

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEONARDO FELIPE DE SOUSA**

**RICARDO XAVIER DA SILVA NETO**

**ANÁLISE GLOBAL DE ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS  
PROJETADAS UTILIZANDO LAJES PRÉ-FABRICADAS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2021**

**LEONARDO FELIPE DE SOUSA  
RICARDO XAVIER DA SILVA NETO**

**ANÁLISE GLOBAL DE ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS  
PROJETADAS UTILIZANDO LAJES PRÉ-FABRICADAS**

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

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO  
DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, Leonardo Felipe De/ NETO, Ricardo Xavier Da Silva

Análise Global De Estabilidade De Estruturas Projetadas Utilizando Lajes Pré-Fabricadas

68P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Laje Pré-fabricada

2. Estabilidade

3. Construção Civil

4. Dimensionamento

I. ENC/UNI

II. Bacharel

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, Leonardo Felipe De; NETO, Ricardo Xavier Da Silva. Análise Global De Estabilidade De Estruturas Projetadas Utilizando Lajes Pré-Fabricadas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 68p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leonardo Felipe de Sousa

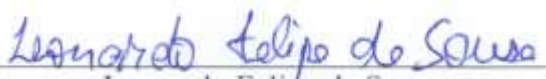
Ricardo Xavier da Silva Neto

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise Global De Estabilidade De Estruturas Projetadas Utilizando Lajes Pré-Fabricadas

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

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



Leonardo Felipe de Sousa

E-mail: leofelipesou@gmail.com



Ricardo Xavier da Silva Neto

E-mail: ricardoxavierneto@gmail.com

**LEONARDO FELIPE DE SOUSA  
RICARDO XAVIER DA SILVA NETO**

**ANÁLISE GLOBAL DE ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS  
PROJETADAS UTILIZANDO LAJES PRÉ-FABRICADAS**

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

**APROVADO POR:**



---

**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre  
(UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADOR)**



---

**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



---

**ANDERSON DUTRA E SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 DE NOVEMBRO de 2021.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Senhor Deus pelo dom da vida e por me capacitar durante todo o período de graduação, e dedico à Ele, que é digno de toda honra, glória e louvor, este trabalho. Sou grato ao meu amigo e colega de profissão Ricardo Xavier, com quem produzi este trabalho de conclusão de curso. Dedico também aos meus pais, Rander e Alessandra, que sempre me impulsionaram em prosseguir lutando dia após dia para realizar o sonho da graduação em engenharia civil.

Ao professor Agnaldo Antônio, pela condução na orientação deste trabalho de conclusão de curso.

Por fim, sou grato aos meus familiares e amigos, em especial alguns como: Pedro Poli, Matheus Mariano, Thalita Poli, Agno Carvalho e João Henrique, pelos incentivos dioturnos para o meu prosseguimento e conclusão deste curso. Peço ao Senhor que abençoe ricamente a cada um destes.

Leonardo Felipe de Sousa

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar essa grande oportunidade de fazer um curso superior, e pela força que me deu durante toda essa longa caminhada, sem Ele não seria possível tal conquista.

Ao meu amigo Leonardo Felipe, que desde o início esteve presente nas várias fases da nossa formação acadêmica, sendo um grande parceiro em todos esses momentos.

Aos meus pais, que me incentivaram, apoiaram e participaram desses momentos.

Ao professor Agnaldo Antônio, pela excelente orientação e ajuda no desenvolvimento deste presente trabalho.

E por fim, a todos que estiveram presentes, ajudando de alguma forma, dando ideias e até incentivando, sou grato a todos.

Ricardo Xavier da Silva Neto

## RESUMO

Em virtude do avanço tecnológico, muitas atividades no campo da construção civil obtiveram melhorias, tanto em viés econômico como estrutural, sendo o ramo de estruturas altas e esbeltas um dos mais beneficiados, por conta dos estudos em novas formas de garantia da estabilidade estrutural para estas edificações cada vez mais comuns em todo o mundo. Desta forma, ao se analisar o modelo de laje comumente utilizada no Brasil (maciça) com relação às lajes treliçadas, é possível estabelecer uma relação comparativa para verificar os pontos positivos de cada uma para o modelo de edificação supracitado.

Em posse das informações acima, este trabalho apresenta uma comparação estrutural e, por consequência, financeira dos benefícios do uso de lajes treliçadas em relação às lajes maciças, tais como: agilidade no processo construtivo, economia global de mão de obra e também de material. Para chegar aos resultados da influência da pré-fabricada na estabilidade estrutural, realizou-se o dimensionamento de uma edificação com laje maciça e uma com laje pré-fabricada, além do comparativo dos parâmetros de estabilidade e a influência do segundo modelo de laje na estrutura.

Inicialmente foram apresentados os tipos de lajes mais utilizados na construção civil e, em seguida, as especificações normativas relativas ao modelo pré-fabricado e, posteriormente, os parâmetros de instabilidade utilizados pelo *software*: Alfa e Gama-Z. Para efeito comparativo, foi projetada uma edificação com 15 pavimentos com o intuito de analisar o impacto estrutural global de cada um dos dois tipos de laje em estudo, e foram desenvolvidos cálculos com o auxílio do *software* estrutural Eberick, da empresa AltoQi, a fim de validar os benefícios do uso das lajes treliçadas.

Ao ser realizada uma comparação direta entre os benefícios e malefícios do uso de lajes treliçadas em relação ao modelo de laje maciça, é possível perceber uma economia de aproximadamente 23,4% no consumo de concreto em metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Além disso, através dos parâmetros de estabilidade utilizados, foi constatado um significativo aumento de estabilidade estrutural através do uso de lajes treliçadas na estrutura da edificação.

**PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade Global, Estruturas, Laje Treliçada, Análise Estrutural**

## ABSTRACT

Due to technological advances, many activities in the field of civil construction have improved, both in economic and structural terms, with the branch of tall and slender structures being one of the most benefited, due to studies in new ways to guarantee structural stability for these buildings increasingly common throughout the world. Thus, when analyzing the slab model commonly used in Brazil (solid) in relation to the trussed slabs, it is possible to establish a comparative relationship to verify the strengths of each for the aforementioned building model. In possession of the above information, this work presents a structural and, consequently, a financial comparison of the benefits of using trussed slabs in relation to solid slabs, such as: agility in the construction process, global economy of labor and material. To arrive at the results of the influence of precast on structural stability, a building with solid slab and one with precast slab was dimensioned, in addition to comparing the stability parameters and the influence of the second slab model on the structure.

Initially, the types of slabs most used in civil construction were presented, followed by the normative specifications related to the prefabricated model and, later, the instability parameters used by the software: Alpha and Gama-Z. For comparative purposes, a building with 10 floors was designed in order to analyze the global structural impact of each of the two types of slab under study, and calculations were developed with the aid of the structural software Eberick, from the company AltoQi, in order to validate the benefits of using trussed slabs.

When a direct comparison is made between the benefits and harms of using trussed slabs in relation to the solid slab model, it is possible to see savings of approximately 23.4% in concrete consumption in cubic meters (m<sup>3</sup>). Furthermore, through the stability parameters used, a significant increase in structural stability was found through the use of trussed slabs in the building structure.

**KEYWORDS: Global Stability, Structures, Lattice Slab, Structural Analysis**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática de componentes de uma laje convencional maciça ....	19
Figura 2 - Lajes cogumelo .....	20
Figura 3 - Detalhes construtivos de lajes – laje protendida.....	21
Figura 4 - Laje treliçada painel (largura 25 cm) – enchimento em concreto.....	22
Figura 5 - Corte esquemático laje alveolar .....	23
Figura 6 - Capa de concreto executada sobre painéis alveolares .....	24
Figura 7 - Laje nervurada representada no Sketchup.....	25
Figura 8 - Seções transversais de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas e elementos de enchimento empregados. ....	28
Figura 9 - Vigota de concreto armado .....	29
Figura 10 - Vigota com armadura protendida .....	30
Figura 11 - Seção típica armadura treliçada .....	31
Figura 12 - Perspectiva armadura treliçada .....	31
Figura 13 - Vigota treliçada.....	33
Figura 14 - Mini painél treliçado.....	34
Figura 15 - Painél treliçado .....	35
Figura 16 - Lajota cerâmica.....	36
Figura 17 - Lajota EPS.....	37
Figura 18 - Escoramento de madeira .....	38
Figura 19 - Condição de içamento das lajes treliçadas .....	38
Figura 20 - Montagem dos trillhos e lajotas cerâmicas .....	39
Figura 21 - Nervura de travamento .....	40
Figura 22 - Planta baixa pavimento tipo.....	42
Figura 23 - Método por área de influência .....	44
Figura 24 – Estrutura de nós móveis.....	45
Figura 25 – Estrutura de nós fixos .....	46
Figura 26 – Empresa AltoQi.....	48
Figura 27 – <i>Software</i> Estrutural Eberick V8 .....	49
Figura 28 – Configuração de vento.....	50
Figura 29 - Lançamento estrutural com laje maciça.....	52
Figura 30 – Estrutura genérica .....	53
Figura 31 – Laje armada na maior direção .....	54

Figura 32 – Deslocamentos da laje armada na maior direção .....	54
Figura 33 - Laje armada na menor direção.....	55
Figura 34 - Deslocamentos da laje armada na menor direção.....	55
Figura 35 - Lançamento estrutural com laje treliçada .....	57
Figura 36 - Visão 3D do edifício.....	58
Figura 37 - Análise da laje maciça.....	59
Figura 38 - Análise laje treliçada .....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aço para utilização em lajes pré-fabricadas.....	26
Quadro 2 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota comum VC .....	29
Quadro 3 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota protendida VP.....	30
Quadro 4 - Dimensões nominais e tolerâncias armaduras treliçadas.....	32
Quadro 5 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota treliçada VT .....	33
Quadro 6 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para mini painéis treliçados MPT .....	34
Quadro 7 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para painéis treliçados PT .....	35
Quadro 8 – Seção dos Pilares .....	51
Quadro 9 – Seção das vigas.....	51
Quadro 10 – Análise para diferentes Fck's para laje maciça .....	62
Quadro 11 – Análise para diferentes Fck's para laje treliçada.....	63

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Altura total das lajes.....	40
Tabela 2 – Cargas atuantes .....	50
Tabela 3 – Esforços atuantes laje maciça .....	60
Tabela 4 - Esforços atuantes laje treliçada .....	61
Tabela 5 - Volume de concreto necessário.....	61
Tabela 6 - Valores do parâmetro $\alpha$ .....	61
Tabela 7 - Valores do parâmetro $\gamma_z$ .....	62

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CAA	Classe de Agressividade Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
1.3 METODOLOGIA .....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 LAJE .....	18
2.2 TIPOS DE LAJE .....	18
<b>2.2.1 Lajes Maciças</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.2 Lajes Protendidas</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.3 Lajes Treliçadas</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.4 Lajes Alveolares</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.5 Lajes Nervuradas</b> .....	<b>24</b>
2.3 LAJE PRÉ-FABRICADA .....	25
<b>2.3.1 Concreto</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.2 Aço</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3.3 Cobrimento e Espaçadores</b> .....	<b>27</b>
2.4 CARACTERÍSTICAS .....	27
<b>2.4.1 Elementos</b> .....	<b>27</b>
2.4.1.1 Vigotas .....	28
2.4.1.1.1 <i>Vigota com armadura simples ou comum (VC)</i> .....	29
2.4.1.1.2 <i>Vigota com armadura protendida (VP)</i> .....	30
2.4.1.1.3 <i>Vigota com armadura treliçada (VT)</i> .....	31
2.4.1.1.4 <i>Mini painél treliçado (MPT)</i> .....	33
2.4.1.1.5 <i>Painél treliçado (PT)</i> .....	34
2.4.1.2 Elementos de enchimento .....	35
2.4.1.2.1 <i>Lajota cerâmica</i> .....	36
2.4.1.2.2 <i>Lajota de EPS</i> .....	36
<b>2.4.2 Execução</b> .....	<b>37</b>
2.4.2.1 Escoramentos .....	37

2.4.2.2	Posicionamento das vigotas e elementos de enchimento .....	38
2.4.2.3	Nervuras Transversais .....	39
2.4.2.4	Armadura complementar.....	40
2.4.2.5	Concretagem .....	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
3.1	PROJETO ARQUITETÔNICO .....	42
3.2	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	43
<b>3.2.1</b>	<b>Pré-dimensionamento .....</b>	<b>43</b>
3.2.1.1	Pilares .....	43
3.2.1.2	Vigas.....	44
3.2.1.3	Lajes .....	45
3.3	PARÂMETROS DE ESTABILIDADE .....	45
<b>3.3.1</b>	<b>Parâmetro <math>\alpha</math>.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Coefficiente gama-z .....</b>	<b>47</b>
3.4	SOFTWARE ESTRUTURAL.....	48
<b>3.4.1</b>	<b>Estrutura com laje maciça .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Estrutura com laje treliçada .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Estrutura tridimensional.....</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>59</b>
4.1	LAJE MACIÇA .....	59
4.2	LAJE TRELIÇADA .....	60
4.3	COMPARATIVO ENTRE LAJES .....	61
4.4	ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE TRELIÇADA .....	63
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No atual contexto em que se insere o campo da construção civil, permeado pelo progresso tecnológico que proporciona (através de softwares avançados) projetos estruturais precisos e produção de materiais mais vistosos e com grande aplicabilidade, as edificações verticais, sejam condomínios residenciais ou prédios empresariais, estão gradativamente se tornando mais altas e esbeltas. Desde a construção do extinto Equitable Life Building, com 8 andares, inaugurado no ano de 1870 em Nova York, cidade com mais de 6.000 prédios atualmente, passando por obras como o Edifício Martinelli no Brasil, até chegar ao imponente emiradense Burj Khalifa, detentor de 163 andares e o recorde mundial em altura (828 metros) de um arranha-céu, a necessidade de compreensão das variadas formas de se projetar e calcular as estruturas, bem como dos materiais a serem utilizados na obra, é de vital importância para a manutenção segura e duradoura das edificações.

Com o advento de projetos arquitetônicos luxuosos para a execução de edifícios, o principal desafio na modernidade construtiva é realizar prédios com alturas acima de 500 metros, larguras gradualmente menores e conciliar seu perfeito uso em plena segurança com a estabilidade estrutural sob a ação de forças próprias e externas, como ventos e chuvas. Apesar de certas localidades estarem reféns de fenômenos naturais característicos, como os terremotos do Chile e do Japão, que levam as cidades a investirem em engenharia anti-sísmica (CONSTRU360°, 2016), a maioria dos locais revela ter uma solução simples para a incômoda incógnita que pode ser a estrutura: tudo deve ser previsto por cálculos, ensaios e verificações normativas pelo engenheiro estrutural responsável.

Algumas situações devem ser consideradas, visto que não se caracterizam exatamente como falhas estruturais, mas como problemas de conforto e bem-estar de seus usuários. Um bom exemplo é o que acontece com o edifício de alto padrão Millenium Palace, em Balneário Camboriú, Santa Catarina. O edifício de 177,3 metros de altura e 46 andares sofre com deslocamentos horizontais quando está sob efeito de fortes ventos frontais e é possível ver a água da piscina balançar de tal forma que transborda. Segundo engenheiros especialistas, a estrutura trabalha em condições normais e suporta ventos muito fortes (DOMINGOS, 2018). Entretanto, há casos onde a falta de estabilidade põe em risco a vida de seus usuários, como foi o caso da ponte de Tacoma Narrows, localizada em Washington – EUA, que colapsou apenas



quatro meses após sua inauguração em 1 de julho de 1940, devido a fortes ventos que incidiram contra a estrutura. Ela não possuía rigidez transversal e torcional por conta de sua estrutura, que havia sido alterada em seu projeto original por conta do seu alto custo (CAVALCANTI, 2015). O estudo da estabilidade nas estruturas vem justamente para prever e evitar prejuízos e/ou catástrofes ainda na fase de projeto, sendo talvez o fator mais importante a ser considerado.

Para evitar a ocorrência de casos como os supracitados, que causam dissabores por: onerar a obra, não a entregar conforme o projeto apresentado e até mesmo por ocasionar fatalidades; é preciso que a estabilidade final da construção, já em plena condição de uso, esteja em acordo com o projeto estrutural em todas as suas especificações. Da fundação, passando pelas armações, vigas, pilares e demais componentes, toda a estrutura deve garantir funcionalidade e conforto aos moradores. Por ser parte integrante e vital de qualquer construção, as lajes têm grande importância na estabilidade e resistência da estrutura, pois elas trabalham juntamente com os demais elementos estruturais formando um conjunto capaz de suportar as cargas segundo projeto. São responsáveis por suportar inicialmente as cargas provenientes da utilização da estrutura como por exemplo móveis e eletrodomésticos (quando a laje é dimensionada para piso), ou telhados e coberturas (quando dimensionadas para forro). Com isso, a escolha do tipo a ser utilizado na edificação de grandes obras, como os arranha-céus, tem grande interferência na concepção estrutural.

Desde os anos 60, quando o modelo pré-moldado chegou ao Brasil, vários estudos foram feitos e, com o passar das décadas, NBR's (Normas Brasileiras) como a NBR 14859-1 de 2016 - Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos, e a NBR 9062 de 2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, foram criadas para regulamentar a fabricação e a utilização deste material. O emprego de laje pré-fabricadas oferece uma gama de vantagens, seja no âmbito financeiro ou no estrutural. Dentre elas, está a rapidez de execução, acelerando o processo da chegada na obra até a concretagem. Além disso, a possibilidade de vencer grandes vãos e a diminuição do peso próprio da laje são fatores que oferecem uma estrutura adequada aos projetos arquitetônicos mais modernos e robustos, que exigem maiores espaços abertos nos primeiros pavimentos do prédio (PEREIRA, 2019). Em vista das considerações feitas, este artigo traz, através da metodologia adotada, comprovações da influência direta e positiva de lajes pré-moldadas na estabilidade de estruturas para os edifícios de grande porte.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido à alta demanda e a necessidade de obras mais rápidas, as lajes pré-fabricadas vêm se destacando por agilizar o processo construtivo e economia para obra como um todo, vista a importância de seu estudo e correta fabricação, manuseio e montagem, garantindo segurança e qualidade.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 **Objetivo geral**

Avaliar a influência da laje pré-fabricada na estabilidade global da estrutura.

### 1.2.2 **Objetivos específicos**

- Realizar o dimensionamento de um edifício usando lajes maciças;
- Realizar o dimensionamento de um edifício usando lajes pré-fabricadas;
- Realizar comparativo entre parâmetros de estabilidade;
- Avaliar impacto do uso da laje pré-fabricada.

## 1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho está dividido em duas etapas: a primeira consiste em realizar o estudo bibliográfico acerca do tema. Em seguida, foi realizado um estudo de caso que consiste em projetar uma edificação com 15 pavimentos, verificando a influência do tipo de laje na estabilidade global do prédio. Após a realização do estudo, foi realizada, por fim, uma análise comparativa de estabilidade e economia da edificação em função do tipo de laje adotado.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 foi apresentada a introdução do trabalho, destacando a importância do tema para a sociedade de engenheiros civis.

No capítulo 2 foi realizado um levantamento bibliográfico, buscando as principais referências sobre o tema.

No capítulo 3 apresentou-se o projeto a ser estudado, bem como suas características mais importantes, as etapas de análise em software para cada tipo de laje serão apresentadas.

No capítulo 4 foi feito o estudo comparativo de estabilidade e avaliação econômica e por fim, apresentar-se-ão as principais conclusões obtidas através do presente trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 LAJE

A laje é um dos principais elementos estruturais de uma edificação, sendo responsável por transmitir as ações de peso e pressão para as vigas (MAPA DA OBRA, 2021). De acordo com a NBR 6118 (2014), lajes ou placas, são elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano.

Ainda pela NBR 6118 (2014) – 14.6.6.4 - Estrutura de contraventamento lateral, a laje de um pavimento pode ser considerada uma chapa totalmente rígida em seu plano, desde que não apresente grandes aberturas e se o lado maior do retângulo circunscrito ao pavimento em planta não superar em três vezes o lado menor.

Outras definições são aplicadas no âmbito conceitual das placas ou lajes. Uma dessas, define como sendo estruturas que realizam a interface entre pavimentos de uma edificação, podendo dar suporte a contrapisos ou funcionar como teto. Geralmente, apoiam-se em vigas, que por sua vez, apoiam-se em pilares e realizam a distribuição adequada da carga da edificação. Sua concepção estrutural é de uma placa em que duas dimensões (comprimento e largura) são muito superiores à terceira, que é a espessura, com cargas transversais a ela e submetida à flexão (CAIO PEREIRA, 2019).

Podem ser definidas também por serem elementos planos das edificações (horizontais ou inclinadas), de estrutura monolítica e de altura relativamente pequena e que são caracterizadas por duas dimensões: sua largura e seu comprimento, predominantes em relação a sua altura e servem para separar os diversos pisos de um edifício (DI PIETRO, 2000).

Com tal gama de definições dispostas na conceituação das lajes, é necessário apresentar também os variados tipos deste elemento estrutural que podem ser encontrados no campo da construção civil, servindo ao fator arquitetônico e ao construtivo/calculista sincronicamente.

### 2.2 TIPOS DE LAJE

As lajes podem ser fabricadas com diversos materiais e modelos, sendo definidas para cada obra de acordo com a necessidade, o orçamento e as especificações de projeto estrutural

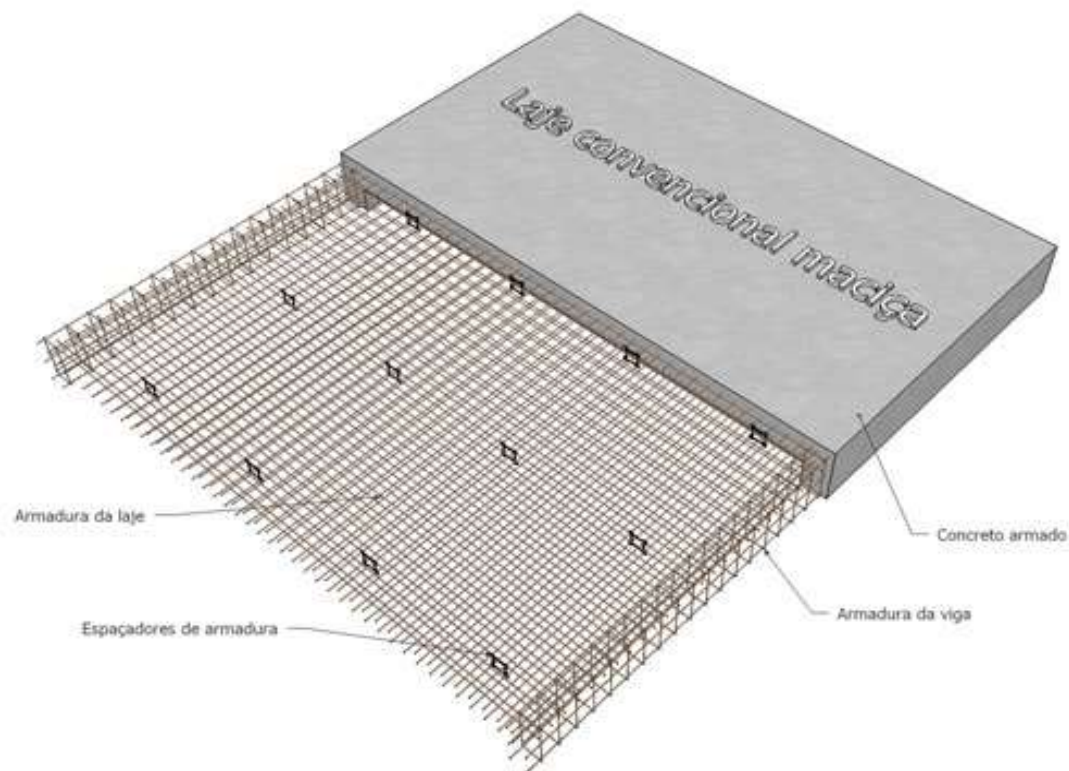
consideradas, tendo cinco tipos básicos: as protendidas, as treliçadas, as maciças, as nervuradas e as pré-moldadas. Dentro destas categorias há vários modelos, como os que seguem abaixo.

### 2.2.1 Lajes Maciças

Este modelo é moldado no local (*in loco*), sendo de fácil execução e não necessita de uma espessura elevada para atingir a resistência requisitada pelos esforços que são colocados sobre a laje.

Segundo Paulo Sérgio Bastos (2021), laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas, mostrado na Figura 1. Lajes com uma ou mais bordas livres são casos particulares de lajes maciças. As lajes podem ser de Concreto Armado ou de Concreto Protendido – 2.2.2.

**Figura 1 - Representação esquemática de componentes de uma laje convencional maciça**

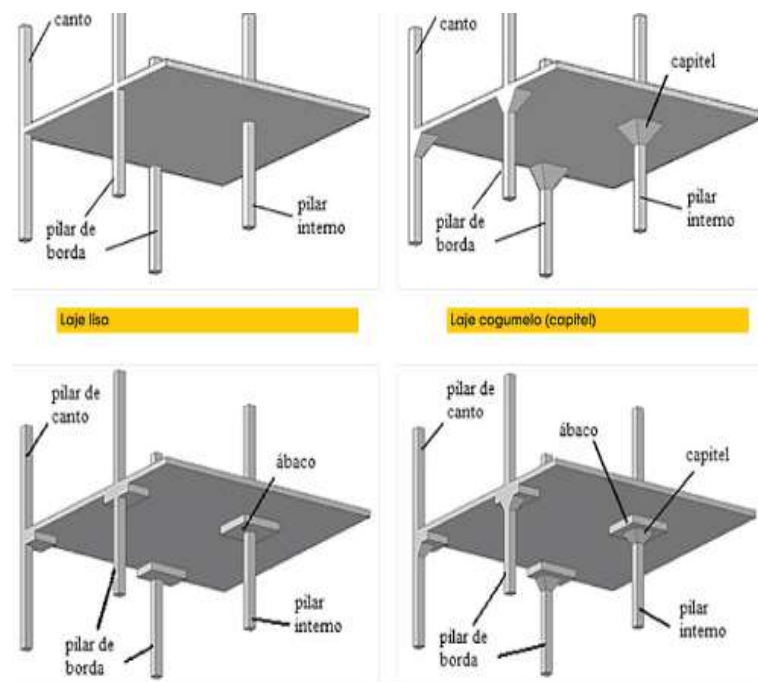


Fonte: JULIANO VASCONCELLOS, 2012

Dentre os variados modelos de lajes caracterizadas como maciças, existem a laje cogumelo e a laje lisa, conforme Figura 2, cuja diferença básica, segundo a NBR 6118 (2014), é que lajes cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis. Capitel nada mais é do que um alargamento da cabeça do pilar na região de contato com a laje cogumelo, feito para aumentar a resistência no local de contato pilar-laje.

Tendo em vista a caracterização deste modelo de laje, é importante frisar que este é o mais utilizado no Brasil, visto que, ao longo dos anos, seu uso foi disseminado sobremaneira, apesar dos altos custos gerados com madeiras para forma, com concreto e com o aço que compõe a malha.

**Figura 2 - Lajes cogumelo**



*Fonte: Estruturas.UFPR*

Apesar de ser o método convencional mais utilizado, há algumas desvantagens quanto a sua viabilidade como por exemplo: geração de mais resíduos, acarretando maior desperdício (principalmente de fôrmas de madeira); consumo maior de concreto, aumentando o tempo de cura da laje (MAPA DA OBRA, 2013).

### 2.2.2 Lajes Protendidas

Por definição, a laje protendida é um tipo de laje que faz uso da técnica construtiva do concreto protendido. sua principal função é aumentar a resistência do concreto, permitindo o seu uso em espaços com grandes vãos (CAIO PEREIRA, 2021). A armadura deste tipo de laje é chamada de armadura ativa ou armadura de protensão, e tem suas definições e parâmetros baseados principalmente nas normas NBR 6118 e NBR 14931, e é definida através da NBR 7197 (1989) como aquela constituída por barras ou fios isolados, por cordões (cordoalhas) formados por fios enrolados ou por feixes compostos, ou por fios, ou cordões paralelos, conforme Figura 3. Estes fios, barras ou cordoalhas são tensionados com uso de maquinário (geralmente é feito com macaco hidráulico) fazendo com que haja força de tração momentânea no aço e, assim, uma maior compressão exercida sobre o concreto. Além do aumento da resistência supracitado, esta técnica evita que fissuras ocorram, sendo de grande utilidade. Em complemento, esse tipo de laje é encontrado nos tipos maciço, nervurado e alveolar, o que o faz servir para muitos tipos de projetos que necessitam conciliar um dos três modelos ao uso em grandes vãos. Em contrapartida, a mão de obra especializada necessária para a aplicação da protensão pode ser onerosa à obra, quando comparada a modelos como o pré-moldado.

**Figura 3 - Detalhes construtivos de lajes – laje protendida**



Fonte: Internet - Araujo Lopes Engenharia, 2018

### 2.2.3 Lajes Treliçadas

As lajes treliçadas são, em seu conceito básico, um tipo de laje pré-moldada composto por vigotas de concreto armado com uma estrutura de treliça como armadura. Nos vãos entre esta estrutura, utiliza-se algum material de preenchimento como poliestireno expandido (EPS) ou blocos cerâmicos (CAIO PEREIRA, 2021). As estruturas de vigotas treliçadas podem ser unidirecionais ou bidirecionais dependendo de sua concepção, com espessuras entre doze e trinta centímetros, vencendo vãos com mais de dez metros caso o projeto estrutural esteja bem dimensionado e os fatores diretamente atuantes, como a carga recebida, por exemplo, permitam.

Este modelo de laje é comumente utilizado em virtude de seus benefícios estruturais e arquitetônicos, como melhoria no desempenho térmico e acústico, pelo uso de peças EPS. Além disso, proporciona uma economia em gastos com escoras e não necessita de mão de obra especializada para sua execução.

O modelo obedece diretamente a NBR 6118, mas também está subordinado a outras normas nacionais como a NBR 14859, dentre várias outras que direcionam e definem a correta execução da laje que consiste em uma estrutura de ferro em formato de treliça, que compõe uma armadura que é fixa em uma placa de concreto, mostrado na Figura 4 (MANTURI PRÉ-FABRICADOS, 2020).

**Figura 4 - Laje treliçada painel (largura 25 cm) – enchimento em concreto**



*Fonte: Lajes Hertel*

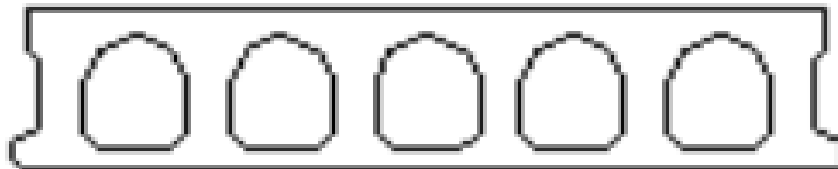


#### 2.2.4 Lajes Alveolares

Regida pelas NBR 6118 (2014) e NBR 14861 (2002) – Laje pré-fabricada – Painel alveolar de concreto protendido - Requisitos, as lajes do tipo alveolar constituem um tipo de cobertura composta de painéis de concreto com alvéolos longitudinais, de dimensões pré-definidas em projeto, sem a necessidade de escoramentos (MAPA DA OBRA, 2013).

Segundo a NBR 14861 (2002), as lajes tipo painel alveolar protendido são definidas como o conjunto formado por painéis alveolares protendidos pré-fabricados, montados por justaposição lateral, eventual capa de concreto estrutural e material de rejuntamento conforme Figura 6. Já os painéis componentes, são identificados, ainda segundo a norma supracitada, como PACP, são peças de concreto produzidas industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigorosas condições de controle de qualidade, conforme a NBR 9062. São caracterizados por armadura longitudinal ativa e seção alveolar, definindo almas de concreto, conforme Figura 5. Englobam totalmente a armadura inferior de tração necessária; o cobrimento da armadura deve obedecer ao prescrito na NBR 9062.

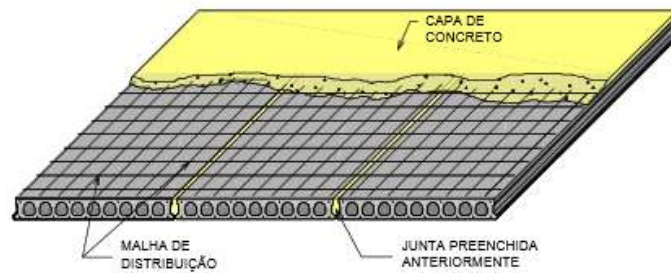
**Figura 5 - Corte esquemático laje alveolar**



*Fonte: ABNT NBR 14861,2002*

A laje alveolar proporciona uma economia de tempo bastante relevante em relação aos outros modelos, colocando o modelo como uma das melhores opções para obras que necessitam agilidade na montagem estrutural. Em contrapartida, por conta do tamanho das peças e sua produção, o cronograma de entrega de material pode, por vezes, ficar comprometido, anulando assim a vantagem de uma rápida montagem.

**Figura 6 - Capa de concreto executada sobre painéis alveolares**



Fonte: TATU

### 2.2.5 Lajes Nervuradas

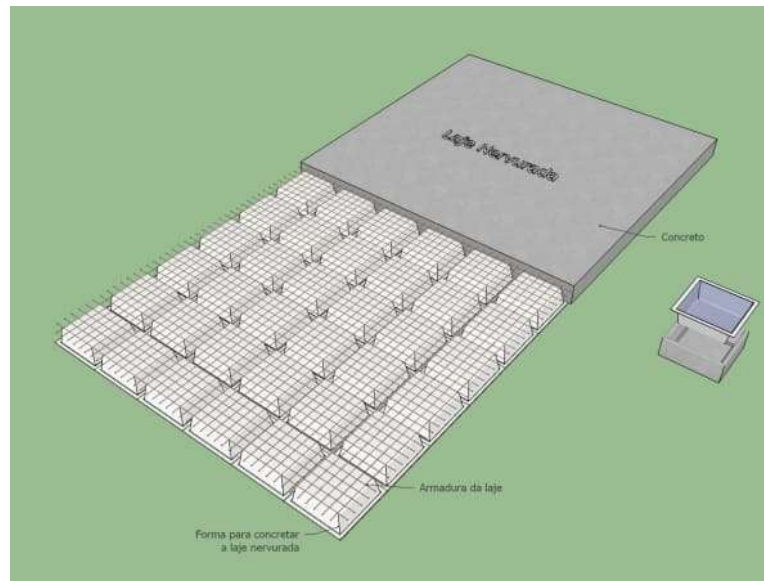
Conforme a NBR 6118 (2014), lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

As lajes podem ser tanto pré-moldadas como moldadas *in loco*. As que são realizadas no local da obra geralmente são feitas com o uso de cubetas ou cabaças plásticas de polipropileno mostradas na Figura 7. O modelo pré-moldado faz uso de cerâmica ou isopor para a realização das nervuras.

Além do tipo de moldagem, as lajes nervuradas também podem ser de dois tipos quanto à distribuição dos esforços, para lajes com um formato mais quadrado, com nervuras ortogonais, a distribuição dos esforços acontece de forma bidirecional. Nesse caso, predominam as fôrmas quadradas, sejam moldadas *in loco* ou previamente. Esse tipo de laje pode ser executado com o uso de fôrmas unidirecionais moldadas na obra ou com as chamadas treliçadas. Nesse caso, os esforços são distribuídos de forma basicamente unidirecional (ATEX, 2017).

As lajes nervuradas permitem o reaproveitamento de material quando o modelo é moldado no local, além de possibilitarem uma flexibilidade para a estrutura, servindo a projetos arquitetônicos que necessitem desta característica. No entanto, a fragilidade das cubetas pode gerar acidentes e sua reutilização requer cuidado excessivo durante a operação de retirada e reuso.

**Figura 7 - Laje nervurada representada no Sketchup**



*Fonte: Viva Decora, 2021*

## 2.3 LAJE PRÉ-FABRICADA

Segundo a NBR 14859-1 (2016), lajes pré-fabricadas são um tipo de laje nervurada que tem sua concepção fora do local de uso final, ou seja, não é um produto confeccionado *in loco*, sendo necessário a contratação de empresas que produzem esse tipo de material. A NBR 6118 (2014) define como sendo laje nervurada aquela que cuja zona tracionada por momentos positivos fica posicionada nas nervuras, onde as armaduras principais para combate desses momentos se localizam.

É exigido pela NBR 9062 (2017) que tais empresas sigam um rigoroso controle de qualidade na produção, garantindo os aspectos definidos em projeto. Esse processo, deve contar com profissional habilitado para verificações de produção, devendo apresentar relatórios a respeito do material, sendo obrigatório o preenchimento de ART ao final do processo.

### 2.3.1 Concreto

A NBR 14859-1 (2016) exige a utilização de um concreto estrutural com uma resistência característica à compressão de no mínimo de 20 MPa, ou seja, concreto de classe C20, sendo especificado no projeto a resistência necessária. É comum a utilização de cimentos especiais

que acelerem a produção, como é o caso do CP-V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) que garante resistências elevadas nos primeiros dias, possibilitando um menor período de tempo desde a fabricação até a entrega.

“O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 12).

### 2.3.2 Aço

Ainda seguindo a NBR 14859-1 (2016), há uma relação entre os aços utilizados na fabricação conforme Quadro 1, sendo abordados as bitolas mínimas exigidas, outras dimensões são permitidas pela norma desde que suas dimensões sejam superiores. Os diferentes tipos de aço devem obedecer normas já definidas para cada tipo e uso.

**Quadro 1 - Aço para utilização em lajes pré-fabricadas**

<b>Produto</b>	<b>Norma</b>	<b>Diâmetro nominal mínimo mm</b>
Barras/fios de aço CA 50 e CA 60	ABNT NBR 7480	6,3 (CA 50) 4,2 (CA 60)
Tela de aço eletrosoldada	ABNT NBR 7481	3,4
Fios de aço para protensão	ABNT NBR 7482	3
Armadura treliçada eletrosoldada	ABNT NBR 14859-3	Diagonal (sinusóide): 3,4 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2

*Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)*

Existe a possibilidade da utilização de aços complementares que são utilizados no canteiro de obras, obedecendo critérios de projeto da laje. Segundo a NBR 14860-1 (2002), essas armaduras possuem diferentes funções, dependendo do seu posicionamento, são as seguintes:

- Quando a área de aço presente nas vigotas não é suficiente para combater as forças de tração de projeto, é inserido uma armadura longitudinal na face superior da vigota com a área de aço necessária.
- Nas nervuras de travamento são inseridas armaduras transversais quando necessário.
- Para distribuição das tensões oriundas de cargas concentradas é utilizada armaduras de distribuição nos sentidos longitudinais e transversais, ajudando no controle da fissuração.
- Sobre os apoios nas extremidades das pré lajes é inserida armadura superior de tração no mesmo alinhamento das nervuras, combatendo momento fletor negativo e ajudando contra fissuração.

### 2.3.3 Cobrimento e Espaçadores

Durante a fabricação é necessário observar o posicionamento correto das armaduras, e para isso utiliza-se espaçadores que além de garantir a correta montagem ajuda a garantir o cobrimento das armaduras. A NBR 14859-1 (2016) diz que os espaçadores para vigotas com armadura simples o espaçamento deve ser de no máximo 500mm. Enquanto que para vigotas treliçadas, mini painéstreliçados e painéis treliçados, a distância dos espaçadores é variável, dependendo da rigidez da armação treliçada, devendo ser especificada em projeto.

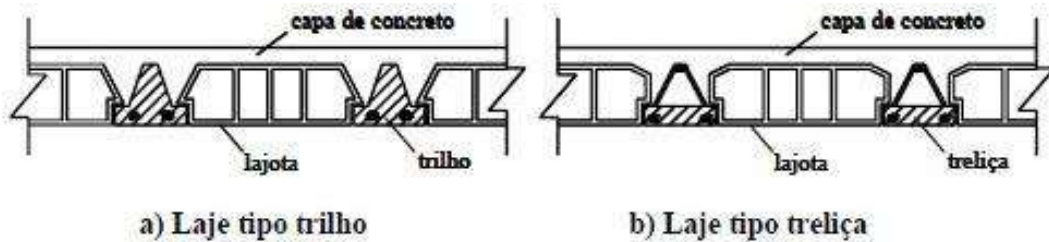
Segundo a NBR 9062 (2017), o cobrimento mínimo para laje pré-fabricadas é de 15mm, observando a classe de agressividade do ambiente. Isso tem relação direta na durabilidade da edificação, pois a garantia de proteção das armaduras contra os interpéries é que vai dizer o quanto a estrutura resiste ao longo do tempo.

## 2.4 CARACTERISTICAS

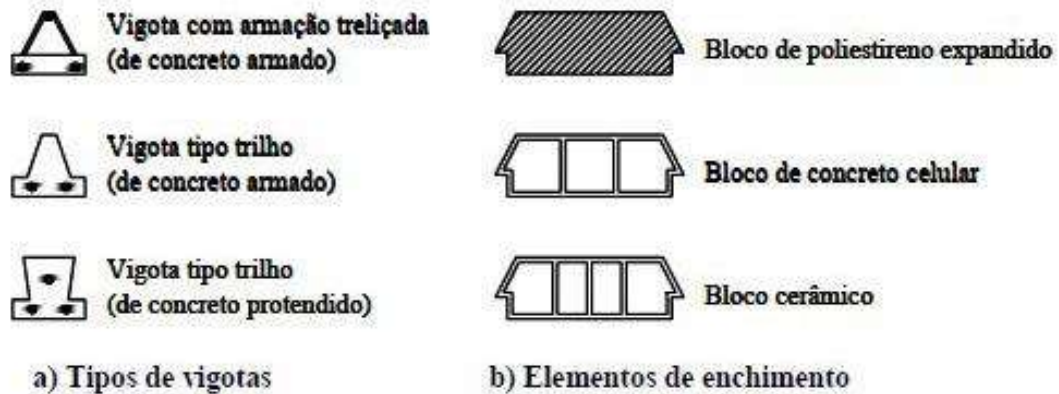
### 2.4.1 Elementos

Uma laje pré-fabricada é composta por vigotas de concreto armado e elementos de enchimento inertes, ou seja, não possuem função estrutural, podendo serem retirados após a conclusão da laje, além de armaduras complementares e por fim uma capa de concreto (também chamada de mesa) que varia de acordo com a altura final da laje, conforme Figura 8.

Figura 8 - Seções transversais de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas e elementos de enchimento empregados.



Seções transversais de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas



Fonte: Fonseca (2015)

#### 2.4.1.1 Vigotas

Existe no mercado diversos tipos de vigotas, cada uma com características distintas, sendo necessário uma análise de projeto para identificar qual a melhor solução estrutural aplicável para cada situação, visando a viabilidade econômica da construção.

Esses elementos dispensam parcialmente ou totalmente a utilização de formas durante a concretagem, uma vez que as próprias vigotas servem de formas incorporadas à própria laje. O uso de escoras também é reduzido, garantindo maior economia ao valor final da obra.

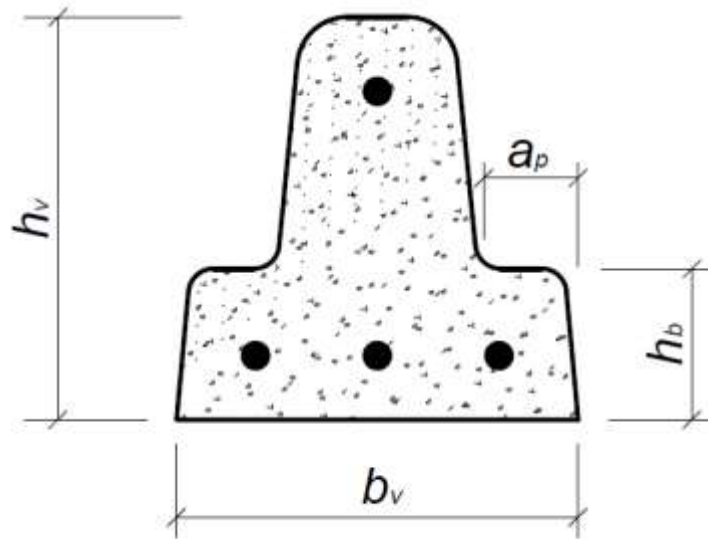
Alguns fabricantes e fornecedores fornecem manuais técnicos que ajudam a dimensionar essas vigotas, dando informação quanto aos vãos máximos permitidos, a sobrecarga máxima suportada pelas vigotas, além da relação do aço adicional necessário para cada situação. As vigotas obedecem dimensões mínimas estipuladas pela NBR 14859-1 (2016).

#### 2.4.1.1.1 Vigota com armadura simples ou comum (VC)

“É uma vigota de concreto armado com seção usualmente no formato de um “T” invertido com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto mostrada na Figura 9, utilizada para compor as lajes de concreto armado (LC).” (FLÓRIO,2004, p.20).

O método de fabricação é bem simples comparado à protendida. São fabricadas em formas metálicas, adicionando os fios de aço e concretando, seguindo o estipulado por norma conforme Quadro 2.

**Figura 9 - Vigota de concreto armado**



Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

**Quadro 2 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota comum VC**

Largura mínima ( $b_v$ )	Altura mínima ( $h_v$ )	Largura mínima do apoio ( $a_p$ )	Altura mínima do apoio ( $h_b$ )
$80 \pm 2$	$80 \pm 2$	$15 \pm 1$	$30 \pm 1$
<i>obs.: dimensões em milímetros</i>			

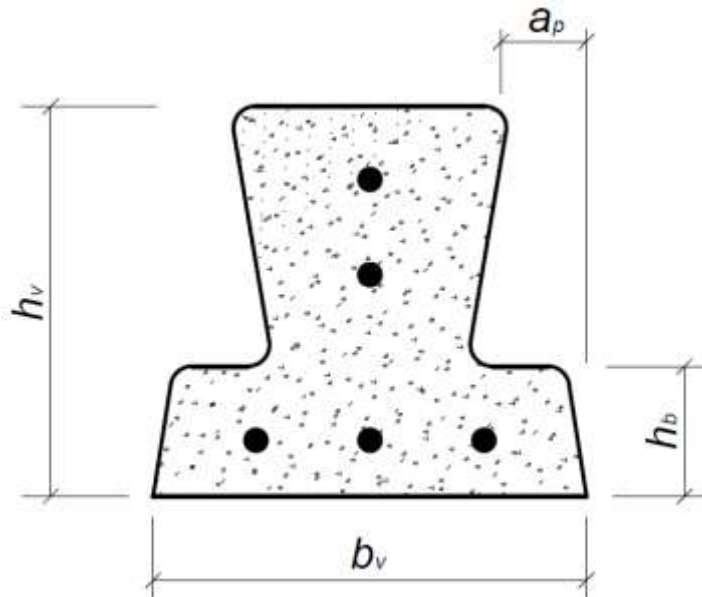
Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

#### 2.4.1.1.2 Vigota com armadura protendida (VP)

“Semelhante à vigota de concreto armado com seção “T” invertido, mas com armadura ativa pré-tensionada, conforme Figura 10, também totalmente envolvida pelo concreto da vigota, utilizadas para compor as lajes de concreto protendido (LP).” (FLÓRIO,2004, p.20).

De acordo com a NBR 6118 (2014), uma armadura ativa pré-tracionada é aquela cujo o pré-alongamento das armaduras é feito por apoios independentes antes do lançamento do concreto, e somente após o endurecimento do concreto é desfeita a ligação das armaduras com os apoios, isso torna a ligação da armadura ao concreto somente por aderência. Segue dimensões mínimas segundo norma conforme Quadro 3.

**Figura 10 - Vigota com armadura protendida**



Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

**Quadro 3 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota protendida VP**

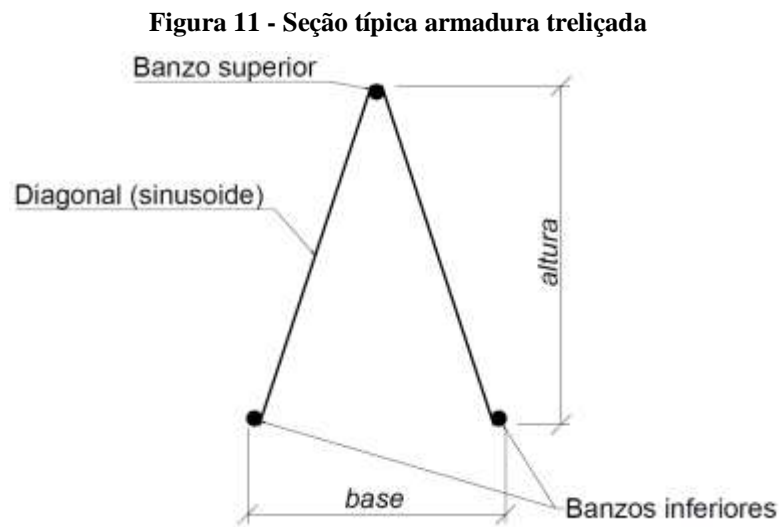
Largura mínima ( $b_v$ )	Altura mínima ( $h_v$ )	Largura mínima do apoio ( $a_p$ )	Altura mínima do apoio ( $h_b$ )
100 ± 2	90 ± 2	15 ± 1	30 ± 1
obs.: dimensões em milímetros			

Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)



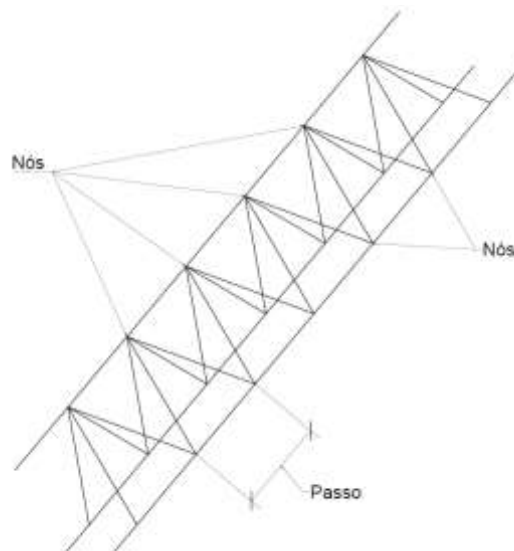
### 2.4.1.1.3 Vigota com armadura treliçada (VT)

A partir desse modelo de vigota passa-se a utilizar armações treliçadas eletrosoldadas, esse tipo de armação vem pronta e possui formato prismático espacial conforme Figura 11 e Figura 12. A NBR 14859-3 (2017) trás informações importantes quanto as características e classificação dessas armações.



Fonte: ABNT NBR 14859-3, 2017 (adaptado)

**Figura 12 - Perspectiva armadura treliçada**



Fonte: ABNT NBR 14859-3, 2017 (adaptado)

Devido a grande variedade de fabricantes, também há uma grande variação e possibilidades nas dimensões das armaduras treliçadas que podem ser fabricadas, sendo assim, algumas informações são normatizadas, tornando padronizadas algumas dimensões. A NBR 14859-3 (2017) trás as dimensões mínimas permitidas como também tolerâncias dimensionais mostradas no Quadro 4.

**Quadro 4 - Dimensões nominais e tolerâncias armaduras treliçadas**

<b>Características</b>	<b>Dimensão nominal (mm)</b>	<b>Tolerâncias</b>
Base	70 a 120	± 5,0 %
Passo	200	± 3,0 %
Altura <sup>1</sup>	60 a 80	± 3,0 %
	81 a 180	± 2,0 %
	> 180	± 1,5 %
Saliência inferior	Igual ao diâmetro da diagonal (sinusóide)	Mínimo: 0mm Máximo: +3,0 mm
Comprimento <sup>2</sup>	8000, 10000 e 12000	± 0,3 %
<p><i>1 - As alturas das treliças eletrosoldadas são: 60mm, 80mm, 120mm, 160mm, 200mm, 250mm e 300mm. Outras alturas podem ser fornecidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, desde que superiores a 60mm.</i></p> <p><i>2 - Outros comprimentos podem ser fornecidos mediante acordo entre fornecedor e comprador, atendendo à tolerância.</i></p>		

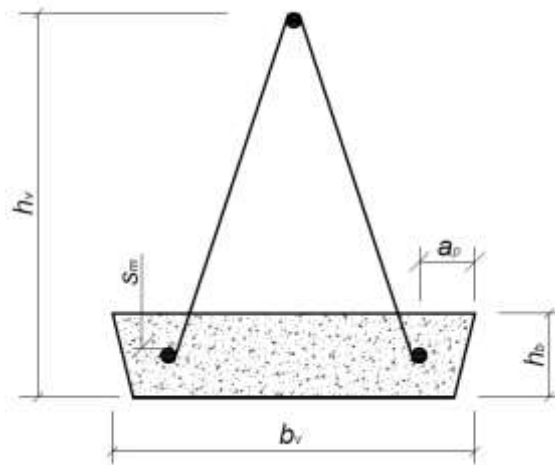
*Fonte: ABNT NBR 14859-3, 2017 (adaptado)*

Para designar uma armadura treliçada é utilizado o código TR seguido de quatro ou cinco dígitos: um ou dois para designar a altura, e os demais três dígitos representam a bitola do banzo superior, sinusóide e banzo inferior, respectivamente e não considerando casas decimais (FLÓRIO, 2004).

A vigota treliçada é semelhante à vigota comum, tendo as armaduras do banzo inferior totalmente envolvidas pelo concreto, mostrado na Figura 13. Quando necessário deve ser acrescentado armadura passiva de tração no interior da nervura de concreto. Suas dimensões seguem conforme Quadro 5.

**Figura 13 - Vigota treliçada**

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + (0,1 \times hb) \text{ (mm)}$$



Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

**Quadro 5 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigota treliçada VT**

Largura mínima (bv)	Altura mínima (hv)	Largura mínima do apoio (ap)	Altura mínima do apoio (hb)
130 ± 5	75 ± 2	15 ± 1	30 ± 1

obs.: dimensões em milímetros

Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

#### 2.4.1.1.4 Mini painel treliçado (MPT)

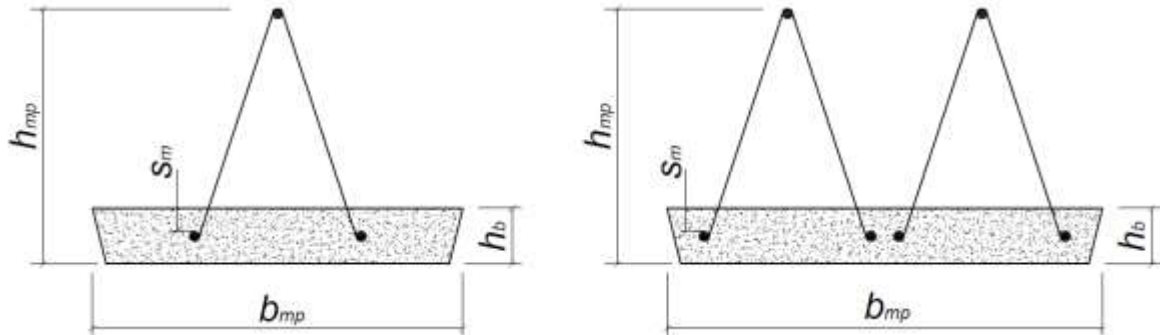
Semelhante a vigota treliçada, os mini painéis tem como diferencial a utilização de até duas armaduras treliçadas em sua base de concreto e sua largura variável de até 400 mm conforme Figura 14 (NBR 14859-1, 2016). Por possuir uma região de nervura maior, isso garante maior rigidez por trabalhar a região como uma laje maciça. Recomendado para casos onde há uma região da laje que possui alvenaria ou outra sobrecarga localizada naquele local. Segue o especificado no Quadro 6.

**Figura 14 - Mini painel treliçado**

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + 0,1 \times hb / n \text{ (mm)}$$

onde:

$n$  indica o número de armadura treliçada contida em cada mini painel



Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

**Quadro 6 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para mini painéis treliçados MPT**

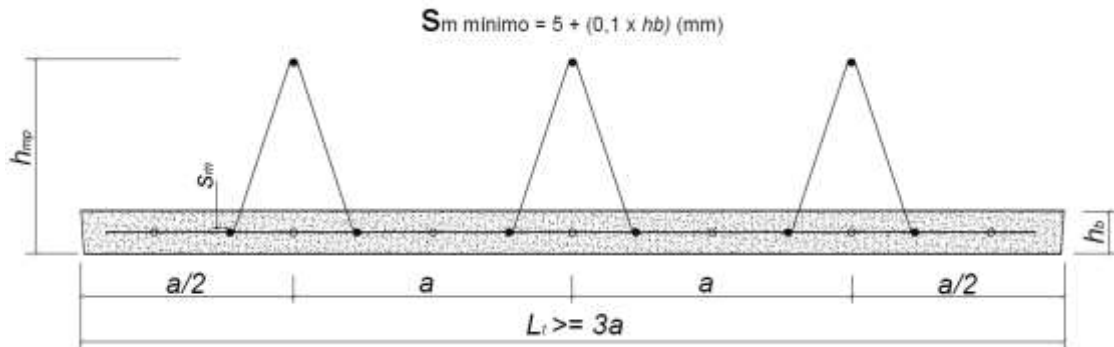
Largura mínima ( $b_{mp}$ )	Altura mínima ( $h_{mp}$ )	Altura mínima da base ( $h_b$ )
$200 \pm 2$	$75 \pm 2$	$30 \pm 1$
<p>NOTA - Geometria e tolerâncias para seção genérica. Para recursos opcionais para atendimento aos requisitos de durabilidade, ver ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062.</p>		

Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

#### 2.4.1.1.5 Painél treliçado (PT)

Da mesma forma que os mini painéis treliçados, os painéis treliçados possuem mais de uma armadura em sua base de concreto, porém não se limitando a quantidade de duas armaduras treliçadas e sua largura mínima é superior a 400 mm, conforme Figura 15. Dessa forma esses painéis podem ser totalmente preenchidos de concreto e tornam-se lajes maciças, ou, utilizar elementos de enchimento para aliviar seu peso próprio (NBR 14859-1, 2016). Seguem dimensões segundo norma conforme Quadro 7.

**Figura 15 - Painél treliçado**



Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

**Quadro 7 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para painéis treliçados PT**

Largura mínima ( <i>b<sub>mp</sub></i> )	Altura mínima ( <i>h<sub>mp</sub></i> )	Altura mínima da base ( <i>h<sub>b</sub></i> )
$> 400 \pm 2$	$75 \pm 2$	$40 \pm 1$
<p><i>NOTA - Geometria e tolerâncias para seção genérica. Para recursos opcionais para atendimento aos requisitos de durabilidade, ver ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062.</i></p>		

Fonte: ABNT NBR 14859-1, 2016 (adaptado)

#### 2.4.1.2 Elementos de enchimento

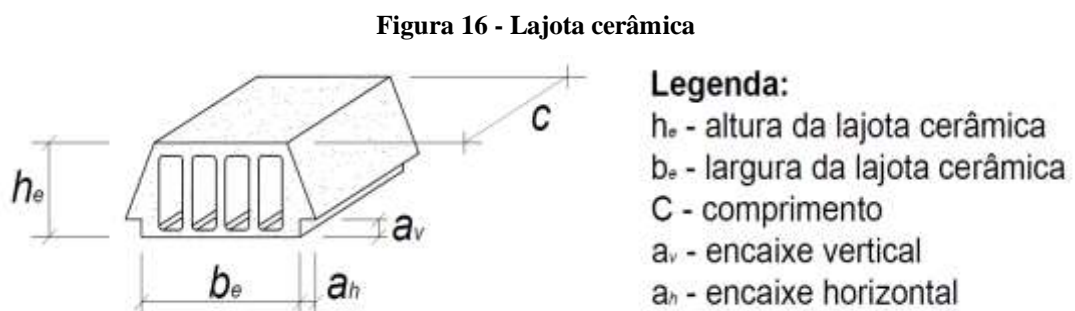
Define-se como elemento de enchimento o material inerte que é intercalado entre as vigotas com a função de diminuir o volume de concreto e conseqüentemente o diminuir peso próprio da laje. Por não possuir função estrutural, não deve ser considerado nos cálculos de resistência e rigidez da laje, sendo opcional a sua retirada após a finalização da laje (NBR 14859-2, 2016).

A escolha do tipo de enchimento deve ser previsto no cálculo de dimensionamento da laje, visto que o peso do enchimento tem interferência direta no carregamento da laje, afeta o consumo de aço, como também na resistência requerida para o concreto. A altura final da laje define qual altura de enchimento deve ser utilizado, geralmente grandes alturas de lajes utilizam como elemento de enchimento lajotas de EPS.

A NBR 14859-2 (2016) caracteriza alguns modelos de elementos de enchimento fabricados em vários materiais, porém neste trabalho será abordado apenas os dois tipos mais utilizados: lajota cerâmica e lajota EPS.

#### 2.4.1.2.1 Lajota cerâmica

A vantagem da utilização da lajota cerâmica é o fato de não precisar de formas durante a concretagem, podendo ser utilizada em qualquer estrutura, caracterizada pela Figura 16. Possui uma ótima aderência, e tem menores deformações, diminuindo o aparecimento de trincas. Entretanto é um material muito frágil, podendo quebrar durante o manuseio e transporte. Seu peso também pode atrapalhar durante o descarregamento no canteiro de obras (GALVES, 2019).

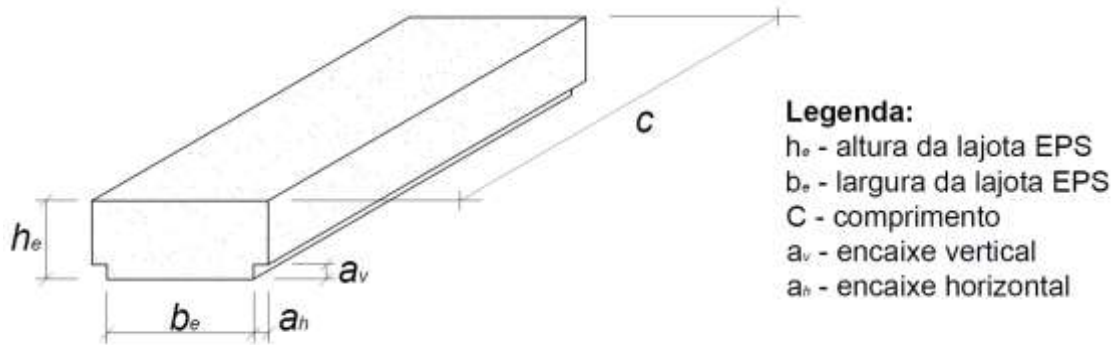


*Fonte: ABNT NBR 14859-2, 2016 (adaptado)*

#### 2.4.1.2.2 Lajota de EPS

As lajotas de poliestireno expandido (EPS) ou comumente chamadas de isopor, possui como característica um bom isolamento térmico e acústico. É um material bem leve facilitando o manuseio e montagem, flexibilidade para recortes adaptando à qualquer geometria além de ser 100% reciclável, podendo ser fornecidos em várias dimensões seguindo características conforme Figura 17. Esse tipo de enchimento deforma com facilidade, sendo necessário um cuidado especial na hora da montagem, outro porém é que possui um preço um pouco elevado comparado à lajota cerâmica (GALVES, 2019).

**Figura 17 - Lajota EPS**



Fonte: ABNT NBR 14859-2, 2016 (adaptado)

## 2.4.2 Execução

Discutido sobre as características dos elementos das lajes pré-fabricadas, uma parte importante é sua montagem no canteiro de obra, atentando-se á medidas de segurança durante a execução das mesmas, como também assegurar o correto manuseio dos elementos até a concretagem da laje. Deve-se sempre averiguar a condição de qualquer material antes de sua utilização, removendo elementos quebrados ou com outro fator que comprometa sua função na estrutura durante ou depois de sua execução.

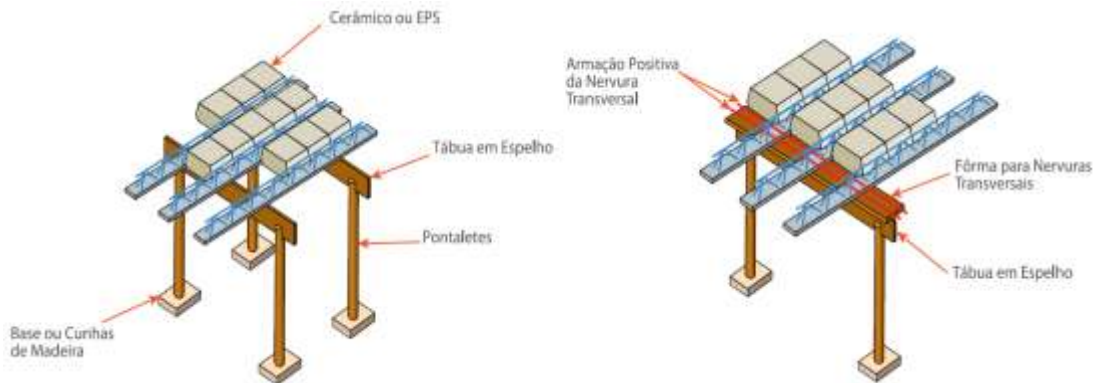
O passo-a-passo apresentado a seguir foi baseado tomando como base o manual fornecido pela empresa fabricante de armaduras treliçadas Acelor Mittal (2010), nele é apresentado o método de fabricação, tabelas para dimensionamento, e o método executivo de lajes treliçadas, obedecendo as normas técnicas pertinentes. Outros manuais também foram consultados para maior extração de informações.

### 2.4.2.1 Escoramentos

Servem para dar apoio as vigotas durante a concretagem, fazendo com que não cedam por conta do peso do concreto, podendo ser de madeira ou metálicos. Para qualquer tipo de escoramento é recomendado que esteja apoiado em superfície firme e que possua altura necessária para possibilitar a contraflecha da laje. Deve ser observado que para cada altura de

laje e comprimento dos vãos há uma diferença na distância entre os escoramentos, devendo ser apresentados no projeto, exemplificado pela Figura 18.

**Figura 18 - Escoramento de madeira**



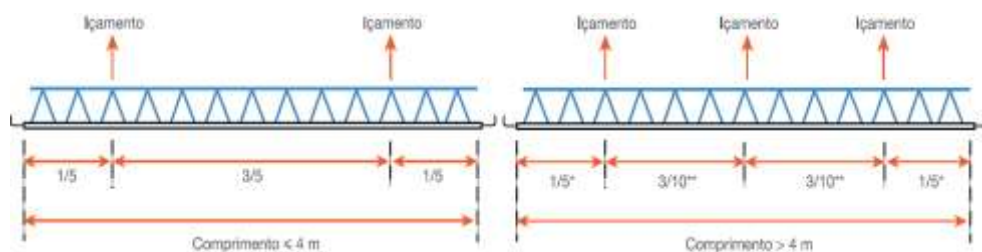
*Fonte: Acelor Mittal, 2010*

A retira das escora pode ser feita 18 dias após a concretagem, quando o concreto atingiu a resistência necessária, obedecendo a ordem de descimbramento, partindo sempre do centro da laje para as extremidades.

#### 2.4.2.2 Posicionamento das vigotas e elementos de enchimento

Para posicionar as vigotas é necessário fazer o içamento das mesmas, para isso deve-se observar o tamanho do trilho para determinar qual a maneira correta para o içamento, respeitando algumas condições para evitar a quebra durante o procedimento, conforme descrito na Figura 19.

**Figura 19 - Condição de içamento das lajes treliçadas**



\* Deve-se tomar cuidado para o balanço no transporte não exceder 1,30 metro.

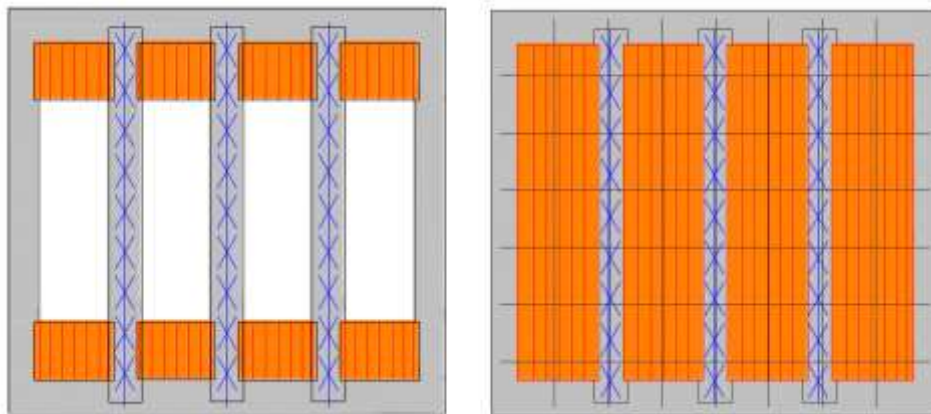
\*\* E para a distância entre dos pontos de içamento não exceder 2,40 metros.

*Fonte: Acelor Mittal, 2010*



A sequência de montagem segue, em primeiro lugar, o posicionamento do elemento de enchimento apoiados nas extremidades das vigas ou cintas de amarração e nas vigotas, sempre ortogonais ao sentido das vigotas, fazendo isso dos dois lados e seguindo para o centro da laje mostrado na Figura 20. Em seguida é terminado o preenchimento das lajotas no restante da laje. É importante atentar-se em manter o esquadro e evitar folgas entre o elemento de enchimento e as vigotas.

**Figura 20 - Montagem dos trillhos e lajotas cerâmicas**

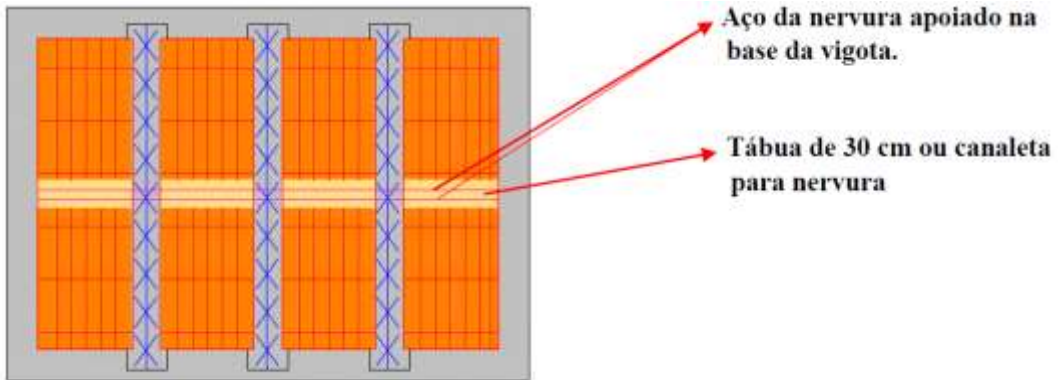


*Fonte: Lajes Martins*

#### 2.4.2.3 Nervuras Transversais

São nervuras transversais às vigotas, utilizadas para aumentar a rigidez da laje e dar estabilidade lateral travando as vigotas, reduzindo vibrações e deformações, além de distribuir a as tensões provenientes das cargas na laje. Essa armação, em alguns casos, torna a laje bi-direcional, ou seja, armada nas duas direções. Tanto a espessura quanto a armação deve ser especificadas em projeto. O sentido de montagem dessa armação é mostrado na Figura 21.

**Figura 21 - Nervura de travamento**



*Fonte: Lajes Martins*

#### 2.4.2.4 Armadura complementar

Logo após a montagem das vigotas e do enchimento, são colocadas as armaduras complementares segundo especificado em projeto. Essas armaduras são as mesmas mencionadas no item 2.3.2. É importante averiguar se a laje será armada em uma ou duas direções, essa informação deve constar no projeto estrutural.

#### 2.4.2.5 Concretagem

A etapa final de montagem consiste na concretagem. A altura final da laje define qual vai ser a espessura da capa de concreto conforme Tabela 1, podendo suas medidas serem superiores as mínimas, desde que previstas em projeto.

**Tabela 1 - Altura total das lajes**

<b>Altura total da laje</b>	<b>Altura total do enchimento</b>	<b>Capa mínima</b>
Até 12,0	Maciço	-
13,0 ; 14,0	7	3,0 ; 4,0
15,0 ; 16,0	8	4,0 ; 5,0
17,0 ; 18,0	10	4,0 ; 5,0
19,0 ; 20,0	12	4,0 ; 5,0
23,0 ; 24,0	16	4,0 ; 5,0
27,0 ; 28,0	20	4,0 ; 5,0
32,0 ; 33,0	24	5,0 ; 6,0
37,0 ; 38,0	29	5,0 ; 6,0

*Fonte: ABNT NBR 14860-1, 2002 (adaptado)*

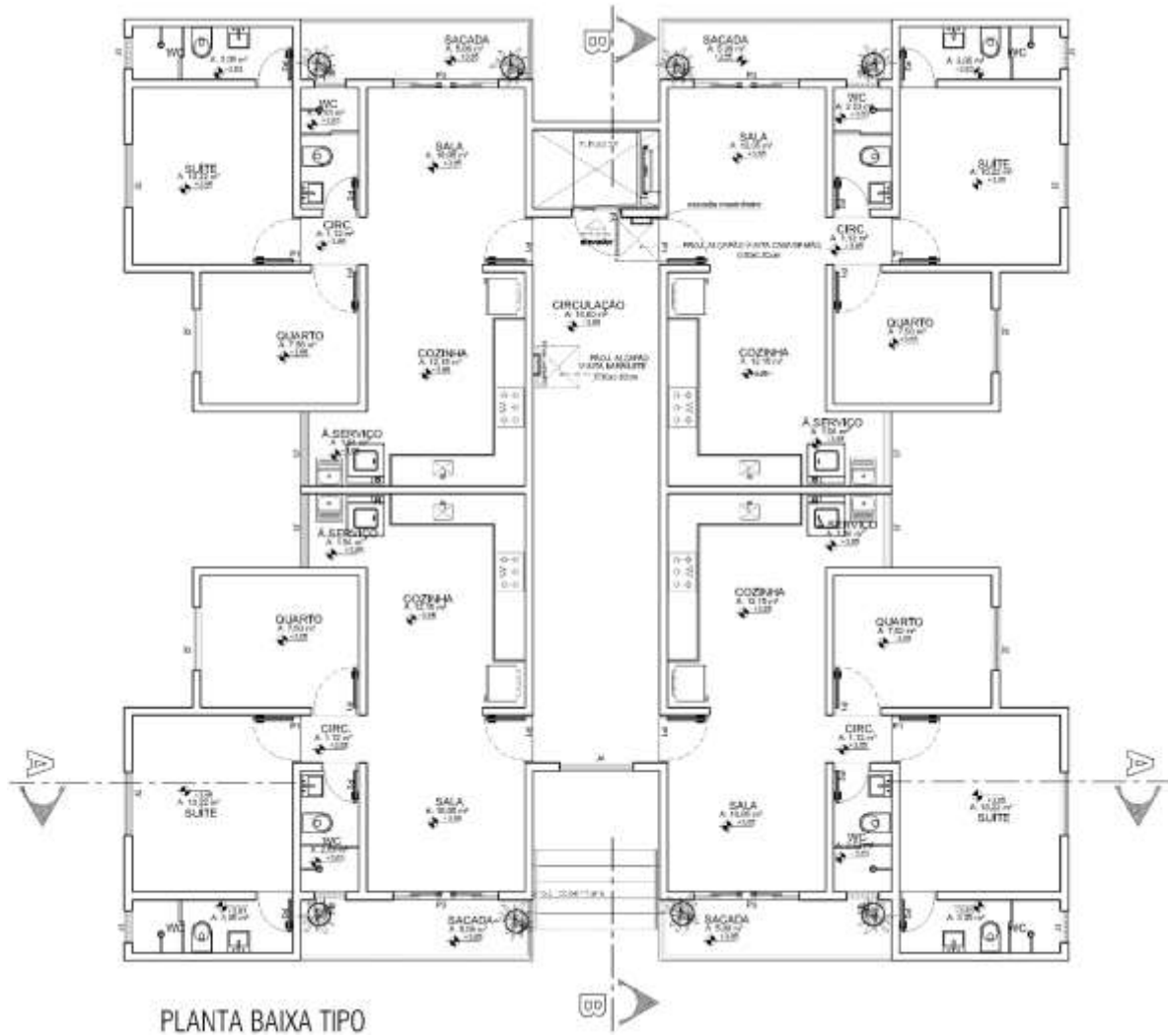
É recomendado solicitar a visita do fornecedor antes da concretagem para fazer uma vistoria na obra e averiguar se a montagem está correta. O concreto a ser lançado deve ter resistência igual ou superior a resistência definida em projeto. Utilize tábuas caso precise caminhar sobre a laje pré concretada.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto apresentado a seguir, trata-se de um modelo utilizado para fins didáticos, com o qual será o objeto de estudo deste trabalho. A edificação trata-se de uma construção residencial, dotada de 1 pavimento térreo, 15 pavimentos tipo, 1 cobertura e 1 reservatório superior totalizando 54 metros de altura. Cada pavimento tipo possui 4 apartamentos, corredor de circulação e 1 elevador, conforme Figura 22.

Figura 22 - Planta baixa pavimento tipo



Fonte: Internet

## 3.2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Alguns critérios para o dimensionamento correto das estruturas serão adotados seguindo a NBR 6118 (2014).

A Classe de Agressividade Ambiental (CAA) que se adequam a cidade analisada (Anápolis), são as classes I e II, que diz respeito à agressividade do ambiente (fraca a moderada); tipo de ambiente (rural a urbano); e o risco de deterioração da estrutura (insignificante a pequeno). Será adotado classe II. Para essa classe tem-se as seguintes informações:

- Relação água/cimento:  $\leq 0,60$ ;
- Classe de concreto:  $\geq C25$ ;
- Cobrimento das armaduras: 25mm para lajes e 30mm para vigas, pilares e elementos estruturais em contato com solo.

Além desses critérios normativos apresentados acima, outros parâmetros que dizem respeito às características dos materiais utilizados serão de extrema importância para o dimensionamento da estrutura. São eles:

- Aço CA 50 para armaduras;
- Diâmetro do agregado = 19mm;
- Peso específico do concreto = 25 KN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_c = 1,4$  (coeficiente de minoração do concreto);
- $\nu = 0,2$  (coeficiente de Poison);

Seguindo esses princípios, partimos para a parte onde será analisada a estrutura e pré-definir as posições e seções dos elementos que a compõe. Após essa etapa é possível fazer a análise estrutural lançando todo o projeto no software Eberick.

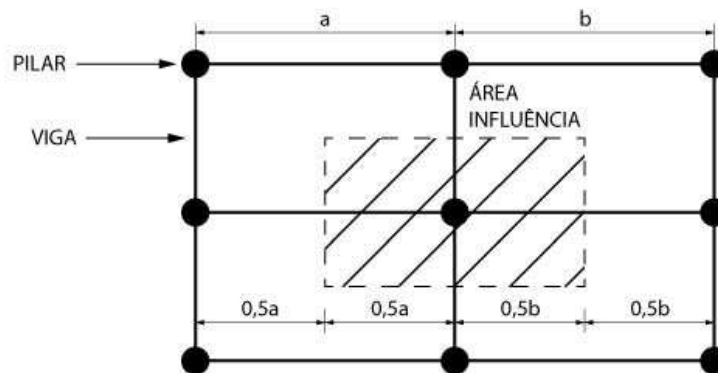
### 3.2.1 Pré-dimensionamento

#### 3.2.1.1 Pilares

Para o pré-dimensionamento dos pilares, foi utilizado o método por área de influência, que consiste em traçar mediatrizes dos segmentos que unem os pilares, mostrados na Figura 23.

Neste método, todos os pilares estão associados à uma área de influência diferente, tal área multiplicada por uma carga por unidade de área (definida pelo projetista), o resultado é a força normal atuante no pilar. Em edifícios de múltiplos pavimentos, multiplica-se a área de influência pela quantidade de pavimentos. Com esse valor é possível, através de formulações, encontrar a área de concreto necessária e escolher qual será a seção para os pilares.

**Figura 23 - Método por área de influência**



*Fonte: Guia da Engenharia (2018).*

### 3.2.1.2 Vigas

Para vigas o processo é mais simplificado, onde buscamos encontrar a altura mínima da mesma, sendo sua base geralmente compatibilizada com a espessura dos pilares. Esse método empírico consiste em analisar os vãos para vigas isoladas (que estão apoiadas em apenas dois apoios) e contínuas (há uma continuidade em sua extensão apoiando em mais de dois apoios) e empregar as seguintes considerações:

Para vigas isoladas comuns:

- $h = L/10$  (1)

Para vigas contínuas comuns:

- $h = L/12$  (2)

Onde  $L$  é o vão da viga. Em caso de vigas contínuas é considerado uma média entre os dois maiores vãos entre os apoios.

### 3.2.1.3 Lajes

Para lajes o processo é semelhante das vigas, através de métodos empíricos a fim de definir a altura mínima da laje. Para lajes maciças levamos em consideração as especificações da NBR 6118 (2014) que diz que a menor espessura para laje não deve ser inferior à 8cm, já lajes treliçadas, temos como altura mínima 12cm, que é a menor espessura disponível nos catálogos de dimensionamento. De posse dessas informações:

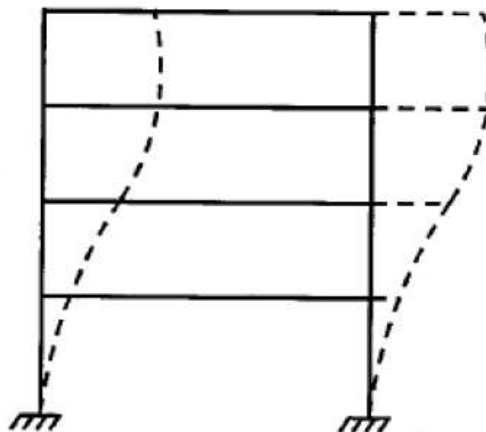
- $h = L/30$  , para lajes maciças; (3)
- $h = L/40$  , para lajes treliçadas. (4)

Onde L é o menor vão, ou 70% do maior vão.

### 3.3 PARÂMETROS DE ESTABILIDADE

Para entendermos essa análise, primeiramente necessitamos classificar as estruturas quanto a sua capacidade de movimentação. Essa relação está atrelada a sua sensibilidade aos esforços atuantes na edificação. Toda estrutura sofre deslocamentos quando postos sob o efeito de cargas verticais e horizontais, no entanto, quando seus deslocamentos horizontais são excessivos de modo a não poderem ser ignorados nas verificações, ela é classificada como uma estrutura de nós móveis (Figura 24). (MAIS ENGENHARIA, 2017)

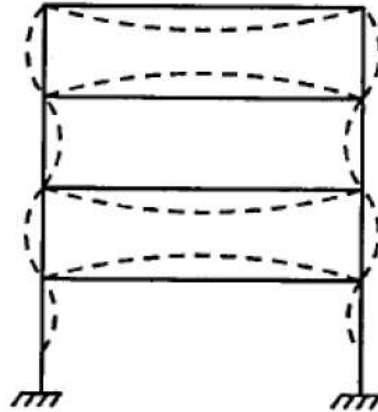
**Figura 24 – Estrutura de nós móveis**



Fonte: TERRA (2008).

Ao contrário da estrutura citada anteriormente, há casos onde o deslocamento horizontal pode ser desprezado, por serem mínimos e de pouca influência na estabilidade global da estrutura, nesses casos a estrutura é considerada de nós fixos (Figura 25). (MAIS ENGENHARIA, 2017)

**Figura 25 – Estrutura de nós fixos**



*Fonte: TERRA (2008).*

### 3.3.1 Parâmetro $\alpha$

O parâmetro de instabilidade  $\alpha$  é um dos meios de análise de estabilidade global em estruturas e se caracteriza por apresentar a soma importância ou não para a estrutura analisada, de uma análise de segunda ordem. Os efeitos de segunda ordem, considerados em um possível segundo estudo estrutural, são definidos segundo a NBR 6118 (2014), como esforços de 2ª ordem decorrentes de deslocamentos horizontais nos nós da estrutura, ocasionados sob a ação de cargas verticais e horizontais. Em caso de necessidade de uma análise de segunda ordem, leva-se em consideração os dados da análise de primeira ordem somados com os efeitos de segunda ordem, onde a configuração deformada da estrutura passa a ser considerada na análise de equilíbrio estrutural. Ao levar em consideração os fatos acima é possível encontrar o valor de  $\alpha$  através da fórmula a seguir:

#### Equação 1 - Formulação Parâmetro $\alpha$

$$\alpha = H_{tot} * \sqrt{\frac{Nk}{Ecs * Ic}}$$

*Fonte: NBR 6118:2014*



Na expressão, conforme a NBR 6118 (2014), temos:

- $H_{tot}$  - Altura total da edificação
- $N_k$  - Carga vertical
- $E_{cs}$  – Módulo de Elasticidade secante
- $I_c$  – Momento de Inércia da seção

No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão  $E_{cs}I_c$  de um pilar equivalente da seção constante, sendo que  $I_c$  deve considerar as seções brutas dos pilares nos cálculos. A definição apresentada para o valor encontrado em  $\alpha$ , ainda pela NBR 6118 (2014) delimita as seguintes condições:

- $\alpha = 0,2 + 0,1n$ , para  $n \leq 3$ ;
- $\alpha = 0,5$  quando só houver pórticos;
- $\alpha = 0,6$ , para  $n \geq 4$ , aplicável às estruturas usuais de edifícios e para associações de pilares-parede e para pórticos associados a pilares-parede;
- $\alpha = 0,7$  em casos de contraventamento constituído exclusivamente por pilares-parede.

Sendo  $n$  o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo.

### 3.3.2 Coeficiente gama-z

O coeficiente gama-z (ou  $\gamma_z$ ) apresenta, além de informar a necessidade ou não de uma análise de segunda ordem, uma estimativa dos acréscimos dos esforços de segunda ordem. Através da NBR 6118 (2014), este coeficiente, para a determinação de esforços globais de segunda ordem, consiste na avaliação dos esforços finais (1a ordem + 2a ordem) e é caracterizado com o uso de resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez a partir da majoração adicional dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por  $0,95\gamma_z$ . Esse processo só é válido para  $\gamma_z \leq 1,3$ . Ao realizar os cálculos que levam ao valor de  $\gamma_z$ , deve-se considerar a estrutura como de nós fixos para  $\gamma_z \leq 1,1$ .

A norma supracitada define ainda que as estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, como de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por

decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem. As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados. valor de  $\gamma_z$  é calculado com a fórmula abaixo:

**Equação 2 - Formulação Parâmetro  $\gamma_z$**

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

*Fonte: NBR 6118:2014*

Na expressão, conforme a NBR 6118 (2014), temos:

- $\Delta M_{tot,d}$  - Soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos em análise de 1ª ordem.
- $M_{1,tot,d}$  - Momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

### 3.4 SOFTWARE ESTRUTURAL

A empresa AltoQi, já está no mercado desde 1989, oferecendo uma variedade de softwares para profissionais das áreas de projetos. Seus produtos atendem uma gama de profissionais das áreas de projetos que vão desde os projetos estruturais até projetos de instalações prediais, além de oferecer seus produtos com a nova tecnologia BIM.

**Figura 26 – Empresa AltoQi**



*Fonte: AltoQi, 2021.*

A modelagem tridimensional da estrutura, detalhamentos e análises estruturais serão feitas através do *software* para projetos estruturais Eberick V8 Gold, mostrado na Figura 27. Com ele é possível elaborar um projeto estrutural completo, passando por todos os processos, desde o lançamento dos elementos estruturais (pilares, vigas, lajes, fundações, etc) até a geração de pranchas personalizadas do projeto finalizado. Todo esse processo de cálculo segue os parâmetros especificados na NBR 6118 (2014) e outras normas pertinentes.

**Figura 27 – Software Estrutural Eberick V8**



*Fonte: AltoQi, 2021*

Para que seja possível apresentar os resultados dessa pesquisa, duas estruturas idênticas serão concebidas, de modo que o diferencial entre elas será o tipo de laje utilizada: uma estrutura será analisada com laje maciça e outra com laje pré-fabricada do tipo treliçada.

#### **3.4.1 Estrutura com laje maciça**

Seguindo alguns parâmetros indicados na NBR 6120 (2019) à respeito das cargas a serem consideradas na estrutura, para a edificação em questão foram adotados carregamentos acidentais para lajes e carregamentos de paredes para vigas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Cargas atuantes

Cargas Acidentais (tf/m <sup>2</sup> )	Carga de Parede (tf/m)
0,2	0,45

Fonte: do Autor

Para cargas de vento, o *software* utiliza da NBR 6123 (2013) para análise, onde é definida a velocidade média considerando a região analisada, devendo ser ponderada por coeficientes que definem o grau de influência essa estrutura sofre com o vento, conforme Figura 28. De forma geral, estruturas altas tendem a potencializar os efeitos de vento, gerando deslocamentos excessivos no seu topo, por isso é de extrema importância prever esses carregamentos horizontais.

Figura 28 – Configuração de vento



Fonte: Eberick V8

Após o pré-dimensionamento, foram encontradas seções para pilares e vigas, utilizando-se delas apenas como referência de seção mínima, adotando valores superiores a eles como forma de manter o dimensionamento voltado à segurança.

Ao fim das verificações da estrutura no *software*, foram ajustadas as dimensões dos elementos para que se adequem à estrutura, com isso chegamos às seguintes seções que mantem-se constantes por todos os pavimentos mostrados no Quadro 8 e Quadro 9:

**Quadro 8 – Seção dos Pilares**

<b>Pilares</b>	<b>Seção(cm)</b>	<b>Pilares</b>	<b>Seção(cm)</b>	<b>Pilares</b>	<b>Seção(cm)</b>
P1	19x120	P13	19x120	P25	19x120
P2	19x80	P14	19x120	P26	19x120
P3	19x80	P15	19x100	P27	19x120
P4	19x80	P16	19x100	P28	19x120
P5	19x80	P17	19x120	P29	19x50
P6	19x120	P18	19x120	P30	19x50
P7	19x50	P19	19x100	P31	19x50
P8	19x50	P20	19x100	P32	19x100
P9	19x180	P21	19x100	P33	19x100
P10	19x180	P22	19x100	P34	19x120
P11	19x120	P23	19x120	P35	19x50
P12	19x120	P24	19x120	P36	19x120

*Fonte: do Autor*

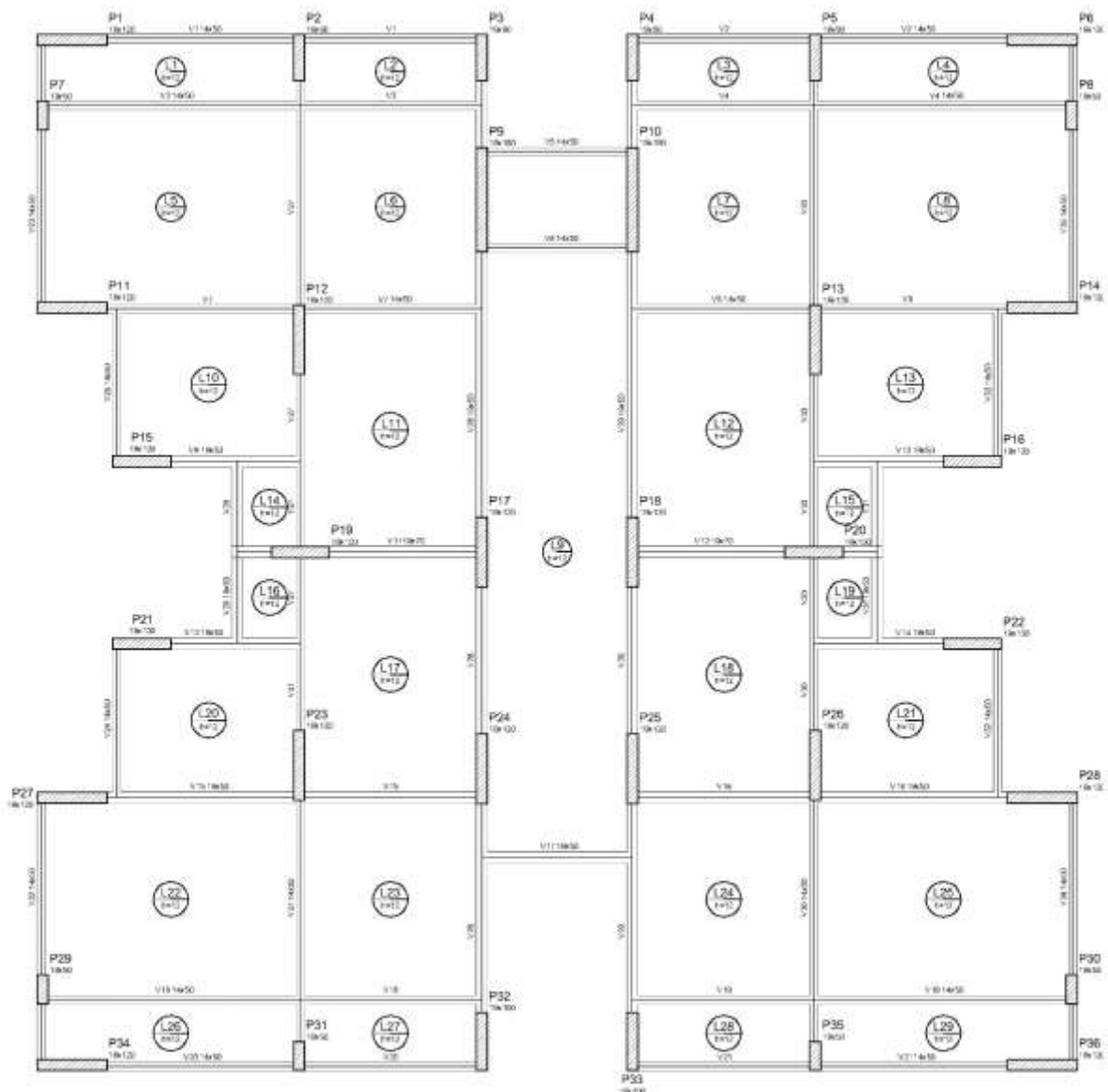
**Quadro 9 – Seção das vigas**

<b>Seção (cm)</b>							
<b>Viga</b>	<b>Tipo</b>	<b>BW</b>	<b>H</b>	<b>Viga</b>	<b>Tipo</b>	<b>BW</b>	<b>H</b>
V1	retangular	14	50	V19	retangular	14	50
V2	retangular	14	50	V20	retangular	14	50
V3	retangular	14	50	V21	retangular	14	50
V4	retangular	14	50	V22	retangular	14	50
V5	retangular	14	50	V23	retangular	14	50
V6	retangular	14	50	V24	retangular	14	50
V7	retangular	14	50	V25	retangular	14	50
V8	retangular	14	50	V26	retangular	19	50
V9	retangular	19	50	V27	retangular	14	50
V10	retangular	19	50	V28	retangular	19	50
V11	retangular	19	60	V29	retangular	19	50
V12	retangular	19	60	V30	retangular	14	50
V13	retangular	19	50	V31	retangular	19	50
V14	retangular	19	50	V32	retangular	14	50
V15	retangular	19	50	V33	retangular	14	50
V16	retangular	19	50	V34	retangular	14	50
V17	retangular	19	50	V35	retangular	14	50
V18	retangular	14	50				

*Fonte: do Autor*

As lajes, no entanto, foram dimensionadas com uma espessura de 12cm, pelo fato de que na laje treliçada também será adotada essa espessura ( por conta de ser a menor espessura de laje adotada, por padrão, nos catálogos de dimensionamento de lajes treliçadas), mantendo assim uma uniformidade entre as duas estruturas. A disposição dos pilares, vigas e lajes seguiu a seguinte orientações mostradas pela Figura 29, obedecendo o projeto arquitetônico.

**Figura 29 - Lançamento estrutural com laje maciça**

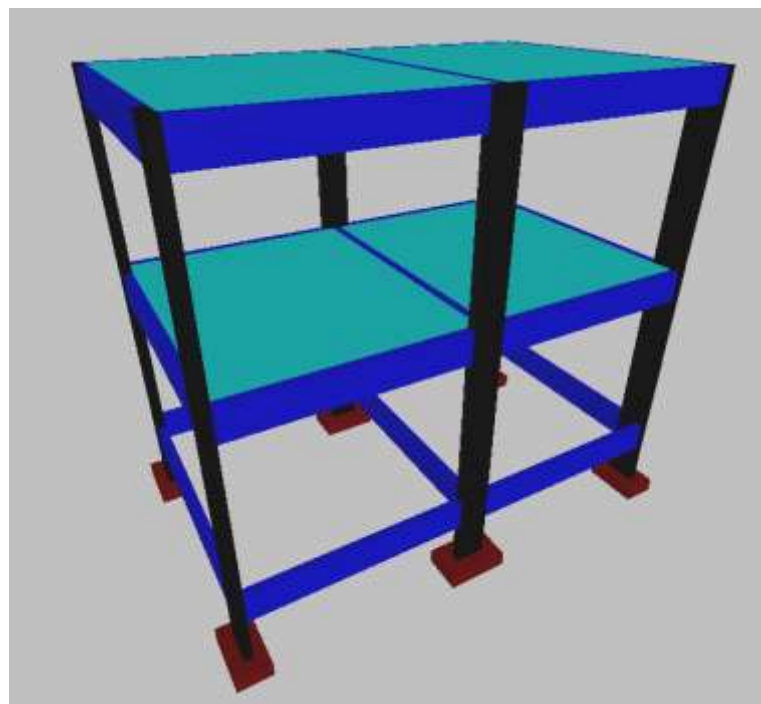


*Fonte: do Autor*

### 3.4.2 Estrutura com laje treliçada

O processo de elaboração da estrutura com laje treliçada é similar ao da laje maciça, porém para esse tipo de laje é conferida uma outra consideração que seria a respeito do seu sentido de armação, para isso foi modelada uma estrutura genérica em concreto C25 com dois pavimentos, pé direito de 3 metros, e lajes de 12cm, mostrado na Figura 30. Foi analisada seu comportamento quando armada em determinada direção.

**Figura 30 – Estrutura genérica**

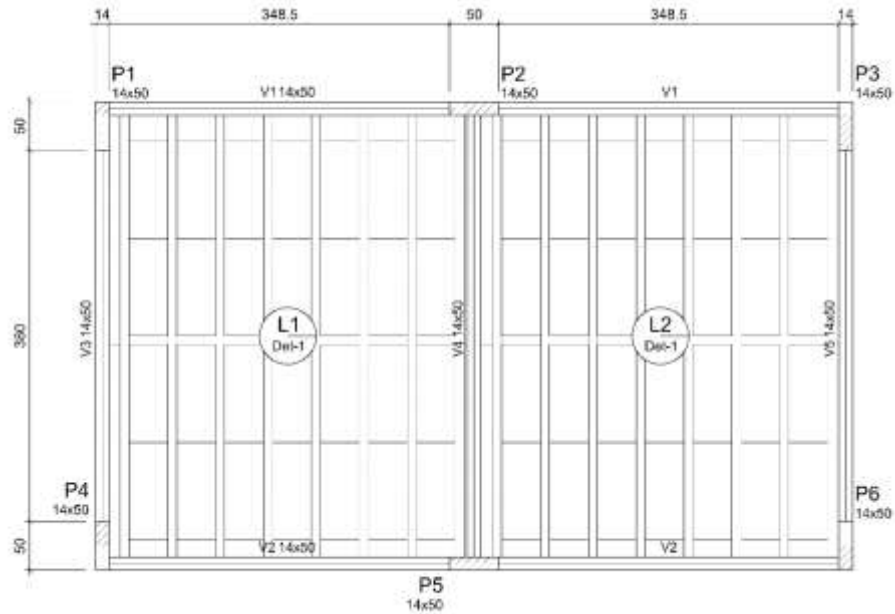


*Fonte: do Autor*

Uma situação analisada seria quando a laje é armada na maior direção. Quando ocorre essa situação, as vigotas são maiores pois consideram a maior dimensão, além de ter um momento fletor mais elevado no centro das vigotas.

A seção de pilares e vigas, e a direção de armação das vigotas é mostrado na Figura 31.

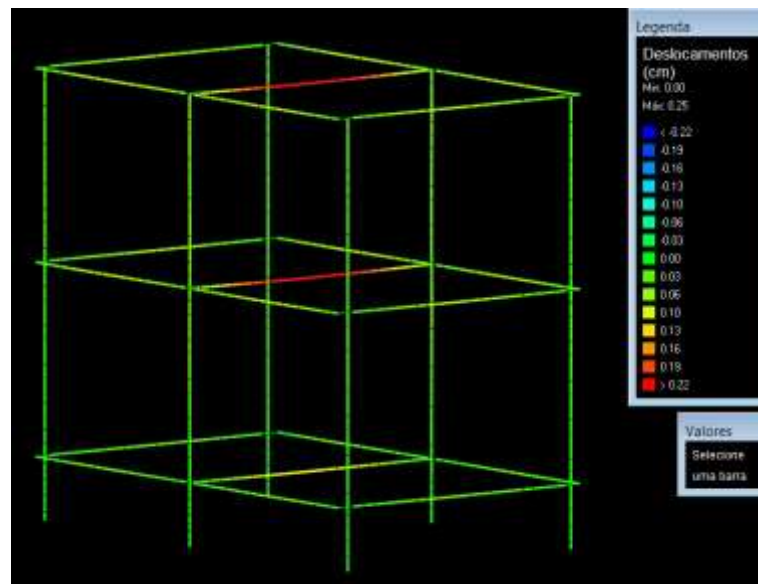
**Figura 31 – Laje armada na maior direção**



*Fonte: do Autor*

Analisando o portico unifilar desse modelo (Figura 32), podemos perceber que a viga V4 sofre o maior deslocamento, porém não recebe diretamente os carregamentos da laje.

**Figura 32 – Deslocamentos da laje armada na maior direção**

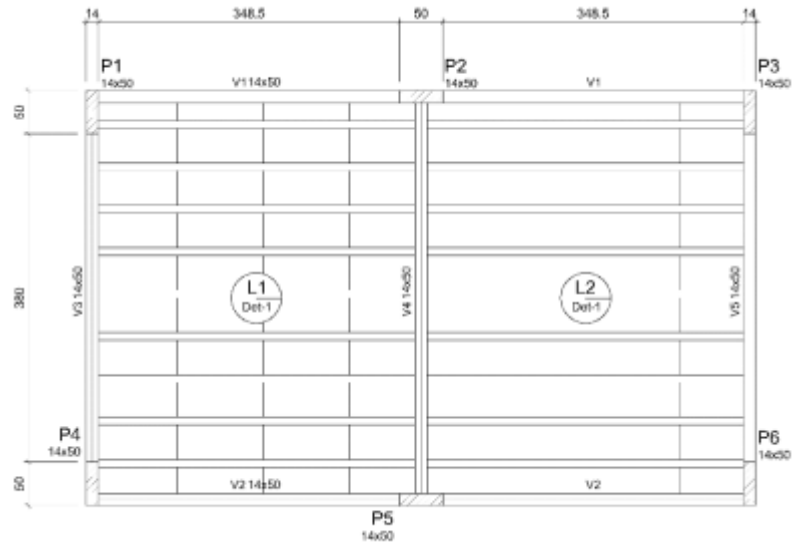


*Fonte: do Autor*



Já o segundo modelo, a laje foi armada na menor direção conforme Figura 33. Note que os dois panos de laje se apoiam sobre a viga V4.

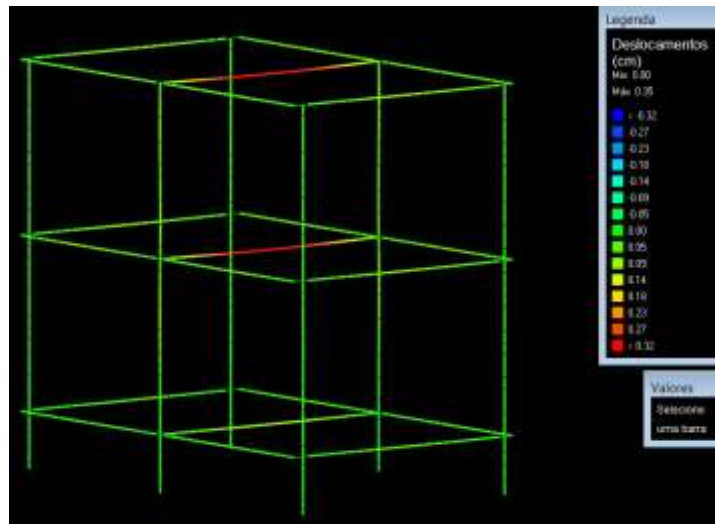
**Figura 33 - Laje armada na menor direção**



*Fonte: do Autor*

Nessa segunda situação percebemos que a viga V4 apresenta maior deslocamento (Figura 34), como na primeira, porém seu valor é mais elevado decorrente dos carregamentos recebidos das lajes.

**Figura 34 - Deslocamentos da laje armada na menor direção**



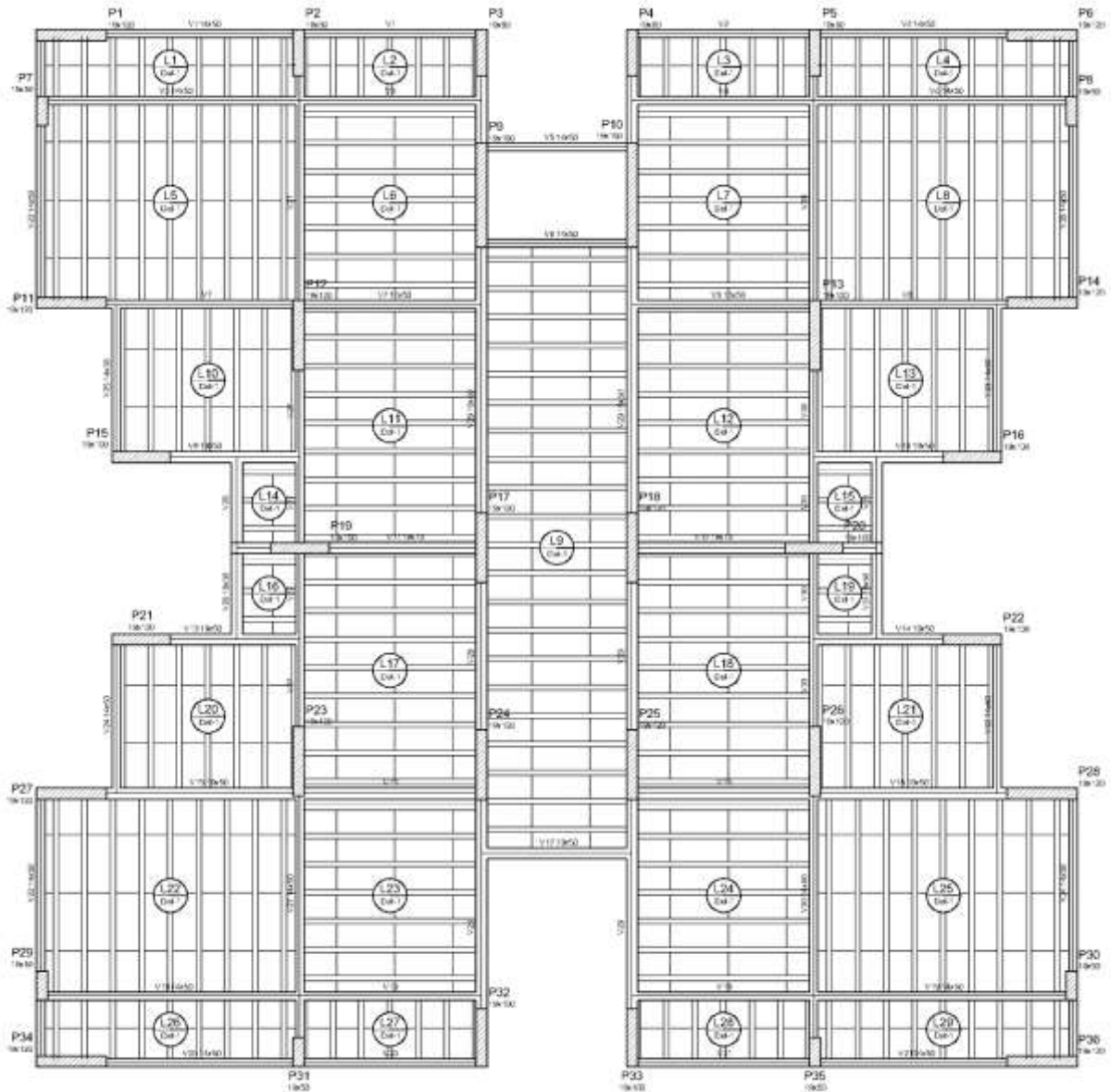
*Fonte: do Autor*

Ao posicionar as vigotas no menor vão, conseguimos diminuir o momento máximo no centro das vigotas, além de aumentar a quantidade de vigotas utilizadas. Dessa maneira o consumo de aço para armadura positiva pode ser diminuído, sendo vantajoso em estruturas de grande porte por sua economia.

Com isso podemos afirmar que a estrutura se desloca de maneiras diferentes dependendo do sentido de armação das lajes, porém em estruturas de grande porte o projetista estrutural deve atentar-se nesses pontos de maior deslocabilidade, pois haverá grande impacto nos deslocamentos globais da estrutura, sempre buscando as combinações que tenham menor deslocabilidade. Para esse edifício será adotado a menor direção de armação das vigotas.

Para essa segunda estrutura, ainda valemos das informações de cargas atuantes citadas na Tabela 2, e das seções de pilares do Quadro 8 e vigas do Quadro 9. A laje será totalmente armada na menor direção conforme Figura 35.

Figura 35 - Lançamento estrutural com laje treliçada



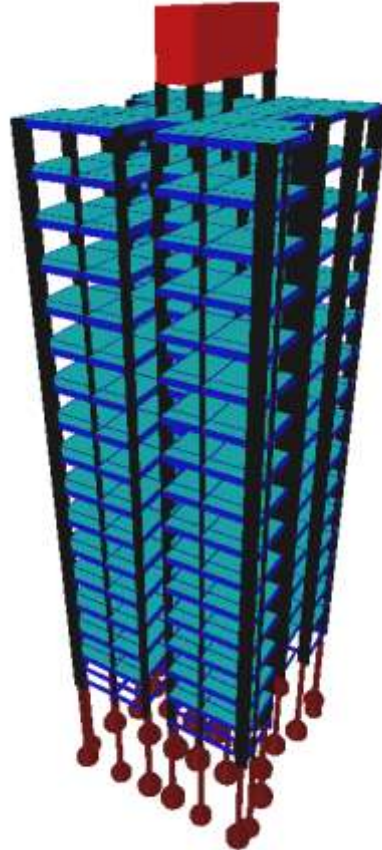
Fonte: do Autor

### 3.4.3 Estrutura tridimensional

Foram inseridos esses elementos no *software* e processada as estruturas de forma a obter os resultados desejados sem erros de dimensionamento. Para isso, as duas estruturas foram dimensionadas e detalhadas utilizando a princípio concreto C40. Um modelo 3D foi gerado para melhor compreensão da estrutura em sua forma construída (Figura 36), ele representa as

duas estruturas, já que nesse quesito elas estão idênticas. Todos os dados fornecidos pelo software, foram anotados para as devidas considerações.

**Figura 36 - Visão 3D do edifício**



*Fonte: do Autor*

Com a estrutura totalmente lançada e calculada, partimos para a análise de seus resultados.

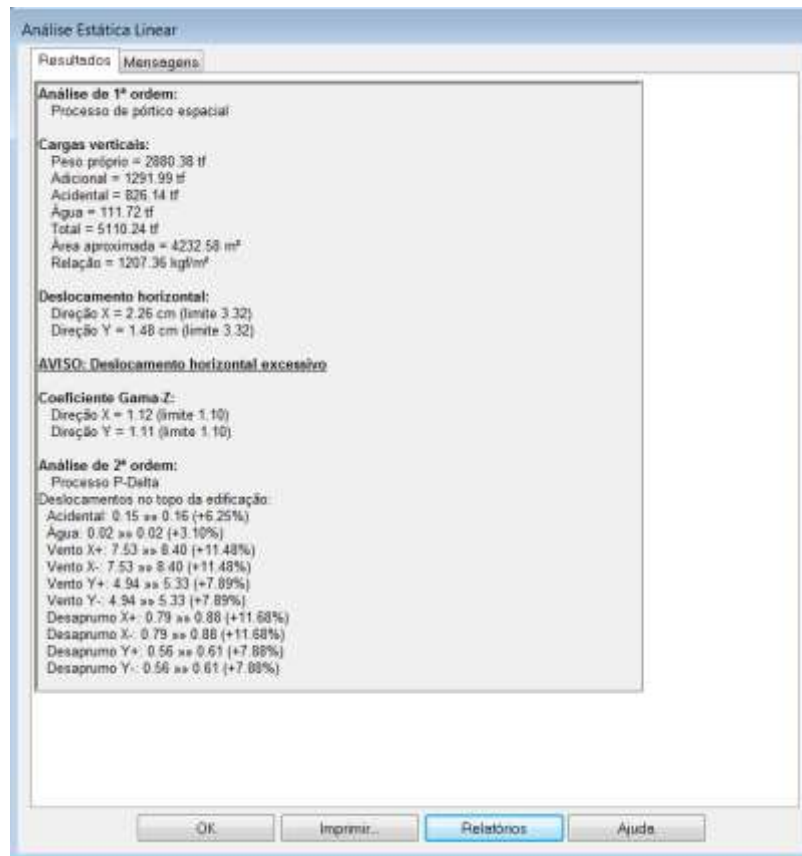
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos do *software* para os modelos com laje maciça e laje treliçada, podemos analisar todas as forças atuantes na estrutura. Isso nos ajudará no cálculo do parâmetro alpha se este está de acordo com o ideal.

### 4.1 LAJE MACIÇA

A estrutura processada retorna para o usuário o seguinte quadro de informações mostrado na Figura 37:

Figura 37 - Análise da laje maciça



Fonte: Eberick V8

Nota-se que o *software* apresenta uma relação das cargas verticais atuantes e calcula automaticamente os deslocamentos totais e o Parâmetro  $\gamma_z$  nas direções X e Y. Outros

carregamentos e reações foram obtidos nos relatórios gerados pelo *software* e mostrados na Tabela 3:

Tabela 3 – Esforços atuantes laje maciça

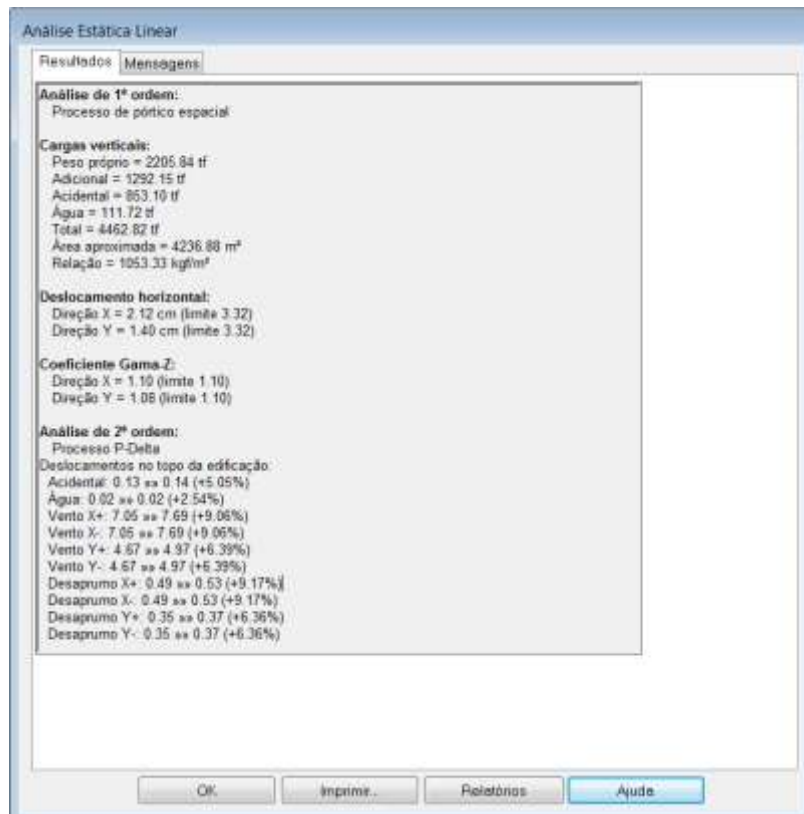
Força Horizontal (tf)		Cortante (tf)		Axial (tf)		Momento (tf.m)	
X	Y	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
53,92	59,53	-11,89	11,59	-11,11	289,41	-30,88	26

Fonte: do Autor

## 4.2 LAJE TRELIÇADA

Para a laje treliçada obtivemos, da mesma maneira que da laje maciça, os dados para análise apresentados na Figura 38:

Figura 38 - Análise laje treliçada



Fonte: Eberick V8

Foi obtido outros carregamentos e reações dos relatórios do software (Tabela 4):

**Tabela 4 - Esforços atuantes laje treliçada**

Força Horizontal (tf)		Cortante (tf)		Axial (tf)		Momento (tf.m)	
X	Y	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
54,90	58,86	-9,02	8,76	-10,29	260,43	-30,43	26,21

*Fonte: do Autor*

#### 4.3 COMPARATIVO ENTRE LAJES

A princípio é possível notar uma significativa diferença no peso próprio da estrutura, tal fato é causado pelo volume total de concreto necessário para cada estrutura (Tabela 5).

**Tabela 5 - Volume de concreto necessário**

LAJE UTILIZADA	VOLUME DE CONCRETO (M <sup>3</sup> )
Maciça	1437,5
Treliçada	1137,4

*Fonte: do Autor*

O prédio que utiliza laje treliçada teve uma redução de aproximadamente 23,4% no seu peso próprio e 20,9% no seu volume de concreto, em comparação com a laje maciça. Esse valor é resultado da utilização do EPS como elemento de enchimento na laje treliçada, por conta de sua baixa densidade, ocupando locais que seriam preenchidos por concreto se fosse em uma laje maciça.

De posse dos dados necessários para o cálculo do parâmetro  $\alpha$  (Tabela 6), foi verificado quanto a sua estabilidade segundo os valores estabelecidos e obtivemos os seguintes resultados.

**Tabela 6 - Valores do parâmetro  $\alpha$**

LAJE UTILIZADA	$\alpha_x$	$\alpha_y$
Maciça	0,345	0,266
Treliçada	0,34	0,267

*Fonte: do Autor*

Como a concepção do edifício é uma combinação de pilares e pilares-parede, o valor limite para o parâmetro  $\alpha$  é 0,6. Os valores resultantes dessa análise mostram que as duas estruturas passam na verificação, ou seja, ela pode ser dimensionada como uma estrutura de nós fixos. A averiguação quanto ao parâmetro  $\gamma z$  é a verificação de confirmação desse resultado (Tabela 7).

**Tabela 7 - Valores do parâmetro  $\gamma z$**

<b>LAJE UTILIZADA</b>	<b><math>\gamma z</math> x</b>	<b><math>\gamma z</math> y</b>
Maciça	1,12	1,11
Treliçada	1,10	1,08

*Fonte: do Autor*

O parâmetro  $\gamma z$  fornecido pelo software, também está conforme norma, mantendo-se abaixo do valor limite de 1,20. Esse valor indica que a estrutura trabalha como nós fixos, ou seja, seus efeitos globais de 2ª ordem não são tão relevantes nas considerações de cálculo .

Para complementar essa análise comparativa, foi utilizado para as estruturas diferentes resistências do concreto partindo do C25 até o C50, e foi averiguado quanto o seu comportamento estrutural. As reações mantiveram-se quase que inalteradas, por conta que não houve alteração nos seus carregamentos. Nos Quadros 10 e 11 é possível notar as diferenças nos valores para cada  $F_{ck}$ .

**Quadro 10 – Análise para diferentes  $F_{ck}$ 's para laje maciça**

<b>Concreto</b>	<b>Deslocamentos (cm)</b>		<b>Parâmetro <math>\alpha</math></b>		<b>Parâmetro <math>\gamma z</math></b>	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>C25</b>	2,82	1,85	0,3798	0,2944	1,16	1,14
<b>C30</b>	2,58	1,7	0,3655	0,2833	1,14	1,12
<b>C35</b>	2,4	1,58	0,3542	0,2739	1,13	1,12
<b>C40</b>	2,26	1,48	0,345	0,2657	1,12	1,11
<b>C45</b>	2,13	1,4	0,3361	0,2589	1,11	1,1
<b>C50</b>	2,02	1,33	0,3281	0,2528	1,11	1,1

*Fonte: do Autor*



Quadro 11 – Análise para diferentes Fck's para laje treliçada

Concreto	Deslocamentos (cm)		Parâmetro $\alpha$		Parâmetro $\gamma z$	
	X	Y	X	Y	X	Y
<b>C25</b>	2,8	1,85	0,3758	0,2965	1,13	1,11
<b>C30</b>	2,57	1,7	0,3618	0,2851	1,12	1,1
<b>C35</b>	2,38	1,59	0,3498	0,2765	1,11	1,1
<b>C40</b>	2,24	1,48	0,3404	0,2672	1,1	1,09
<b>C45</b>	2,12	1,4	0,3319	0,2603	1,1	1,08
<b>C50</b>	2,01	1,33	0,3239	0,254	1,09	1,08

Fonte: do Autor

Como a resistência do concreto impacta diretamente nos deslocamentos das estruturas, tornando-as mais rígidas, os parâmetros  $\alpha$  e  $\gamma z$  também são influenciados, uma vez que dependem desses deslocamentos. Isso mostra que quanto maior for a resistência do concreto, mais rígida e indeslocável ela pode ser, garantindo maior estabilidade na edificação.

#### 4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE TRELIÇADA

Há vários fatores que podem ter ocasionado esse aumento de estabilidade no edifício que utiliza laje treliçada. Uma causa provável seria na sua vinculação simplesmente apoiada, uma vez que não transmite momento nos apoios, apenas as forças verticais para os apoios, evitando torção nas vigas provocados por momentos negativos. (ENGETRELI, 2021).

Outro provável motivo seria a forma com que a laje trabalha na estrutura, agindo como um conjunto de vigas que travam a estrutura na direção em que foi armada. Esse detalhe também é levado em consideração por conta que é possível obter várias combinações de esforços pelo simples fato de alterar o sentido de sua montagem, mudando os valores dos deslocamentos nos elementos em que estão apoiados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por conta da extrema importância da estabilidade estrutural em edificações de grande porte, esta análise comparativa entre lajes maciças e lajes treliçadas pré-fabricadas se mostrou necessária e fundamental ao apresentar a viabilidade econômica e estrutural (por sua positiva influência na estabilidade global) do uso do modelo de lajes pré-fabricadas, validando assim o proposto por este trabalho.

Ao apresentar os dados reunidos por meio de cálculos baseados nas Normas Brasileiras concernentes às lajes e realizados através do *software* estrutural Eberick V8, foi possível constatar a economia geral do modelo treliçado no consumo de concreto, com uma diferença de 20,9% metros cúbicos (m<sup>3</sup>) em relação ao tipo maciço. Além disso, ao verificar os parâmetros de estabilidade, foi constatado que ambos os modelos são aprovados na análise, estando dentro dos limites paramétricos de Alfa e Gama-Z, porém, para diferentes classes de concreto há uma alteração nos deslocamentos estruturais e, conseqüentemente, nos parâmetros de estabilidade estrutural para cada tipo de laje, comprovando que a rigidez estrutural é inversamente proporcional aos deslocamentos, ou seja, mais estável a estrutura à medida que a resistência do concreto utilizado aumenta.

Em suma, o estudo apresentado tem fundamental importância para a compreensão de que as lajes pré-fabricadas fornecem uma melhoria em áreas pontuais de uma edificação, sendo estrutural, financeira ou no tempo de execução da obra, quando comparada com os demais modelos, principalmente em relação ao mais utilizado no Brasil que é a maciça. Assim, através deste trabalho é possível uma gradual mudança na concepção construtiva modelar no país, substituindo um modelo estrutural defasado e oneroso por outro com benefícios aqui constatados em todas as áreas essenciais de uma obra.

Com base nessas análises, outros estudos ainda podem ser desenvolvidos tomando como base o presente trabalho, como o estudo de viabilidade financeiro do modelo treliçado e a economia global que ele oferece ao ser utilizado nas edificações, dentre outros possíveis estudos que englobem esse tipo de laje.

## 6 REFERÊNCIAS

ACELOR MITTAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. 2010. Disponível em: <http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Manual-Lajes-Treli%C3%A7adas.pdf>.

Acesso em: 24 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. São Paulo: Abcp, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-2**: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 2: Elementos inertes de enchimento e forma – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-3**: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 3: Armaduras treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14860-1: Laje pré-fabricada – Pré-Laje – Requisitos, Parte 1: Lajes unidirecionais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ATEX (Brasil). **Mas afinal, o que são as lajes nervuradas?** 2017. Disponível em: <https://www.atex.com.br/blog/laje/o-que-sao-as-lajes-nervuradas/>. Acesso em: 01 maio 2021.

CAVALCANTI, Bruno. **Ponte Tacoma Narrows, 1940 – Um Estudo dos Efeitos Não-Lineares.** 2015. Disponível em: <https://www.astropt.org/2015/04/06/ponte-tacoma-narrows-1940-um-estudo-dos-efeitos-nao-lineares/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CONSTRU360°. **O Japão e a incrível Engenharia Anti-Sísmica (terremoto).** 2016. Disponível em: <https://constru360.com.br/o-japao-e-a-incrivel-engenharia-anti-sismica-terremoto/>. Acesso em: 06 mar. 2021.

DI PIETRO, João Eduardo. **O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto e do engenheiro.** Tese de Doutorado - UFSC. 2000.

DOMINGOS, Roney. **Apartamento de luxo balança e água de piscina transborda? É verdade!** 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/e-ou-nao-e/noticia/apartamento-de-luxo-balanca-e-agua-de-piscina-transborda-e-verdade.ghtml>. Acesso em: 07 mar. 2021.

ENGETRELI. **VINCULAÇÕES DE APOIO NAS LAJES TRELIÇADAS.** Disponível em: <https://www.engetreli.com/vinculacoes-de-apoio-nas-lajes>. Acesso em: 29 out. 2021.

FLÓRIO, Marcio Cardozo. **Projeto e Execução de Lajes Unidirecionais com Vigotas em Concreto Armado.** 2003. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4630/DissMCF.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 abr. 2021.

FONSECA, Laurício Pastório da. **Comparativo Entre Laje Nervurada Com Vigas-Faixa E Laje Maciça Protendida**. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

GALVES, Igor. **Lajes: lajota cerâmica ou com placas de isopor?** 2019. Disponível em: <https://www.igorgalves.com.br/lajes-lajota-ceramica-ou-com-placas-de-isopor/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

GUIA DA ENGENHARIA (Brasil). **Pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes de concreto**. José de Moura, 25 nov. 2018. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/pre-dimensionamento-concreto-armado/>. Acesso em: 10 set. 2021.

LAJES MARTINS. **Manual Técnico**. Disponível em: <http://www.lajesmartins1.hospedagemdesites.ws/wp-content/uploads/2015/07/Manual-Lajes-Trelica-LM.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MAIS ENGENHARIA. **Estruturas de nós fixos e nós móveis: aplicação do P-Delta**. Socrate Muñoz Iglesia, 2017. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/estruturas-de-nos-fixos-e-nos-moveis-aplicacao-do-p-delta/>. Acesso em: 15 out. 2021.

MANTURI PRÉ-FABRICADOS (Santa Catarina). **Laje treliçada: saiba o que é e quando utilizar na sua obra!** 2020. Disponível em: <https://www.manturi.com.br/laje-trelicada/>. Acesso em: 01 maio 2021.

MAPA DA OBRA (Brasil). **Laje: a importância da estrutura da obra**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/laje-a-importancia-da-estrutura-da-obra/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

MAPA DA OBRA (Brasil). **Entenda as funcionalidades de lajes alveolares: pré-fabricadas em concreto protendido, sistema estrutural de lajes alveolares dispensa escoramentos**.

2013. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/entenda-as-funcionalidades-de-lajes-alveolares/>. Acesso em: 01 maio 2021.

PAULO SÉRGIO BASTOS (Brasil). Universidade Estadual Paulista Unesp. **LAJES DE CONCRETO ARMADO**. 2021. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

PEREIRA, Caio. **O que é Laje Treliçada?** 2021. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-trelicada/>. Acesso em: 01 maio 2021.

PEREIRA, Caio. **Laje Pré-Moldada: O que é, principais tipos e vantagens**. 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>. Acesso em: 22 de março de 2021.

PEREIRA, Caio. **Laje Protendida: o que é, execução, vantagens e desvantagens**. 2021. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-protendida/>. Acesso em: 29 de abril de 2021.

PEREIRA, Matheus. "**Tipos de lajes de concreto: vantagens e desvantagens**" 30 Out 2019. ArchDaily Brasil. Acessado 07 Mar 2021. <<https://www.archdaily.com.br/br/889035/tipos-de-lajes-de-concreto-vantagens-e-desvantagens>> ISSN 0719-8906.

TERRA, Nuno Manuel De Sousa. **Análise Das Metodologias De Avaliação Dos Efeitos De 2ª Ordem Previstas No Eurocódigo 2**. 2008. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) - Faculdade De Engenharia Da Universidade Do Porto, [S. L.], 2008. (144 P.).