mão de obra com os devidos conhecimentos para fazer a aplicação do acabamento.

#### **1.2.4.1.3.2. Enchimento de Lajes em Lajotas Cerâmicas**

“Da mesma forma que a laje com enchimento de EPS, os blocos cerâmicos, lajotas ou tabelas servem para ocupar espaço no cobrimento da laje, gerando assim, um menor consumo de betão e diminuindo o peso total da laje” (Moreira & Marco, 2016, p. 7)

Segundo (Moreira & Marco, 2016, p. 6) Os materiais cerâmicos são, em geral, os mais duráveis entre os materiais de construção. Entretanto, eles podem sofrer alguns tipos de degradação por:

- **Agentes físicos:** Radiação solar, mudança de temperatura (congelamento), corrosões pela água, vento e pó.
- **Agentes químicos:** elementos corrosivos orgânicos e inorgânicos (óxido de enxofre, nitrogénio, ácido sulfúrico em chuvas ácidas).
- **Agentes mecânicos:** choques durante o transporte.

*Figura 22: Laje aligeirada: Lajotas cerâmicas como blocos de cofragem*



**Fonte:** <https://www.atex.com.br/>

### 1.2.4.1.3.3. Blocos de betão (abobadilhas de betão)

(Figueiredo, 2021) afirma que Abobadilha é o outro nome que se dá aos blocos de cofragem. Recebem este nome porque têm formas que lembram pequenas abóbadas.


Figura 23: Abobadilhas de betão



Fonte: Autor do trabalho, 2021

As dimensões e forma dos blocos variam consoante o fabricante, ainda que não significativamente.

Figura 24: Dimensões dos blocos de cofragem

DESIGNAÇÃO DO BLOCO	GEOMETRIA TRANSVERSAL  (Escala 1/10)	DIMENSÕES (mm)				MASSA (kg)
		largura (no ressalto)		altura h	compr. l	
		a	b			
48x12		480	520	120	200	10,5

Fonte: (Joaquim, 2014)

#### 1.2.4.1.4. Armadura Complementar ou Adicional

Armadura adicionada na obra, quando dimensionada e disposta de acordo com o projeto da laje, pode ser:

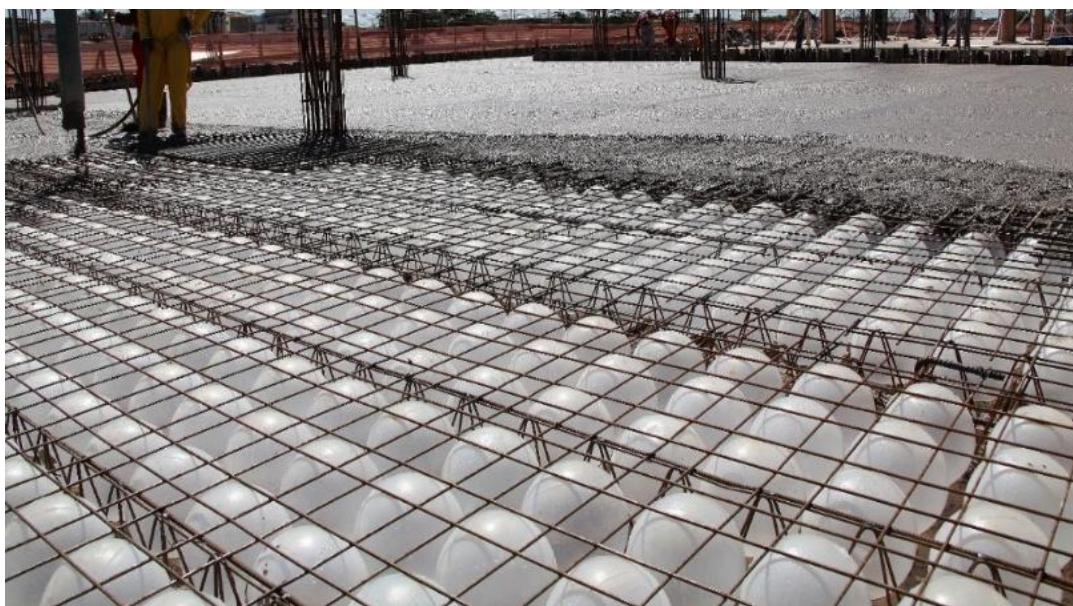
- **Longitudinal ( $S_{ct}$ ):** armadura admissível apenas em lajes treliçadas. quando da impossibilidade de integrar na sapata de betão toda a armadura inferior de tração necessária.
- **Transversal ( $S_t$ ):** armadura que compõe a armadura das nervuras transversais.
- **De distribuição ( $S_j$ ):** armadura posicionada 11a capa de betão nas direcções transversal e longitudinal, quando necessária, para a distribuição de tensões oriundas de cargas concentradas e para controle de fissuração.
- **Superior de tração ( $S_{st}$ ):** armadura disposta sobre os apoios nas extremidades das vigotas. no mesmo alinhamento das nervuras longitudinais e posicionada na capa. Proporciona a continuidade das nervuras longitudinais com O restante da estrutura. O combate à fissuração e a resistência ao momento flector negativo.

#### 1.2.4.2. Evolução das Soluções de Aligeiramento

A primeira solução de laje com os aligeiramentos totalmente embebidos por betão surgiu em 1950. Armada em apenas uma direcção e apoiada em vigas, continha no seu interior tubos cilíndricos que se estendiam perpendicularmente aos apoios da laje.

Em meados de 1990 surgiu o sistema BubbleDeck, criado por Jorgen Breuning, caracterizando-se pela introdução de elementos vazios no interior de uma laje fungiforme. Os elementos de aligeiramento possuíam uma forma esférica, sendo dispostos ortogonalmente, em painéis pré-fabricados englobando já a armadura de flexão colocada na face interior, e posteriormente transportados para a obra. Após a sua colocação sobre os pilares da estrutura, era efectuada uma segunda betonagem, envolvendo totalmente os aligeiramentos.

*Figura 25: Solução de aligeiramento - Sistema BubbleDeck*



**Fonte:** [www.cimentoitambe.com.br](http://www.cimentoitambe.com.br)

Em 2001, foi apresentada ao mercado uma solução, projectada e patenteada pelo engenheiro Italiano, Roberto II Grande, denominada por sistema U-Boot. Com o objectivo do sistema BubbleDeck, mas com blocos de aligeiramento cúbicos e exclusivamente montado em obra, permitiam a redução de custos de transporte, pois a fabricação de blocos era efectuada em metades, e a redução na formação de dióxido de carbono na produção dos blocos.

*Figura 26: Solução de aligeiramento - Sistema U-Boot*



**Fonte:** <https://www.daliform.com/>

Em 2003, foi patenteado o sistema AirDeck, sistema igual ao BubbleDeck, diferindo apenas no formato geométrico dos blocos, tendo estes uma forma cúbica.

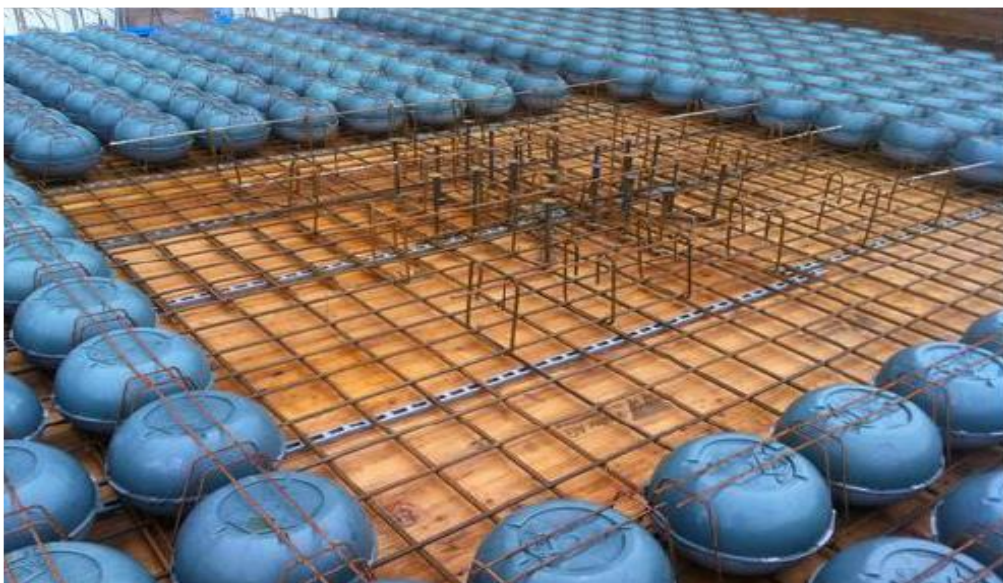
*Figura 27: Solução de aligeiramento - Sistema AirDeck*



**Fonte:** <https://docplayer.com.br/>

Em 2004, na Suíça, surgiu o sistema Cobiax, com metodologia igual ao sistema U-Boot, mas com os blocos de aligeiramento em formato elipsóide, possuindo exactamente as mesmas vantagens.

*Figura 28: Solução de aligeiramento - Sistema Cobiax*



**Fonte:** <https://www.engenhariacivil.com/>

### **1.2.4.3.Vantagens das Lajes Aligeiradas**

Joaquim (2014) destaca as seguintes vantagens para as lajes aligeiradas:

- Menor peso próprio (redução de peso da ordem dos 40% em relação a uma laje maciça);
- Economia de Betão, armadura, cofragem e escoramento;
- Montagem mais simples e rápida;
- Apresentam bom isolamento térmico (entre andares, por integrarem na sua composição elementos vazados).

Por sua vez (Figueiredo, 2021) destaca outras desvantagens:

- Oferece uma significativa redução de custos de construção;
- Reduz o desperdício de betão e madeira e outras quebras de materiais;
- Pela facilidade de instalação não exige mão de obra tão qualificada;
- Permitem uma qualidade uniforme devido à pré-fabricação.

### **1.2.4.4.Desvantagens**

“A laje aligeirada tem vantagens, em especial quando comparada com a laje maciça, mas também tem as suas desvantagens” (Figueiredo, 2021).

(Joaquim, 2014) cita algumas desvantagens das lajes aligeiradas:

- Apresentam um baixo contraventamento horizontal na direcção perpendicular às vigotas, o que motiva mau comportamento face a acções do tipo sísmico;
- Apresentam descontinuidade do paramento inferior (juntas entre as vigotas e os blocos de aligeiramento) exigindo por esse motivo cuidados especiais na aplicação de rebocos;
- A resistência a cargas localizadas é baixa sobretudo na zona dos blocos de aligeiramento;
- Permitem a circulação de água no seu interior, pelo que não são aconselháveis em coberturas ou terraços em que não exista uma cobertura ou sistema de impermeabilização de elevada qualidade e durabilidade.

E (Figueiredo, 2021) cita as seguintes desvantagens:

- Esta laje foi pensada para ser utilizada como laje de piso ou de tecto, não estando preparada para aguentar sobrecargas não previstas nos cálculos do projecto, pelo que

não permite grande liberdade arquitectónica. As sobrecargas podem gerar fissuras e outros danos estruturais;

- Pode apresentar menos resistência ao sismo, quando comparada com outras soluções;
- Por ter menos massa pode apresentar uma pior prestação ao nível do isolamento acústico.

“As desvantagens da laje aligeirada podem ser contornadas com outras soluções adicionais, como a adição de isolamento específico, ou com lajes mistas, que incorporam dois métodos construtivos” (Figueiredo, 2021).

#### **1.2.4.5. Processo Construtivo das Lajes Aligeiradas**

De acordo com (Brandalise & Wessling, 2015, p. 40), o processo construtivo das lajes aligeiradas obedece as seguintes etapas:

##### **1.2.4.5.1. Colocação das Vigotas e Prumos**

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015, p. 40) esta etapa consiste em dispor as vigotas nos vãos compatíveis com suas dimensões, nivelando a laje, deixando as contra-flechas. A distância entre vigotas é igual à largura do material de que será utilizado.

*Figura 29: Colocação de Vigotas*



**Fonte:** Autor, 2021

#### 1.2.4.5.2. Preenchimento/Colocação das Abobadilhas

Segundo (Brandalise & Wessling, 2015, p. 41) Com as vigotas já dispostas de acordo com a largura do preenchimento desejado, são distribuídas as abobadilhas, de maneira que os vãos entre vigotas sejam fechados para permitir a betonagem.

*Figura 30: Colocação das Abobadilhas*



**Fonte:** Autor, 2021

#### 1.2.4.5.3. Colocação das Armaduras

De acordo com (Brandalise & Wessling, 2015, p. 41) após a instalação de vigotas e o material de enchimento, segue-se a colocação das armaduras para tornar a laje mais resistente e formar uma estrutura rígida juntamente ao betão.

*Figura 31: Colocação das Armaduras*



**Fonte:** Autor, 2021

#### **1.2.4.5.4. Guias de acabamento lateral**

A instalação das guias depende apenas das etapas anteriores ao preenchimento, podendo ser instalada já no início das abobadilhas, porém sua funcionalidade apenas se dá no momento da betonagem.

*Figura 32: Instalação de guias*



**Fonte:** (Brandalise & Wessling, 2015)

#### 1.2.4.5.5. Preparação, lançamento, adensamento e cura do betão

De acordo com (Brandalise & Wessling, 2015, p. 43) ao concluir as etapas anteriores molha-se a superfície afim de saturar as abobadilhas para não haver a perda de água do betão e faz-se a betonagem sobre vigotas, abobadilhas e malha, tornando todo o conjunto em uma estrutura única e rígida.

*Figura 33: Lancamento e vibração do Betão*



**Fonte:** Autor, 2021

#### 1.2.4.5.6. Remoção dos Prumos

A remoção dos prumos ocorre igualmente a da laje maciça, seguindo as mesmas normas, exigindo que seja realizada somente após o betão ter adquirido resistência suficiente para suportar a carga imposta ao elemento estrutural, para que não ocorra deformações que excedam as tolerâncias especificadas no projecto e resista aos danos para a superfície durante a remoção.

## **CAPÍTULO II - METODOLOGIA**

### **2.1. Tipo de pesquisa**

Os procedimentos técnicos utilizados para elaboração deste trabalho foram as pesquisas bibliográficas e documentais. E quanto aos objectivos esta é classificada como sendo uma pesquisa quantitativa-descritiva, pois segundo (Marconi & Lakatos, 2003, p. 187) estas consistem em investigações de pesquisa empírica cuja principal finalidade é o delineamento ou análise das características de fatos ou fenómenos, a avaliação de programas, ou o isolamento de variáveis principais ou chave

### **2.2. Participantes**

#### **Condor Lda**

Trata-se de uma empresa de fornecimento de material de construção. Conhecida a nível nacional, na cidade de Nampula a Condor Lda está localizada na Av. da Independência. 333 – Cx. Postal nº 384, e na Ruas das FPLM, em frente a Escola Primaria Completa da Serra da Mesa.

### **2.3. Instrumentos**

Esta investigação só foi possível através da utilização dos seguintes instrumentos de pesquisa: livros, dicionário, sites electrónicos, regulamentos, software de elaboração de projectos arquitectónicos e software de cálculos estruturais. O dicionário foi utilizado para melhor percepção do significado de algumas palavras. O software de elaboração de projectos utilizado foi o ArchiCad 21, para desenhar a planta baixa do edifício em estudo. Foram utilizados o REBAP, o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) e o software CypeCad para o dimensionamento estrutural do edifício.

### **2.4. Procedimentos**

A elaboração deste trabalho contou com os seguintes procedimentos:

- Pesquisa bibliográfica: realizada em livros, regulamentos, Empresa com a qual se pode obter, a quantificação de material e orçamento dos elementos necessários para construção de uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas de betão.
- A observação, que segundo (Marconi & Lakatos, 2003, p. 190) é uma técnica de colecta de dados que utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade, não

consiste apenas em ver e ouvir, mas também examinar factos e fenómenos que se desejam estudar.

- Foram aplicados o REBAP, RSA e Cypecad para o dimensionamento das estruturas e verificação de segurança.
- A entrevista para obtenção de informações relacionados aos preços e orçamento dos elementos pré-fabricados da Laje Aligeirada.

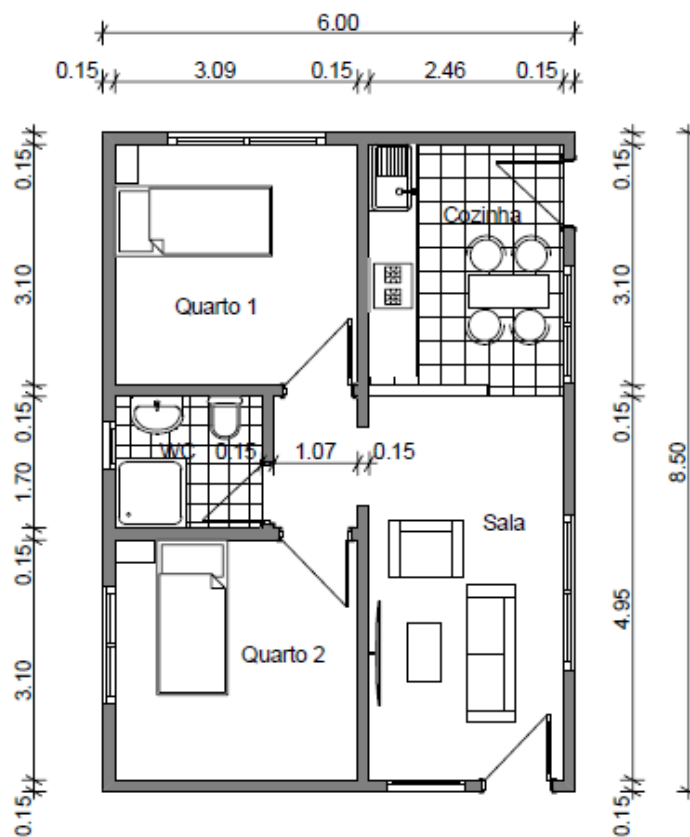
## CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DOS DADOS

### RECOLHIDOS

#### 3.1. Apresentação do edifício

Trata-se de um edifício residencial fictício da autoria do autor do Trabalho, com uma área total de 51 m<sup>2</sup>, contendo (1) sala; (2) quartos; (1) cozinha; (1) WC.

Figura 34: Planta do edifício em estudo



Fonte: Autor, 2021

#### 3.2. Critérios adoptados para o dimensionamento da estrutura

Para os cálculos estruturais relativos as lajes em estudo foram consideradas uma sobrecarga uniformemente distribuída de 1,0 KN/m<sup>2</sup> e revestimento de 1.5 KN/m<sup>2</sup> de acordo com o (RSA).

### 3.3. Quantificação do material

Em relação ao consumo de materiais, os gráficos seguintes indicam as quantidades necessárias do betão, aço e cofragem que serão necessários para a estrutura do edifício na adopção de cada tipo de Lajes em estudo.

#### 3.3.1. Betão

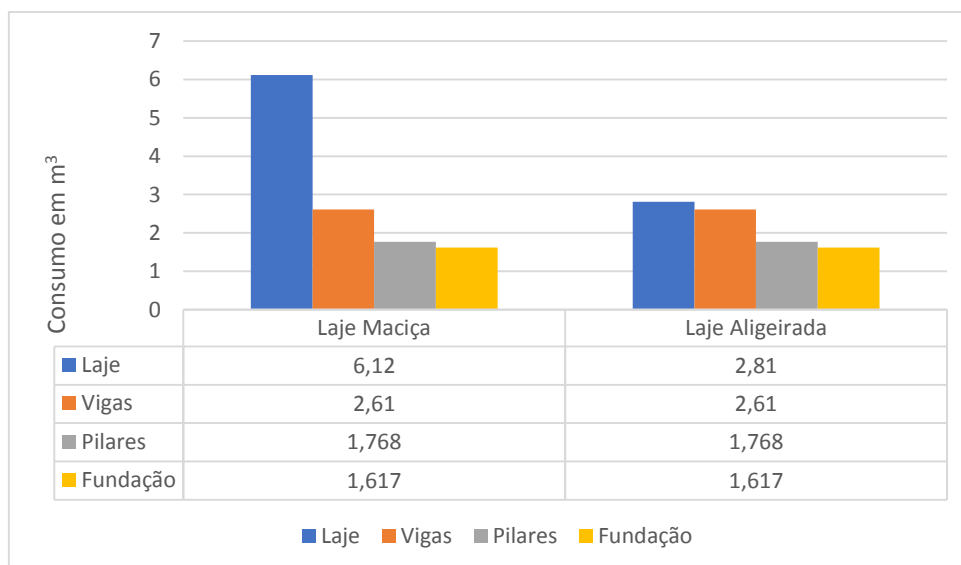
O cálculo da quantidade de betão que deve ser fabricado para a betonagem das lajes em estudo fez-se usando o cypeCad. Foi considerada uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçada e abobadilhas de betão fornecida pela Condor, com as seguintes dimensões:

Tabela 4: Tabela de características da Laje Aligeirada

Tabela de características de lajes de vigotas
<b>Laje de vigotas de betão</b>
Altura da abobadilha: 20 cm
Espessura camada de compressão: 5 cm
Entre-eixos: 72 cm
<b>Abobadilha</b>
Largura do nervo: 13 cm
Volume de betão: 0.098 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Peso próprio: 3.239 kN/m <sup>2</sup>

Fonte: (Condor, 2021)

Gráfico 1: Consumo de betão

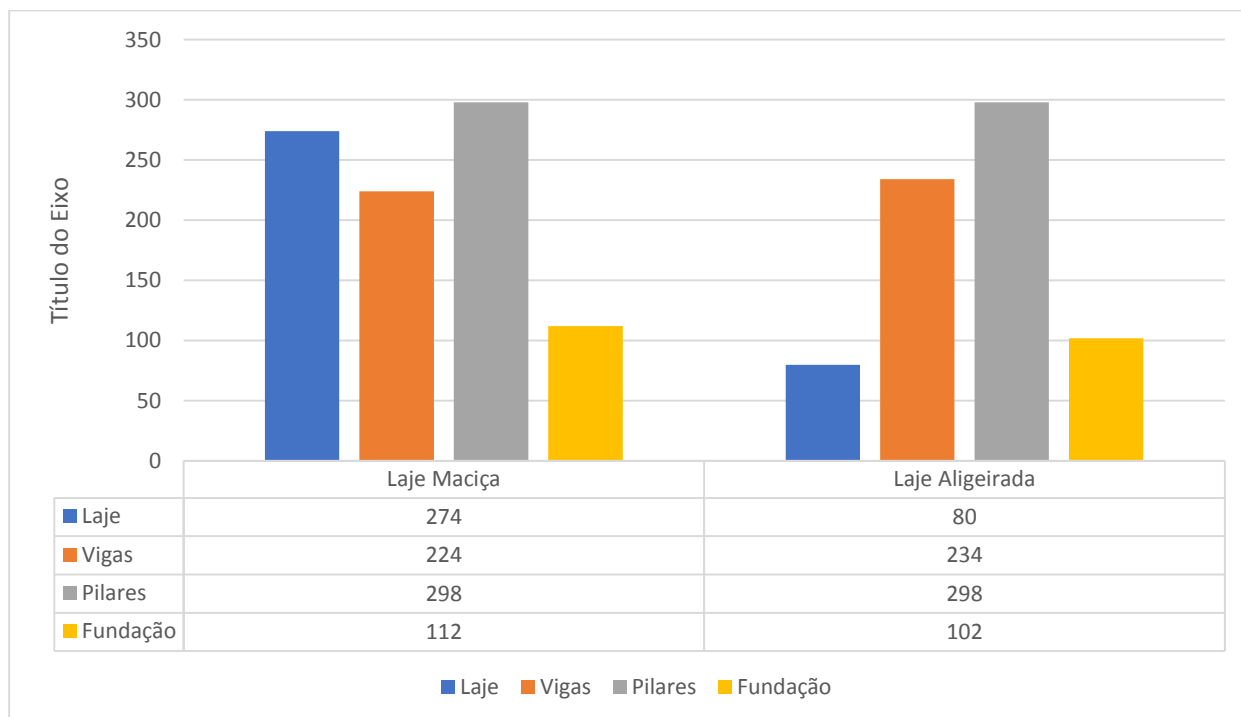


Fonte: Autor, 2021

De acordo com o gráfico anterior, percebe-se que o volume de betão fabricado “in situ” para Laje Aligeirada é menor que a metade do volume de betão necessário para a betonagem da laje maciça. E a quantidade de betão para os restantes elementos da estrutura foi igual para ambas Lajes.

### 3.3.2. Aço

Gráfico 2: Consumo do Aço

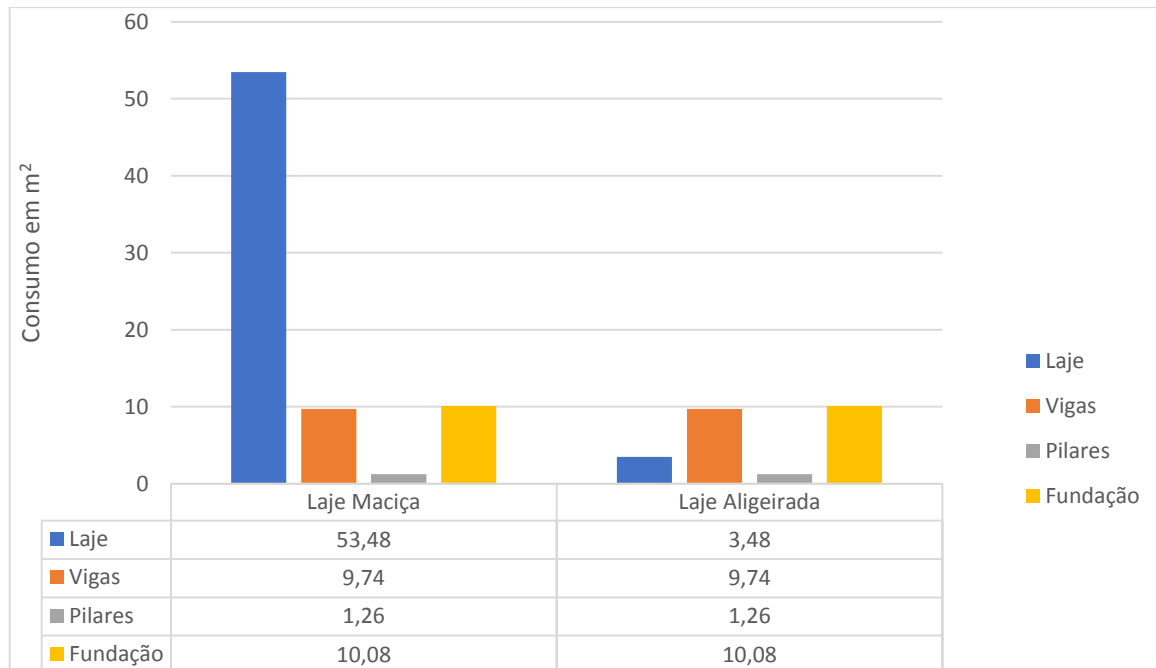


Fonte: Autor, 2021

Avaliando os dados apresentados no gráfico 2, percebe-se que o consumo de aço da Laje Maciça de 274 Kg, valor superior a 80 Kg do consumo na Laje Aligeirada. A quantidade de aço nas vigas, pilares e fundação foi igual nas ambas Lajes.

### 3.3.3. Cofragem

Gráfico 3: Consumo de Cofragem



Fonte: Autor, 2021

O gráfico acima apresenta a quantidade de cofragem necessária para cada sistema de laje em estudo. Analisando, percebe-se que neste caso a Laje Aligeirada necessita apenas de 7,78 % da quantidade de cofragem para a Laje Maciça. Este factor deve-se ao facto de as lajes aligeiradas serem constituídas por elementos de enchimentos tornando dispensável a cofragem na parte inferior da laje, esta sendo apenas necessária nos bordos da laje.

A quantidade de cofragem assim como na quantidade dos materiais anteriores nas vigas, pilares e fundações é a mesma em ambas lajes porque a técnica de execução e dimensões destes elementos estruturais são iguais.

## CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS

### 4.1. Orçamento da laje maciça

Para o levantamento dos custos do betão, aço e cofragem nas ambas Lajes foram utilizados os seguintes critérios:

- Custo do betão (B15) aplicado como betão de limpeza, incluindo todos os serviços para a sua aplicação = 4,575.38 MZn/m<sup>3</sup>;
- Custo do betão B25 utilizado nas sapatas, pilares, vigas e laje, incluindo todos os serviços para a sua aplicação = 5,154.81 MZn/m<sup>3</sup>;
- Custo do aço A<sub>400</sub> Ø6 = 72.17 MZn/kg;
- Custo do aço A<sub>400</sub> Ø8 = 54.77 MZn/kg;
- Custo do aço A<sub>400</sub> Ø10 = 44.30 MZn/kg;
- Custo do aço A<sub>400</sub> Ø12 = 48.71 MZn/kg;
- Custo de madeira para Cofragem = 336.17 MZn/m<sup>2</sup> e 999,8 para aplicação da laje, incluindo todos os serviços para a sua aplicação.

#### 4.1.1. Custo de Betão

Tabela 5: Orçamento de Betão para a Laje Maciça

Código	Descrição das Actividades	Un	Qtd	P.Un (MZn)	P. Total (MZn)
1	<b>CAPÍTULO 1: BETÕES</b>				
1.1.	Fornecimento e aplicação de betão (B15) de limpeza à uma espessura de 0.05m em todo o leito da função, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	5.88	4,575.38	26,903.23
1.2.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em sapatas isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita	m3	1.617	5,154.81	8,335.33
1.3.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em pilares, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	1.768	5,154.81	9,113.70
1.4.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em vigas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	2.61	5,154.81	13,454.05
1.5.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) na laje, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	6.12	5,154.81	31,547.44
			<b>Sub-total</b>		<b>89,353.75755</b>

Fonte: Autor, 2021

Total de betão: O preço total de betão utilizado na estrutura do edifício é de **89,353.75755 MZn**.

## 4.1.2. Custo do Aço

Tabela 6: Orçamento de Aço para a Laje Maciça

2	CAPÍTULO 2: AÇOS				
2.1.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nas sapatas Isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita	kg	105	48.71	5,114.55
2.2.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø6 nas sapatas Isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	7	72.17	505.19
2.3.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nos pilares, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	233	48.71	11,349.43
2.4.	Idem em Ø6 para os estribos dos pilares	kg	65	72.17	4,691.05
2.5.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nos vigas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	14	48.71	681.94
2.6.	Idem em Ø10 para as vigas	kg	157	44.3	6,955.10
2.7.	Idem em Ø6 para os estribos das vigas	kg	53	72.17	3,825.01
2.10.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø6 nos lajes, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	274	72.17	19,774.58
			<b>Sub-total</b>		<b>52,896.85</b>

Fonte: Autor, 2021

Total de aço: O preço total de aço que deverá ser utilizado na estrutura do edifício é de **52,896.85 MZn.**

## 4.1.3. Custo de Cofragem

Tabela 7: Orçamento de Cofragem para as Lajes Maciças

3	CAPÍTULO 3: COFRAGENS				
3.1.	Fornecimento e aplicação de cofragem de madeira em sapatas	m2	10.08	336.17	3,388.59
3.2.	Idem em pilares	m2	1.26	336.17	423.57
3.3.	Idem em vigas	m2	9.74	336.17	3,274.30
3.4.	Idem em lajes	m2	53.48	999.8	53,469.30
			<b>Sub-total</b>		<b>60,555.7676</b>

Fonte: Autor, 2021

Total de Cofragem: O preço total de Cofragem que deverá ser utilizado na estrutura do edifício é de **60,555.7676 MZn.**

## 4.2. Orçamento da Laje Aligeirada

### 4.2.1. Custo de Betão

Tabela 8: Orçamento de Betão para as Lajes Aligeiradas

Código	Descrição das Actividades	Un	Qtd	P.Un (MZn)	P. Total (MZn)
1	<b>CAPÍTULO 1: BETÕES</b>				
1.1.	Fornecimento e aplicação de betão (B15) de limpeza à uma espessura de 0.05m em todo o leito da função, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	5.88	4,575.38	26,903.23
1.2.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em sapatas isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita	m3	1.617	5,154.81	8,335.33
1.3.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em pilares, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	1.768	5,154.81	9,113.70
1.4.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) em vigas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	m3	2.61	5,154.81	13,454.05
1.5.	Fornecimento e aplicação de betão (B25) na laje	m3	2.67	5,154.81	13,763.34
		<b>Sub-total</b>			<b>71,569.66305</b>

**Fonte:** Autor, 2021

Total de betão: O preço total de betão utilizado na estrutura do edifício é de **71,569.66305 MZn.**

### 4.2.2. Custo do Aço

Tabela 9: Orçamento de Aço para as Lajes Aligeiradas

2	<b>CAPÍTULO 2: AÇOS</b>				
2.1.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nas sapatas Isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita	kg	105	48.71	5,114.55
2.2.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø6 nas sapatas Isoladas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	7	72.17	505.19
2.3	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nos pilares, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	233	48.71	11,349.43
2.4	Idem em Ø6 para os estribos dos pilares	kg	65	72.17	4,691.05
2.5	Fornecimento e aplicação A400NR Ø12 nos vigas, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	14	48.71	681.94
2.6	Idem em Ø10 para as vigas	kg	157	44.3	6,955.10
2.7	Idem em Ø6 para os estribos das vigas	kg	53	72.17	3,825.01
2.10.	Fornecimento e aplicação A400NR Ø6 nos lajes, incluindo todos os serviços necessários para a sua perfeita execução	kg	100	72.17	7,217.00
		<b>Sub-total</b>			<b>40,339.270</b>

**Fonte:** Autor, 2021

Total de aço: O preço total de aço utilizado na estrutura do edifício é de **40,339.270 MZn.**

### 4.2.3. Custo de Cofragem

Tabela 10: Orçamento de Cofragem para as Lajes Aligeiradas

3	CAPÍTULO 3: COFRAGENS				
3.1.	Fornecimento e aplicação de cofragem de madeira em sapatas	m2	10.08	336.17	3,388.59
3.2.	Idem em pilares	m2	1.26	336.17	423.57
3.3.	Idem em vigas	m2	9.74	336.17	3,274.30
3.4.	Idem em lajes	m2	3.48	999.8	3,479.30
		<b>Sub-total</b>			<b>10,565.7676</b>

Fonte: Autor, 2021

Total de Cofragem: O preço total de cofragem utilizada na estrutura do edifício é de **10,565.7676 MZn.**

### 4.2.4. Custo do Material Pré-fabricado

Tabela 11: Custo do material pré-fabricado

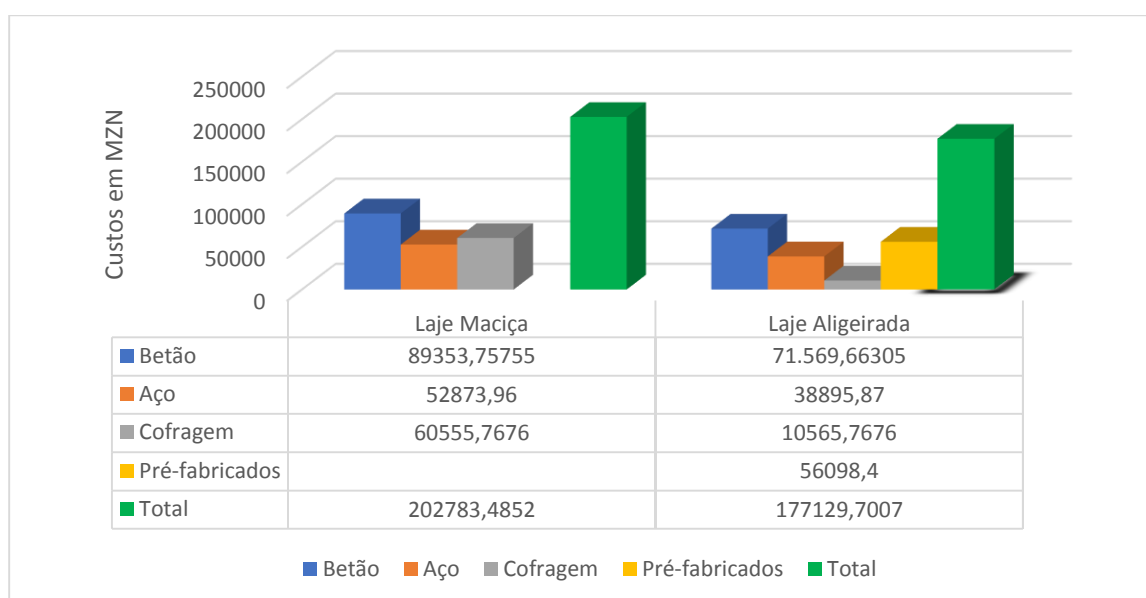
4	CAPÍTULO 3: Laje Pré-fabricada				
4.1.	Vigas pré-esforçadas	ml	80	441.68	35334.4
4.2.	Abobadilhas de betão	un	400	51.91	20764
		<b>Sub-total</b>			<b>56098.4</b>

Fonte: (Condor, 2021)

Total de Material Pré-fabricado é de **56098,4 MZn.**

### 4.3. Custo Total

Gráfico 4: Custo Total do Materiais



Fonte: Autor, 2021

## CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados apresentados durante esta pesquisa, conclui-se que a laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas de betão fornecidas pela Condor são mais viáveis economicamente, devido ao seu baixo consumo de betão e cofragem quando comparada com as lajes maciças.

A laje maciça apresenta o volume de aço, betão e área de cofragem superiores a laje aligeirada, sendo assim a pior escolha economicamente entre os modelos de laje em estudo, por ser mais pesada e necessitar de maiores alturas para suportar seu peso próprio sem apresentar flechas que ultrapassem os valores estabelecidos.

Entretanto, para uma comparação mais aprofundada é preciso considerar as peculiaridades de cada sistema, bem como suas implicações no processo construtivo global do edifício. Cada sistema tem suas próprias características e indicações de uso, constatando-se que não são apenas os custos de materiais que determinam a escolha de um modelo mais adequado em detrimento de outro. Os outros aspectos que se devem tomar na escolha do modelo de laje, além dos custos e consumo de material são: exigências do edifício, cargas actuantes na laje, técnicas de construção, comportamento estrutural, confortos térmico e acústico, entre outros aspectos.

Por último, antes da escolha do modelo de laje para um edifício residencial, o Autor recomenda o seguinte:

- Em edifícios de pequeno porte, onde as cargas actuantes não são elevadas, como é o caso do edifício em estudo, adopte-se uma laje aligeirada pois é mais económica, de rápida execução e satisfaz às exigências;
- Em edifícios de vários pisos não é recomendado o uso das lajes aligeiradas pois não garante um bom isolamento acústico entre os pisos e o seu suporte de carga não é levado quando comparado com a capacidade de suporte das lajes maciças.
- Para maior segurança nos edifícios, antes da adopção de um modelo da laje deve se fazer uma verificação de segurança nas ambas lajes e adoptar aquela que garante maior suporte de carga.

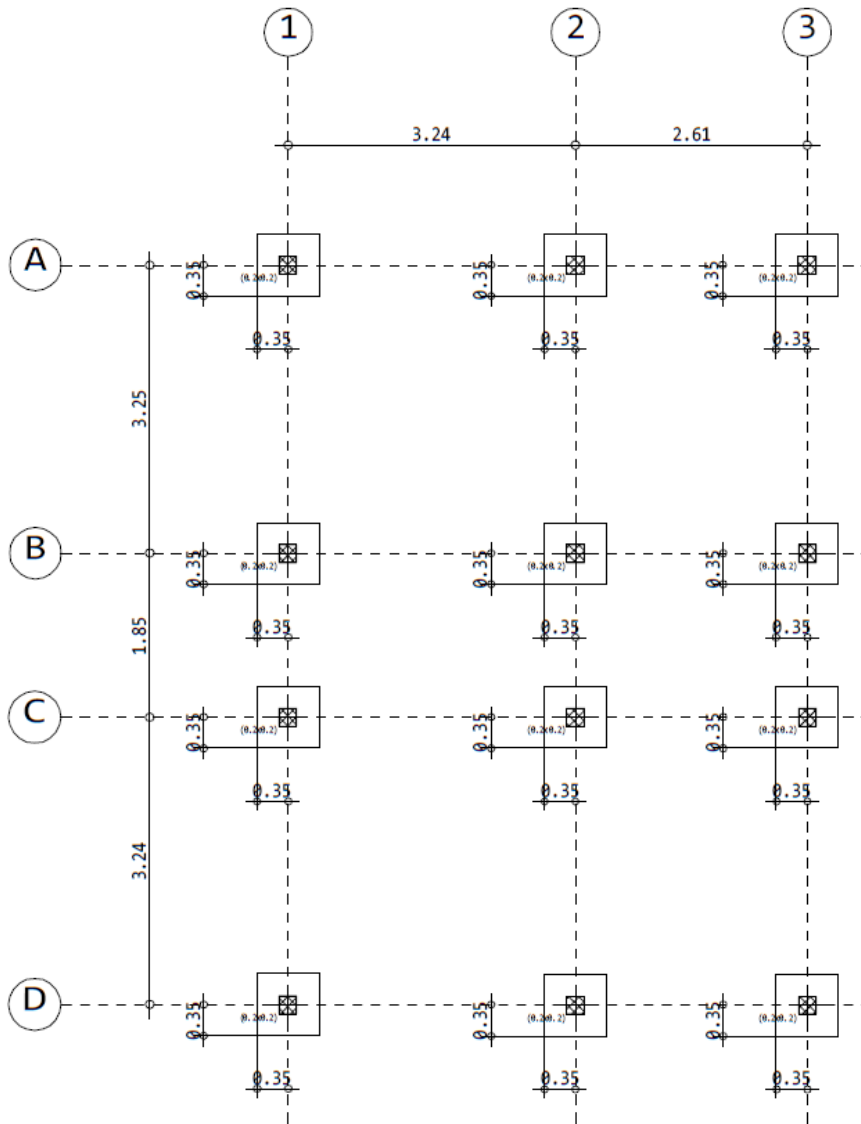
## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. T. (1999). **Dissertação. Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Paulo, São Carlos: Universidade de São Paulo.
- ARAÚJO, J. M. (2014). **Concurso de concreto armado**. Rio de Janeiro.
- Bastos, P. S. (2015). **Lajes em concreto, notas de aula**. São Paulo: UNESP.
- BORJA, E. V. (20 de Fevereiro de 2016). Obtido de docente.ifrn: Consultado aos 15 de Fevereiro de 2021. Disponível em <http://docente.ifrn.edu.br/edilbertoborja/construcoes-em-concreto-armado>
- BOTELHO, M. H., & MARCHETTI, O. (2002). **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgar Blucher.
- BOTELHO, M. H., & MARCHETTI, O. (2008). **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Blucher.
- BRANDALISE, M. G., & WESSLING, I. L. (2015). **Trabalho de Conclusão do Curso. Estudo comparativo de custos da laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios até quatro pavimentos**. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- CARVALHO, R. C., & FILHO, J. R. (2014). **Concreto Armado**. Brasil: EDUFScar.
- CONDOR. (Março de 2021). **Quantificação e orçamento da Lajes Aligeiradas**. (Autor, Entrevistador)
- FIGUEIREDO, E. (27 de Janeiro de 2021). **O que é laje aligeirada?** Lisboa, Lisboa, Portugal.
- GIL, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas .
- JOAQUIM, M. (2016). *scribd*. Consultado aos 15 de Fevereiro de 2021 disponível em <http://pt.scribd.com/document/2-lajes-aligeiradas-2016-rev-pdf>
- LOPES, A. F. (2012). **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e. TCC (Graduação)**. Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco.

- MARCONI, M. d., & LAKATOS, E. M. (2003). **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas.
- MOREIRA, D., & MARCO, G. (2016). *Vantagens e Desvantagens da Utilização de Blocos*. São Paulo: UNIARA.
- **Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP)**. (2014). Porto: Porto Editora.
- RSA. (s.d.). **Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes**. Porto: Porto Editora.
- SANTOS, R. E. (2006). **A cultura do concreto armado no brasil: educação e deseducação**. Consultado aos 20 de Fevereiro de 2021. Disponível em [http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05\\_biblioteca/acervo/santos\\_cultura/santos\\_cultura.htm](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05_biblioteca/acervo/santos_cultura/santos_cultura.htm).
- SILVA, L. P. (2010). **trabalho de diplomação. estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre os apoios**. Rio de Janeiro, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, V. C., & CUNHA, A. J. (1994). **Lajes em concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro: Eduff.
- VASCONCELLOS, J. C. (2004). **Concreto armado:Arquitetura moderna, escola carioca**. Rio de Janeiro: Propar.

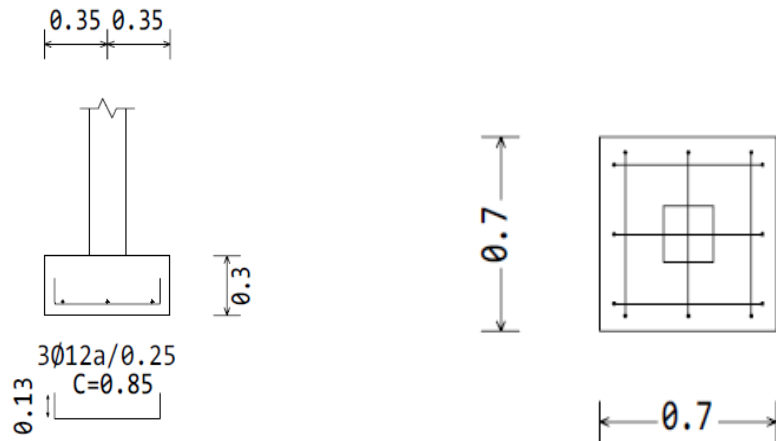
# APÊNDICES

Apêndice 1: Planta de Fundação



Apêndice 2: Pormenores de Fundação

P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 e P12

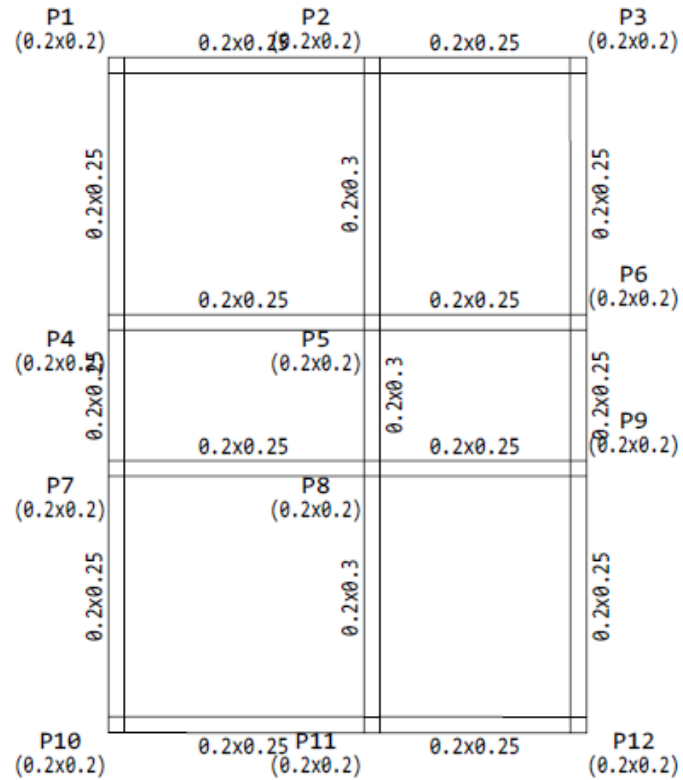


Apêndice 3: Resumo Aço, pilares e fundação

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Pavimento Térreo (0.00)			
Pormenor fundação			
A400 Ø6	26.6	7	
Ø12	107.3	105	112

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Pavimento Térreo (3.15)			
Pilares			
A400 Ø6	265.4	65	
Ø12	238.1	233	298

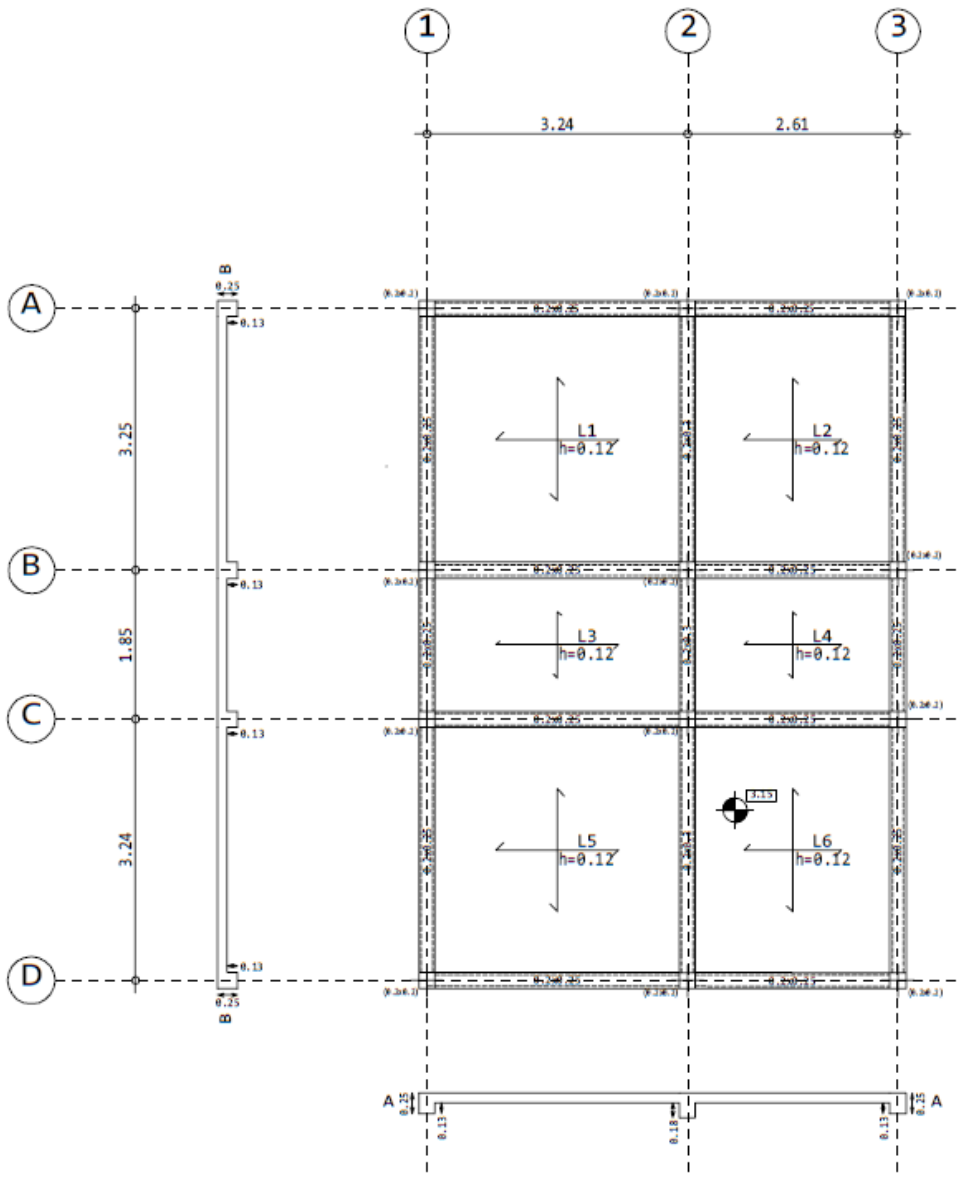
Apêndice 4: Desenho de Vigas



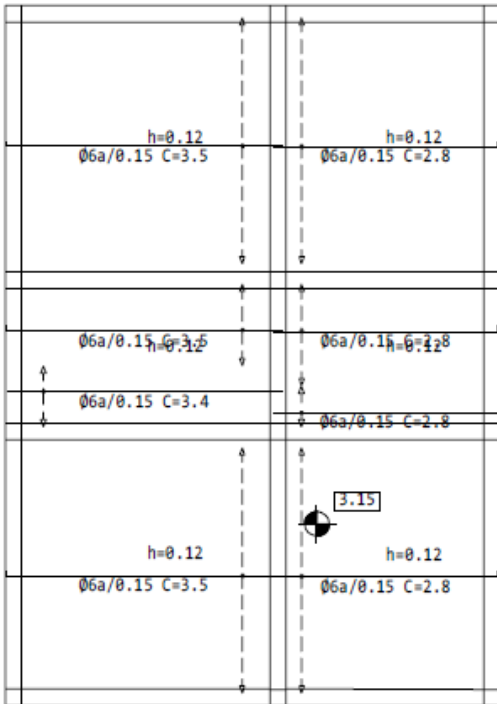
Apêndice 5: Resumo Aço de Vigas

Resumo Aço Pavimento Térreo (3.15) Vigas		Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
A400	Ø6	216.9	53	224
	Ø10	231.5	157	
	Ø12	14.7	14	

Apêndice 6: Painéis da Laje Maciça



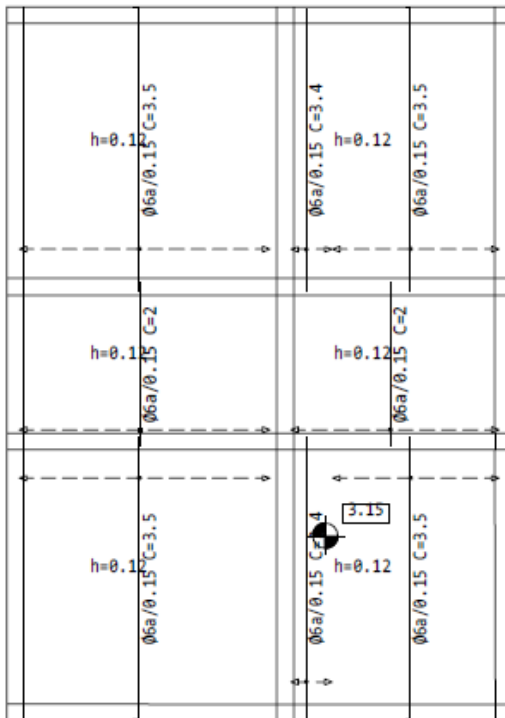
Apêndice 7: Armadura Longitudinal Inferior



Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
Pavimento Térreo (3.15) Armadura longitudinal inferior		
A400 Ø6	329.9	81

Pavimento Térreo (3.15)  
Armadura longitudinal inferior  
Betão: B25 (C20/25)  
A400  
Escala: 1:100

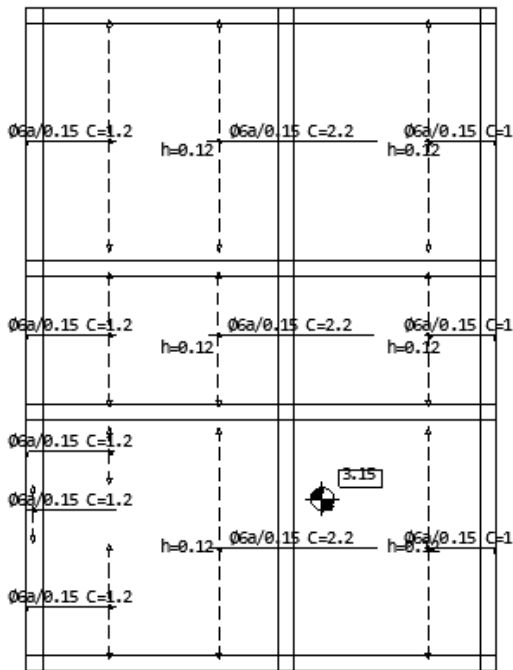
Apêndice 8: Armadura Transversal Inferior



Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
Pavimento Térreo (3.15) Armadura transversal inferior		
A400 Ø6	339.2	83

Pavimento Térreo (3.15)  
Armadura transversal inferior  
Betão: B25 (C20/25)  
A400  
Escala: 1:100

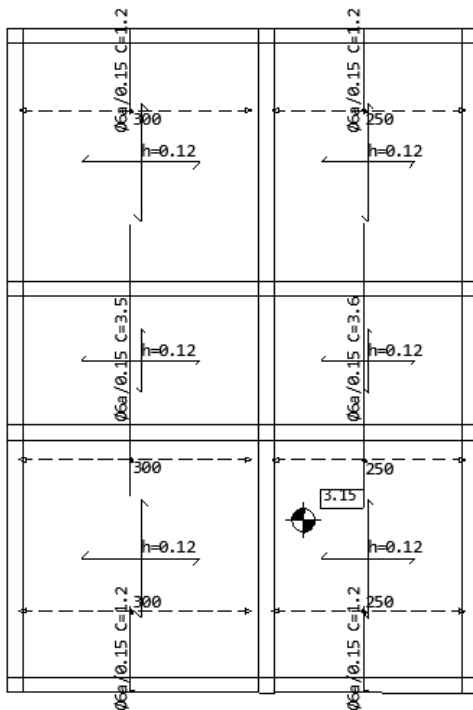
Apêndice 9: Armadura Longitudinal Superior



Pavimento Térreo (3.15)  
 Armadura longitudinal superior  
 Betão: B25 (C20/25)  
 A400  
 Escala: 1:100

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
Pavimento Térreo (3.15) Armadura longitudinal superior		
A400	Ø6	228.8

Apêndice 10: Armadura Transversal Superior



Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)
Pavimento Térreo (3.15) Armadura transversal superior		
A400	Ø6	220.0

Armadura transversal superior  
 Betão: B25 (C20/25)  
 A400  
 Escala: 1:100