

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ROSSINI ARANHA LOPES MONZINI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE O USO DE LAJE PRÉ-  
MOLDADA E LAJE E NERVURADA: Estudo de caso em São Luís - MA.**

SÃO LUIS

2019

**ROSSINI ARANHA LOPES MONZINI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE O USO DE LAJE PRÉ-  
MOLDADA E LAJE NERVURADA: Estudo de caso em São Luís - MA.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA para o grau de bacharel em Engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio.

São Luís

2019

Monzini, Rossini aranha Lopes.

Análise de viabilidade econômica entre o uso de laje pré-moldada e laje nervurada: estudo de caso em São Luís – MA / Rossini Aranha Lopes Monzini. – São Luís, 2019.

79 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio.

1.Lajes. 2.Pré-moldadas. 3.Nervurada. I.Título

CDU: 624.073(812.1)

**ROSSINI ARANHA LOPES MONZINI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE O USO DE LAJE PRÉ-  
MOLDADA E LAJE NERVURADA: Estudo de caso em São Luís - MA.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Estadual do Maranhão –  
UEMA para o grau de bacharel em Engenharia  
civil.

Aprovado em: 05 / 07 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio (Orientador)  
Universidade Estadual do Maranhão

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. José Tadeu Moura Serra  
Universidade Estadual do Maranhão

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho  
Universidade Estadual do Maranhão

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo do curso e do estudo realizado muitas pessoas foram muito importante para desenvolver o mesmo.

Primeiramente agradeço a Deus, que sempre esteve comigo abençoando os caminhos e as escolhas tomadas, concedendo forças para concretização de mais uma conquista.

À minha família, que sem ela nada seria possível e a quem eu devo tudo adquirido ao longo dessa trajetória. Agradeço também aos professores Jorge Creso e Fernando Demétrio e à engenheira Camila Cavalcante, que me deram a oportunidade de vivenciar em obra o cenário da construção civil, onde pude aprender, na prática, conceitos conhecidos no curso, além de receber todo o acompanhamento e auxílio dos mesmos para executar as tarefas corretamente.

Grande gratidão à equipe de carpinteiros, armadores e serventes, com a qual convive na obra do prédio comercial e aprendi muito, não só sobre construção civil mas também sobre a vida.

Agradeço à todos meus amigos da turma 2014.2 do curso de engenharia civil da UEMA, pessoas que aprendi a conviver e se tornaram importantes demais na minha vida, estando presente nos momentos mais difíceis vividos ao longo dos 5 anos de curso.

Por fim, agradeço a Zal, Linda, BJ, Catita, Ivo e Túlia que estiveram ao meu lado no restante do tempo e sempre souberam apoiar e aconselhar nos momentos necessários.

## RESUMO

Os avanços tecnológicos ao longo dos anos aliados à necessidade de se economizar recursos financeiros em um canteiro tornou muito importante o conhecimento e estudo de diferentes técnicas construtivas para as mais variadas etapas de obra. Dessa forma, através deste estudo, feito embasado em uma obra de um prédio comercial na cidade de São Luís – Maranhão foi realizado a comparação entre dois dos tipos de lajes que são muito utilizados hoje em dia, as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com preenchimento em EPS e as lajes nervuradas com cubetas reaproveitáveis. Conhecendo mais a fundo cada tipo de laje, desde os materiais necessários para sua execução até os métodos construtivos, foi possível a realização de composições unitárias e fazer uma estimativa de custos para a construção do prédio comercial. Com o auxílio de órgãos como o SINAPI, planilhas orçamentárias, gráficos comparativos de autoria própria e os conhecimentos de profissionais da área, a viabilidade das diferentes alternativas de execução das lajes foi confrontada, onde as pré-moldadas com vigotas se destacaram não só pelo menor custo, mas também pela maior rapidez e facilidade na montagem da estrutura, sendo a melhor alternativa para esse estudo de caso.

**Palavras-chave:** Lajes; Pré-moldada; Nervurada; Composições; Custos; Viabilidade.

## **ABSTRACT**

Technological advances over the years coupled with the need to save financial resources in a site has made it very important to know and study different construction techniques for the most varied stages of construction. Thus, through this study, based on a work in a commercial building in the city of São Luís – Maranhão, a comparison was made between two types of slabs that are widely used today, precast slabs with truss beams with fill in EPS and the ribbed slabs with reusable buckets. Knowing more in depth each type of slab, from the materials required for its execution to the construction methods, it was possible to make unitary composition and make an estimate of cost for the construction of the commercial building. With the help of bodies such as SINAPI, budget worksheets, comparative graphics of own authorship and the knowledge of professionals in the area, the viability of the different alternatives of execution of the slabs was confronted, where the precast with beams stood out not only by the smaller cost, but also by the greater speed and ease in the assembly of the structure, being the best alternative for this case study.

**Keywords:** Slabs. Precast; Ribbed; Compositions; Cost; Viability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Representação de lajes .....	15
<b>Figura 2</b> - Representação de lajes armadas em uma e duas direções .....	16
<b>Figura 3</b> - Representação de lajes com diferentes tipos de apoio .....	17
<b>Figura 4</b> - Representação laje pré-moldada unidirecional .....	18
<b>Figura 5</b> - Representação laje pré-moldada bidirecional .....	18
<b>Figura 6</b> - Representação pré-laje .....	19
<b>Figura 7</b> - Representação vigota treliçada .....	20
<b>Figura 8</b> - Exemplo de designação de treliças .....	21
<b>Figura 9</b> - Representação vigota tipo trilho .....	21
<b>Figura 10</b> - Representação vigota tipo trilho protendido .....	22
<b>Figura 11</b> - Tabela altura da laje .....	22
<b>Figura 12</b> - Representação laje pré-moldada treliçada .....	23
<b>Figura 13</b> - Representação laje nervurada dupla .....	24
<b>Figura 14</b> - Representação laje nervurada invertida .....	25
<b>Figura 15</b> - Representação laje nervurada direta .....	25
<b>Figura 16</b> - Representação laje nervurada .....	26
<b>Figura 17</b> - Bloco cerâmico .....	27
<b>Figura 18</b> - Blocos EPS .....	27
<b>Figura 19</b> - Cubetas reaproveitáveis .....	28
<b>Figura 20</b> - Indústria de confecção de vigotas treliçadas .....	31
<b>Figura 21</b> - Estrutura de laje pré-moldada escorada .....	32
<b>Figura 22</b> - Colocação dos blocos EPS entre as vigotas .....	32
<b>Figura 23</b> - Estrutura escorada e preenchida com blocos EPS .....	33
<b>Figura 24</b> - Malha de aço aplicada para laje pré-moldada .....	33
<b>Figura 25</b> - Concretagem da laje pré-moldada .....	34
<b>Figura 26</b> - Concretagem de laje pré-moldada II .....	34
<b>Figura 27</b> - Representação de escoramento para laje nervurada com cubetas .....	35
<b>Figura 28</b> - Instalação das cubetas reaproveitáveis na laje nervurada .....	36
<b>Figura 29</b> - Aplicação da armação na laje nervurada com cubetas .....	36
<b>Figura 30</b> - Retirada de caixotes da laje nervurada .....	37
<b>Figura 31</b> - Vista aérea do local da obra realizada .....	41

<b>Figura 32</b> - Porcentagem de insumos na laje pré-moldada.....	47
<b>Figura 33</b> - Custo unitário para laje pré-moldada.....	47
<b>Figura 34</b> - Porcentagem de insumos para laje nervurada.....	50
<b>Figura 35</b> - Custo unitário para laje nervurada.....	51
<b>Figura 36</b> - Comparação de custo entre laje pré-moldada e nervurada .....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Área de concretagem por pavimento e total.....	42
<b>Tabela 2</b> - Composição unitária do concreto usinado para laje pré-moldada.....	44
<b>Tabela 3</b> - Composição unitária do aço CA60 para laje pré-moldada.....	45
<b>Tabela 4</b> - Composição unitária dos blocos EPS para laje pré-moldada .....	45
<b>Tabela 5</b> - Composição unitária do escoramento para laje pré-moldada.....	46
<b>Tabela 6</b> - Composição unitária do concreto usinado para laje nervurada.....	48
<b>Tabela 7</b> - Composição unitária do aço para laje nervurada.....	49
<b>Tabela 8</b> - Composição unitária do escoramento para laje nervurada .....	49
<b>Tabela 9</b> - Composição unitária das cubetas para laje nervurada.....	50
<b>Tabela 10</b> - Orçamento da laje pré-moldada e da laje nervurada com cubetas reaproveitáveis. ....	52
<b>Tabela 11</b> – Quadro comparativo resumo .....	54

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CA – Concreto Armado.

EPS – Poliestireno Expansível.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

KG – Quilograma.

MA – Maranhão.

NBR – Normas Brasileiras.

ORSE – Orçamento de Obras de Sergipe.

PLP – Pré-laje protendida.

PLT – Pré-laje treliçada.

SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura Cultural.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

VC – Vigota tipo trilho.

VP – Vigota tipo trilho protendido.

VT – Vigota treliça.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1. OBJETIVOS .....	12
1.1.1. Objetivo Geral .....	12
1.1.2. Objetivos Específicos .....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	13
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO .....	14
3.1. Histórico.....	14
3.2. Estrutura de Sustentação - Laje.....	14
3.3. Tipos de Laje.....	16
3.3.1. Laje Pré-Moldada.....	17
3.3.2. Laje Nervurada.....	23
3.3.3. Materiais de Enchimento.....	26
3.3.4. Vantagens e Desvantagens no uso de laje pré-moldada treliçada .....	28
3.3.5. Vantagens e Desvantagens n uso de laje nervurada .....	29
3.3.6. Metodologia construtiva.....	30
3.3.7. Execução das lajes pré-moldadas treliçadas.....	30
3.3.8. Execução das lajes nervuradas .....	35
4. METODOLOGIA .....	38
4.1. Descrição da pesquisa .....	38
4.2. Análise de resultados.....	39
5. ESTUDO DE CASO .....	41
5.1. Apresentação dos projetos.....	41
5.2. Projeto de laje nervurada.....	42
5.3. Análise e composição de custos .....	43
5.3.1. Composição para laje pré-moldada com vigotas treliçadas .....	44
5.3.2. Composição para laje nervurada .....	47
5.4. Resultados e discussões.....	51
6. CONCLUSÃO .....	57
REFERÊNCIAS .....	60
ANEXO.....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, com os crescentes investimentos públicos em infraestrutura e o aumento de poder aquisitivo nas mãos da população, o setor de engenharia civil tem se mostrado muito importante no que diz respeito à economia do país. O ramo da construção civil é um dos mais procurados no Brasil, devido a grande quantidade de empregos que são gerados e, conseqüentemente, o que mais remunera profissionais de nível superior, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Sendo assim, no que antecede a execução de pequenas e grandes obras, é necessário de um estudo detalhado das alternativas que podem ser executadas para que o planejamento do empreendimento alcance os melhores resultados tanto estruturais como financeiros.

A partir da revolução industrial veio à tona a necessidade de aperfeiçoar os setores da economia a fim de obter mais lucros com a produção. No entanto, o impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil aliado à falta de recursos que muitas vezes se instala em uma empresa cria a necessidade de se executar, qualquer que seja o serviço, de formas diferentes, sempre tentando reunir redução de custos, diminuição do tempo de execução das estruturas, e conseqüentemente da obra também, além da redução do consumo de energia e da emissão de poluentes.

Uma das principais estruturas da construção civil, e que vai servir de base para este estudo, são as lajes. Segundo Bastos (2015) essas estruturas são responsáveis por receber a maior parte dos esforços, que comumente são perpendiculares ao plano da laje, sendo transmitidos para as vigas de apoio ou, em alguns casos, diretamente aos pilares. Com os avanços do setor da engenharia civil e o crescimento das dimensões das obras, foram surgindo novos modelos de construção com o objetivo de serem mais práticos e econômicos, porém nunca deixando de lado a segurança da estrutura.

Com o grande número de empregados em canteiros de obras e em escritórios de engenharia, ocorre, inevitavelmente, a exposição de muitas ideias de qual modelo de construção de lajes se utilizarem. Sendo assim, é fundamental saber das vantagens e desvantagens de cada método, além de ser realizada uma pesquisa minuciosa dos recursos disponíveis e necessários para a melhor execução do serviço.

Dentre a variedade de tipos de lajes existem as lajes com vigotas pré-moldadas, as quais vêm ganhando muito espaço no ramo devido a sua praticidade na execução, além de dar um aspecto mais limpo à obra. Outro tipo de laje que também é bastante utilizada nos

canteiros de obras são as nervuradas, sendo conhecidas por eliminar o concreto de onde ele não é solicitado, reduzindo o custo da execução do serviço; as lajes nervuradas apresentam alguns materiais entre as nervuras, que podem ser de isopor, bloco cerâmico, concreto celular autoclavado, etc.

As lajes pré-moldadas e as nervuradas são exemplos desses novos modelos de produção que foram ganhando espaço no setor, e a partir da análise desse estudo poderemos concluir qual a melhor alternativa a ser usada. Sendo assim, este estudo será embasado em uma obra de um prédio comercial, localizada no bairro do Calhau da cidade de São Luís – MA, onde foi realizada a laje com vigas treliçadas pré-moldadas com preenchimento em isopor.

Dessa forma surgiu a oportunidade de comparar financeiramente a execução da laje pré-moldada com as lajes nervuradas para determinar qual melhor alternativa a ser usada, além de expor características de cada método de execução de uma laje.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O estudo em questão tem como objetivo geral realizar uma comparação de custos entre o uso de lajes pré-moldadas e lajes nervuradas.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Mostrar os processos de montagem dos dois tipos de laje;
- Conhecer os materiais necessários na execução dos dois tipos de laje;
- Comparar o custo unitário dos tipos de laje.

## 2. JUSTIFICATIVA

A engenharia civil é um setor que necessita evidentemente de um bom planejamento para que as etapas sejam realizadas com o mínimo de perdas possível. Hoje em dia ocorre uma grande busca por processos construtivos que reduzem custos nas obras, e fazer a escolha correta na execução de qualquer que seja a tarefa em um canteiro é capaz de aperfeiçoar todo o resultado final para o cliente.

Segundo Côrtes (2012) no ambiente econômico os recursos produtivos são escassos e caros, sendo assim seu emprego precisa ser otimizado. Na construção civil não é diferente, e os engenheiros e mestres de obra necessitam saber escolher, dentre diversas alternativas tecnicamente viáveis, a melhor opção financeiramente.

A execução de lajes requer uma quantidade de material (Ex.: concreto, ferros, etc.) que pode ser economizada a partir da forma que o serviço é realizado. Comparar as diferentes maneiras de se concretar uma laje acaba sendo muito importante para determinar a melhor alternativa a ser escolhida pela empresa e pelo cliente. Dessa forma, o foco deste estudo é analisar os custos da execução das lajes com treliças pré-moldadas e lajes nervuradas para poder comparar ambas e chegar a uma conclusão de viabilidade econômica.

### **3. REFERÊNCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Histórico**

As lajes são estruturas que já podiam ser vistas em construções muito antigas, porém bem diferentes das formas que são encontradas atualmente. Segundo Botelho e Marchetti (2002), nas pirâmides do Egito já existiam câmaras que tinham seus tetos compostos por pedras de calcário, enquanto na Roma Antiga se encontravam facilmente estruturas como arcos, ambas sendo responsáveis por resistir aos esforços solicitantes.

Na busca por um bom material para construção de lajes, é necessário que o mesmo apresente propriedades de suma importância, como boa durabilidade e alta resistência, tanto à tração como à compressão. Dessa forma, a pedra natural era vista como um bom elemento a ser usado, porém após estudos o uso era visto de forma inviável por ser frágil e apresentar baixa resistência à tração.

Em meio a essa busca por material, Botelho e Marchetti (2002) alegam que o concreto armado surgiu como forma de aliar a durabilidade da pedra, resistência do aço e a capacidade da mistura assumir qualquer forma. Dessa forma, através da combinação do concreto com o aço, posicionado corretamente, a resistência à tração era garantida.

Portanto, somando as características do concreto, como resistência à compressão, durabilidade, facilidade de se moldar na superfície de contato, resistência a fogo e água e baixo custo; com as do aço, elemento de boa ductilidade e alta resistência à compressão; foi e é possível realizar as mais variadas obras e evoluir cada vez mais no setor da construção civil.

#### **3.2. Estrutura de Sustentação - Laje**

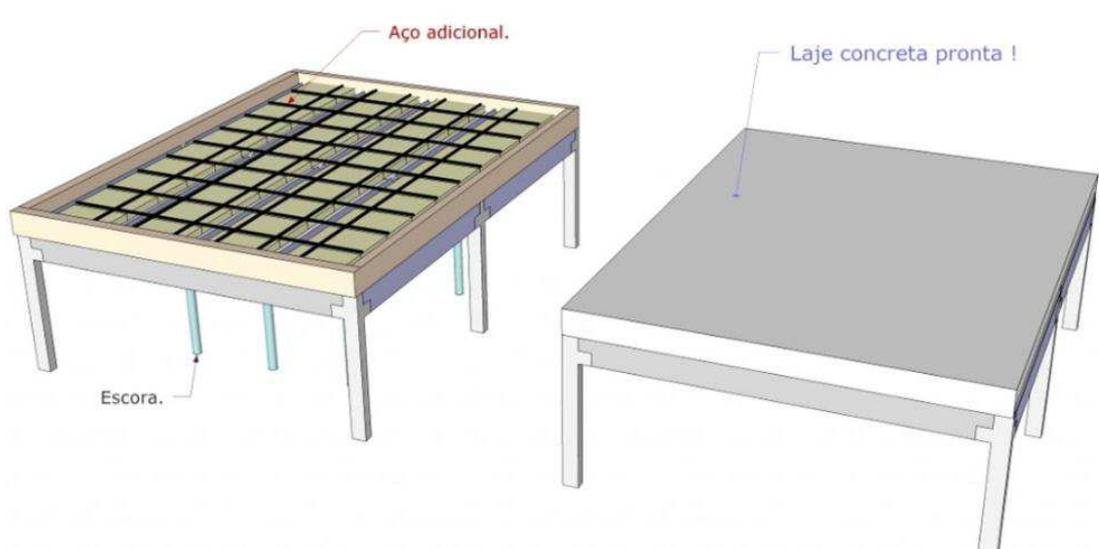
De acordo com Baraldi (2010), os sistemas estruturais podem ser definidos como o conjunto de elementos dispostos adequadamente e racionalmente, garantindo a boa sustentação de uma estrutura. Dessa forma, a correta execução de cada um dos elementos, tidos como corpos sólidos e passíveis de deformações que tem a capacidade de resistir e transmitir a esforços em geral, é de suma importância para a segurança do empreendimento.

Sendo assim, Baraldi (2010) complementa afirmando que os sistemas estruturais acabam por ser classificados em linear, onde duas das dimensões da estrutura são de mesma grandeza e menores que uma terceira dimensão; de superfície, quando duas de suas dimensões

(de mesma grandeza) são bem maiores que a terceira dimensão; e de volume, tendo as três dimensões de mesma grandeza.

Um dos elementos mais conhecidos em um sistema estrutural são as lajes, que são vistos como uma estrutura de superfície. Segundo Souza e Rodrigues (2008), as lajes são placas de concreto armado, normalmente horizontais e, nas estruturas dos edifícios, responsáveis por receber as ações verticais permanentes ou acidentais, atuantes nas estruturas dos pavimentos e das coberturas.

**Figura 1** - Representação de lajes



FONTE: Disponível em: < <https://praticaestruturas.com.br/>>, Acesso em 04 de Abril de 2019.

Para a realização de uma obra é necessário um bom projeto para que seja executado conforme as normas. Dessa forma, as lajes podem servir tanto como piso quanto como cobertura, recebendo tensões verticais que são resultantes de móveis, paredes, pessoas e outros elementos que podem constituir o pavimento. Como já foi dito, os esforços são em sua maioria perpendiculares ao plano da superfície, porém existem casos em que forças externas são exercidas na forma de momentos fletores, ocorrendo, principalmente, na borda das placas.

Dessa forma, a principal função das lajes é receber as cargas e transmiti-las para os apoios que podem ser vigas nas bordas ou apoios pontuais, os pilares. Além disso, esse elemento também tem como finalidade contraventar a estrutura, funcionando como uma placa rígida, distribuindo as cargas horizontais que atuam na estrutura.

Resumindo, as lajes podem funcionar de duas maneiras: como placa, resistindo aos esforços normais de compressão; e como chapa, suportando os esforços tangenciais.

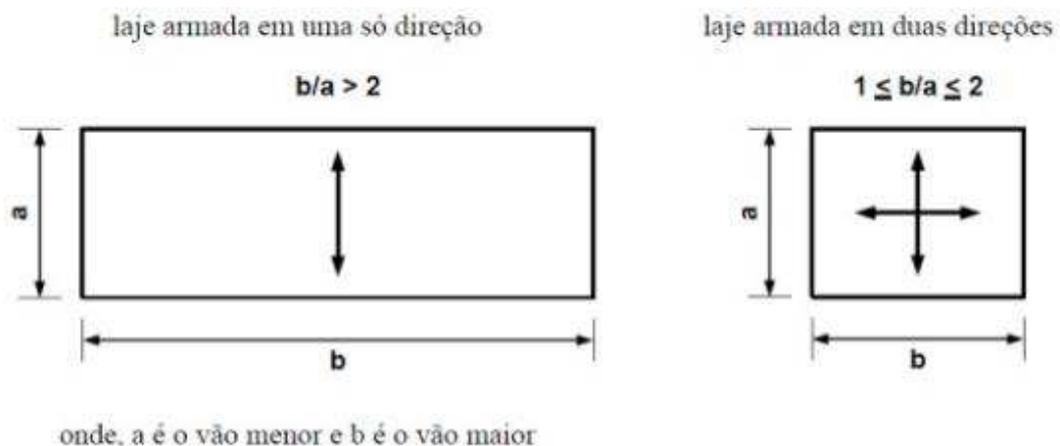
### 3.3. Tipos de Laje

Devido às diversas situações que ocorrem em um canteiro de obras e as várias solicitações dos clientes, aliados às inovações construtivas que ocorreram ao longo da história, é necessário ter o conhecimento dos tipos de lajes que podem ser executadas para que seja feita a melhor escolha para a estrutura. Mediante a decisão tomada são realizados os dimensionamentos e projetos que servirão de base para a construção da laje.

De acordo com Souza e Cunha (1998) podemos classificar as lajes em quatro critérios, são eles: forma, natureza, tipo de apoio e tipo de armação.

Quanto ao tipo de armação, as lajes podem ser armadas em uma ou em duas direções (figura 2); à forma, é definida de acordo com o projeto a ser seguido, podendo ser retangular, quadrada, em L, circular, etc.

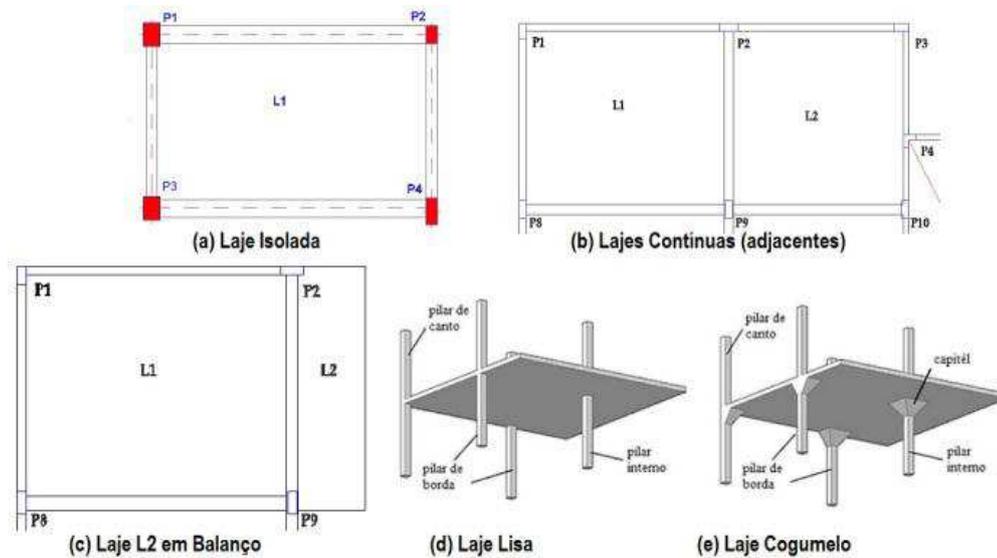
**Figura 2** - Representação de lajes armadas em uma e duas direções



FONTE: Lajes em Concreto Aramado e Protendido, 1998.

Já no que diz respeito ao tipo de apoio, as lajes podem apresentar apoios contínuos, discretos ou em apenas um trecho da estrutura (figura 3); e quanto à natureza, as lajes podem ser maciças, nervurada, mistas, etc.

**Figura 3** - Representação de lajes com diferentes tipos de apoio



FONTE: Lajes em Concreto Armado e Protendido, 1998.

No entanto, as lajes ainda são classificadas quanto ao meio de fabricação, podendo ser pré-moldadas ou executadas in loco (realizadas totalmente no local em que vai ser construída).

Para efeito de estudo serão tratados nesse trabalho apenas os tipos de laje pré-moldadas e nervuradas, duas alternativas que ganharam muito espaço na construção civil, devido muito a sua praticidade e economia.

### 3.3.1. Laje Pré-Moldada

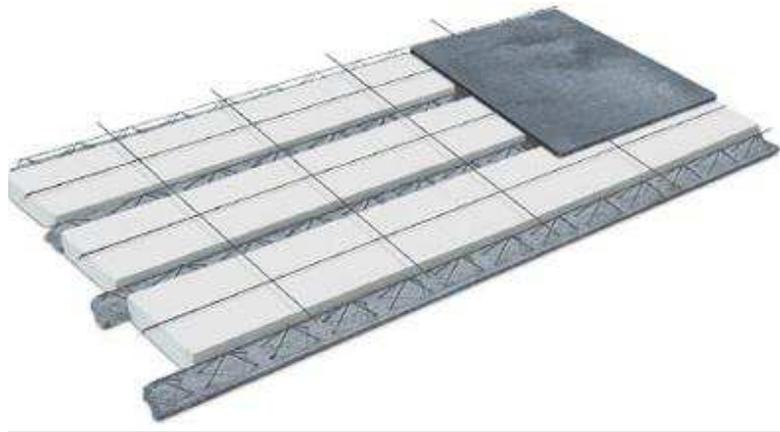
Segundo Bastos (2015), define-se como laje pré-moldada a estrutura que tem suas partes constituintes fabricadas em escala industrial dentro de um canteiro de uma indústria especializada, podendo ser de concreto armado ou protendido. Vale frisar que esse tipo de laje pode ser comum tanto em obras de pequeno porte, como também em obras mais complexas.

Devido a maior facilidade de manuseio, a laje pré-moldada ainda pode ser classificada em três grupos, são eles:

- Laje pré-moldada unidirecional

Segundo a NBR 14860-1 (2002) esse tipo de laje apresenta seção final maciça ou nervurada. Medrano, Figueiredo e Carvalho (2005) complementam afirmando que as mesmas são constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em apenas uma direção. Podendo utilizar de nervuras transversais para dar mais suporte à estrutura;

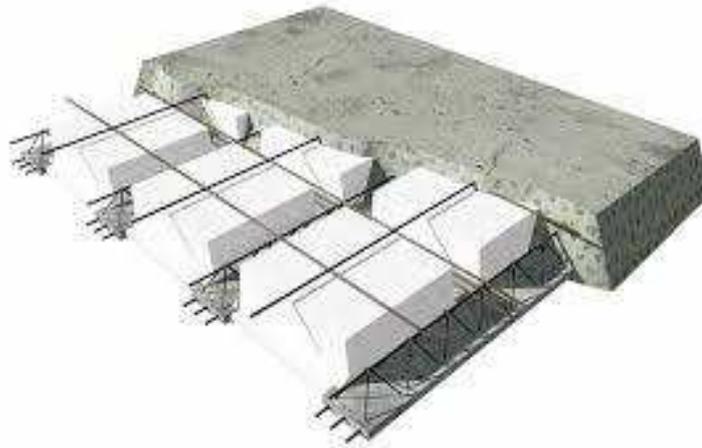
**Figura 4** - Representação laje pré-moldada unidirecional



FONTE: Catálogo PRÉ-MOLD RM, disponível em <<http://www.premoldrm.com.br/>>, acesso em 06 de Abril de 2019.

- Laje pré-moldada bidirecional  
Apresenta nervuras principais em duas direções;

**Figura 5** - Representação laje pré-moldada bidirecional



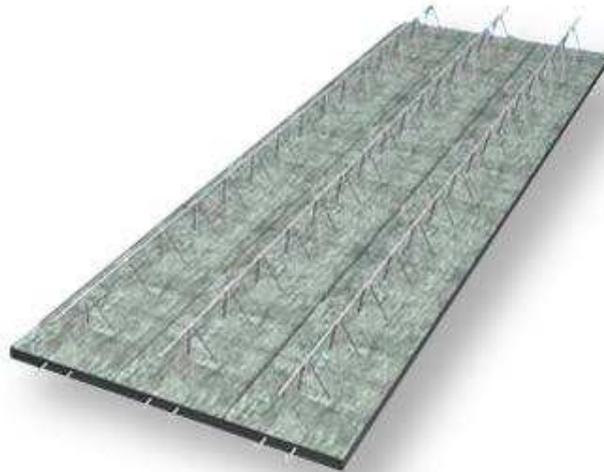
FONTE: Catálogo PRÉ-MOLD RM, disponível em <<http://www.premoldrm.com.br/>>, acesso em 06 de Abril de 2019.

- Pré-laje

De acordo com Bastos (2015), são placas de 3 a 5 cm fabricadas com larguras padrões, constituídas de concreto estrutural realizadas em fábricas ou, em alguns casos no próprio canteiro da obra, devendo haver um alto controle de qualidade. A pré-laje acaba por englobar total ou parcialmente a armadura inferior (tração) da estrutura, pode ser uni ou

bidirecional. Segundo NBR 14860-1 (2002), as pré-lajes ainda podem ser denominadas de PLT (Pré-laje treliçada) ou PLP (Pré-laje protendida).

**Figura 6** - Representação pré-laje



---

FONTE: Catálogo PRÉ-MOLD RM, disponível em <<http://www.premoldrm.com.br/>>, acesso em 06 de Abril de 2019.

Como característica principal das lajes pré-moldadas, a execução dos elementos constituintes nas indústrias especializadas requer um controle de qualidade, não só na execução como também no transporte desses elementos ao local da obra. Ainda assim, deve ser feita uma inspeção não só por um responsável pela fábrica, mas também pelo engenheiro da obra requisitante e seus empregados que irão manusear as peças.

Vale salientar uma série de benefícios que podem acompanhar a utilização dessas peças pré-moldadas, desde a viabilidade econômica, sendo consequência de outras vantagens como a redução de prazos que acaba por reduzir o cronograma da obra, além de diminuir alguns custos indiretos. Outros benefícios que se pode alcançar são em questão da vida útil da construção e também a limpeza e organização do canteiro de obra durante a execução de tais serviços.

Dentre os elementos feitos no canteiro de uma fábrica estão as vigotas, as quais, segundo Dorneles (2014) são elementos lineares pré-fabricados cuja função é resistir aos esforços a partir do momento em que se une à camada de concreto.

Com as inovações construtivas que ocorreram, a construção das vigotas acabaram por serem possíveis através de algumas técnicas. Seguem elas abaixo:

- Vigota tipo treliça (VT)

Esse tipo de vigota é utilizado nas lajes pré-moldadas treliçadas e possuem uma armadura em forma de treliça. Essas pequenas vigas possuem uma sessão de concreto pequena que envolve a armadura parcialmente. Em alguns casos existe a necessidade de uma armação de tração que ficará completamente envolvida pela placa de concreto da vigota.

Segundo a norma NBR 14862, a armadura da vigota treliçada é composta por um cabo de aço no banzo superior ligado por meio de dois fios de aço na diagonal (sinusóide) a outros dois cabos que compõem o banzo inferior (o qual fica completamente envolvido pelo concreto da vigota). Flório (2004) complementa afirmando que a altura da treliça pode variar entre 7 e 25 cm, o passo da sinusóide normalmente é de 20 cm e a distância entre as duas barras do banzo inferior geralmente é de 8 cm.

**Figura 7 - Representação vigota treliçada**



---

FONTE: Disponível em < <http://tecnicolaje.blogspot.com/p/laje.html> >, acesso em 09 de Abril de 2019.

Pela quantidade de materiais a serem utilizados na construção e os diferentes tamanhos dos mesmos, as vigotas tipo treliça recebem um padrão para que sejam identificadas. Esse padrão consiste em serem designadas pelo código TR seguido de um ou dois dígitos que representam a altura do trilho, mais três números que indicam a bitola do aço utilizado nos banzos inferiores e superiores e também na sinusóide.

**Figura 8** - Exemplo de designação de treliças

Especificações do Produto						
Modelo	Designação	Altura (h) (mm)	Composição/Fios			Peso Linear (kg/m)
			Superior (ø S)	Diagonal (ø D)	Inferior (ø I)	
TB 8L	TR 8644	80	6,0	4,2	4,2	0,735
TB 8M	TR 8645	80	6,0	4,2	5,0	0,825

FONTE: Manual técnico de lajes treliçadas – Ancelormittal, disponível em <<https://loja.ancelormittal.com.br/>> acesso em 09 de Abril de 2019.

- Vigota tipo trilho (VC)

De acordo com a norma NBR 14859-1 esse tipo de pré-moldado consiste em uma vigota de concreto armado em formato de “T” invertido com uma armadura passiva completamente envolvida pelo concreto. Ainda complementado pela norma a armadura na parte inferior é longitudinal resistindo aos esforços de tração. Geralmente esse tipo de vigota é associado a materiais de enchimento, os quais podem ser de isopor, blocos cerâmicos, etc.

**Figura 9** - Representação vigota tipo trilho

FONTE: Disponível em <<http://tecnicolaje.blogspot.com/p/laje.html>>, acesso em 09 de Abril de 2019.

- Vigota tipo trilho protendido (VP)

Esse tipo de vigota é muito parecido com a do tipo trilho, apresentando um formato de “T” invertido, no entanto é constituída por uma armadura ativa pré-tracionada que é completamente envolvida pela placa de concreto. É bastante utilizada na construção de lajes de concreto protendido e muito associada a materiais de enchimento.

**Figura 10** - Representação vigota tipo trilho protendido

FONTE: Disponível em < <http://tecnicolaje.blogspot.com/p/laje.html> >, acesso em 09 de Abril de 2019.

### 3.3.1.1. Laje Pré-Moldada Treliçada

Segundo Flório (2004), as lajes com vigotas treliçadas são sistemas formados por nervuras, as quais são formadas por pequenas vigas do tipo treliça pré-moldadas em concreto armado. Medrano, Carvalho e Figueiredo (2005) complementam caracterizando as vigotas treliçadas como elementos esbeltos dispostos em uma direção, geralmente ao longo do menor vão, e espaçados de modo uniforme sendo preenchidos por materiais de enchimento, os quais, segundo a NBR 14859-1 (2002), são pré-fabricados partir de vários materiais inertes que podem ser maciços ou vazados, contribuindo para reduzir o volume de concreto e o peso da estrutura. Vale frisar que os materiais de enchimento são desconsiderados para os cálculos de resistência e rigidez da laje.

Devido à padronização das dimensões dos materiais a serem utilizados, principalmente os blocos de enchimento, a altura da laje pré-moldada treliçada deve sofrer alterações, sendo representadas na tabela da figura 11, retirada da NBR 14859, que estabelece os requisitos para a utilização desse tipo de laje.

**Figura 11** - Tabela altura da laje

Dimensões em centímetros	
Altura do elemento de enchimento ( $h_e$ )	Altura total da laje ( $h$ )
7,0	10,0 ; 11,0 ; 12,0
8,0	11,0 ; 12,0 ; 13,0
10,0	14,0 ; 15,0
12,0	16,0 ; 17,0
16,0	20,0 ; 21,0
20,0	24,0 ; 25,0
24,0	29,0 ; 30,0
29,0	34,0 ; 35,0

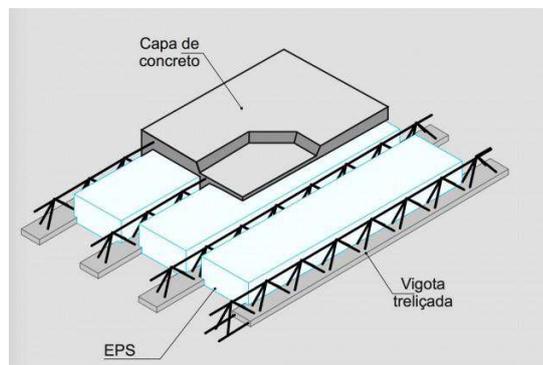
FONTE: NBR 14859 – Lajes Unidirecionais, 2002

Após o preenchimento das lacunas e a verificação da estrutura é aplicada uma malha de aço como armadura complementar, seguida de acordo com o projeto elaborado. De acordo com a NBR 14859-1 (2002), esta armadura pode ser disposta longitudinalmente, transversalmente ou distribuídas. Com a estrutura pronta, é lançada uma camada de concreto (capa) que tem a função de distribuir as tensões que atuam na estrutura, aumentar a resistência à flexão e nivelar o piso ou cobertura.

Dessa forma, Flório (2004) ainda afirma que ao final da concretagem da laje, as vigotas do tipo treliça têm a função de suportar seu peso próprio, assim como do material de enchimento, da capa de concreto e, também, dos materiais a serem utilizados ao longo da concretagem.

Dentre os usos desse tipo de laje, Medrano, Carvalho e Figueiredo (2005) alertam para a facilidade de execução perante às outras alternativas da construção civil, sendo encontrado em edifícios residenciais, comerciais, pontes, viadutos, fábricas e pequenas habitações.

**Figura 12** - Representação laje pré-moldada treliçada



FONTE: Guia de Profissões, disponível em < <https://www.habitissimo.com.br/> > , acesso em 10 de Abril de 2019.

### 3.3.2. Laje Nervurada

Com os avanços tecnológicos no setor da engenharia civil, o aumento dos vãos nas obras e a necessidade de racionalizar custos e materiais utilizados, as lajes maciças foram se tornando inviáveis pela grande quantidade de desperdício e elevados valores financeiros no seu método construtivo. Sendo assim, as lajes nervuradas foram ganhando espaço por se mostrar uma alternativa mais econômica, além de apresentar outra série de vantagens.

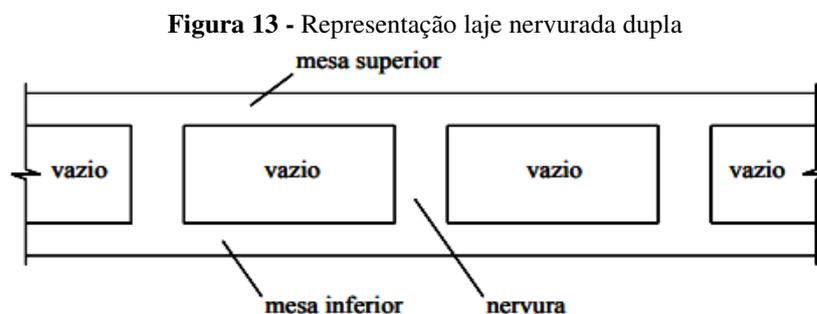
Segundo a norma NBR 6118 (2003), as lajes nervuradas são estruturas moldadas no local da obra ou, em alguns casos, podem apresentar nervuras pré-moldadas, entre as quais deve ser colocado um material inerte, o mesmo não é considerado para cálculo de resistência,

não contribuindo para o aumento da mesma, são as nervuras em conjunto da capa de concreto que tem esse papel. Pinheiro e Rezende (2003) complementam afirmando que a laje nervurada é um conjunto formado por vigas que se cruzam solidarizadas por uma mesa, uma camada de concreto.

De acordo com a definição em norma, as lajes nervuradas podem ser classificadas como “in loco”, quando todas as etapas são realizadas no canteiro de obras, sendo necessário o uso de fôrmas e escoras, além do material de enchimento; ou com nervuras pré-moldadas, formada por vigotas pré-fabricadas, dispensando o uso de fôrmas. Essas são capazes de suportar seu peso próprio, o peso da camada de concreto, o material de enchimento e todos os equipamentos a serem utilizados na concretagem.

Segundo Silva (2005), as lajes nervuradas ainda podem ser classificadas quanto ao número de mesas que se encontram na laje e, também, pela posição das nervuras na seção transversal. Dessa forma, a laje nervurada pode ser dupla, invertida ou direta.

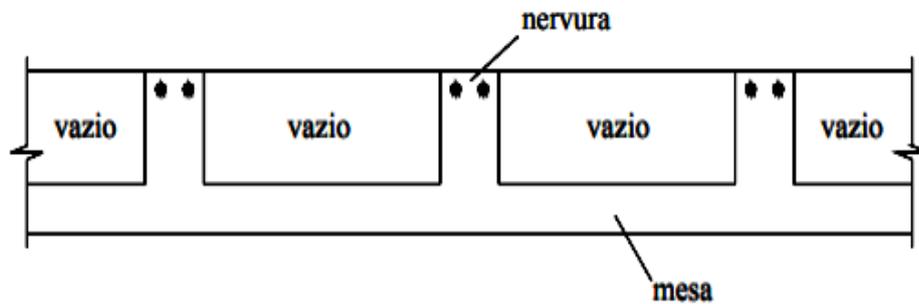
Na laje nervurada dupla as nervuras ficam localizadas entre duas mesas de concreto (inferior e superior) e são colocados materiais de enchimento entre as mesmas. Nesse caso, as fôrmas ou materiais de enchimento serão perdidas. Por apresentar uma difícil execução, este modelo está em desuso atualmente.



FONTE: Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado, 2005.

Na laje do tipo invertida a mesa de concreto se localiza na base inferior e as nervuras se tornam aparentes. Nesse caso os materiais de enchimento são aplicados normalmente e podem ser retirados, ou não, posterior a execução. Este tipo de laje nervurada é comumente usado em lajes em balanço, as quais apresentam momentos negativos, sendo uma boa solução para vencer os esforços.

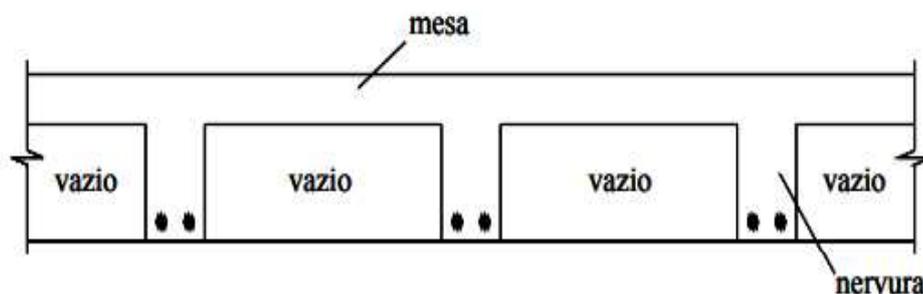
**Figura 14** - Representação laje nervurada invertida



FONTE: Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado, 2005.

Já a laje nervurada do tipo direta (normal) é a mais comum de ser encontrada nas obras hoje em dia, sendo aquela em que a mesa se encontra na parte superior e as nervuras são inferiores. Neste caso o material de enchimento não tem função estrutural e permanece durante a execução para servir de fôrma para a mesa de concreto. Sendo assim, por ser a técnica de laje nervurada mais usada, será o tipo de estrutura a ser considerada para este estudo.

**Figura 15** - Representação laje nervurada direta

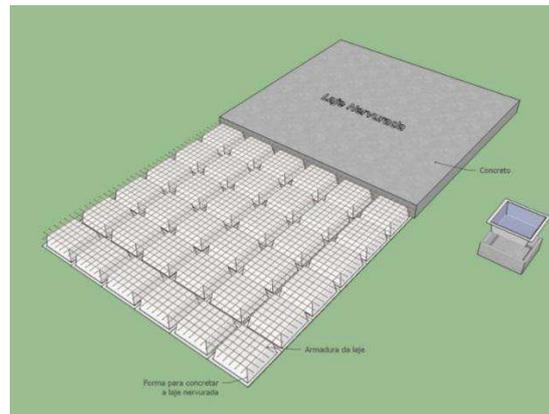


FONTE: Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado, 2005.

Esse tipo de laje é comumente indicado em casos onde há a necessidade de vencer grandes vãos, ocorrendo uma redução considerável na quantidade de pilares, ou onde se tem altas atividades verticais.

Pinheiro e Rezende (2003) chamam a atenção para alguns casos em que podem existir tensões transversais na região dos apoios nesse tipo de laje, podendo ocasionar ruínas por punção ou cisalhamento. Dessa forma, é possível que apareçam regiões maciças ao redor dos pilares, formando um capitel ou, também, faixas maciças em uma ou duas direções na extensão de toda a laje. O uso do capitel é comum em sistemas sem vigas ou com vigas apenas no perímetro da edificação.

**Figura 16** - Representação laje nervurada



FONTE: Catálogo Digital de Detalhamento de Construção – 2012, disponível em <<https://cddcarqfevale.wordpress.com/2012/07/11/lajes-nervuradas/>>, acesso em 10 de Abril de 2019.

### 3.3.3. Materiais de Enchimento

Como foi visto uma das características das lajes pré-moldadas treliçadas e das lajes nervuradas é a presença de materiais de enchimento que ficam posicionados entre as nervuras. Segundo Dorneles (2014), esses materiais tem a finalidade de reduzir o peso próprio da estrutura, minimizar os custos e adicionar particularidades ao produto final. Pinheiro e Rezende (2003) contribuem atestando que apesar de ser o mais leve possível, o material deve apresentar resistência suficiente para suportar as tensões no momento de execução.

Vale frisar, de acordo com Bastos (2015), que a resistência do material de enchimento não é considerada, ou seja, não contribui para aumentar a resistência da laje nervurada e pré-moldada. São as nervuras, unidas e solidarizadas pela mesa (capa) que proporcionam a necessária resistência e rigidez.

Sendo assim, no mercado existem diferentes tipos de materiais de enchimento que podem ser utilizados. Alguns deles são:

- Bloco cerâmico

Geralmente são constituídos de tijolos furados e apresentam algumas vantagens como seu custo reduzido, além de facilidade de encontrar no mercado. Esse material ainda é conhecido como o melhor isolante térmico, porém apresenta algumas desvantagens como seu peso específico elevado para um material de enchimento e também a impossibilidade de ser cortado.

**Figura 17 - Bloco cerâmico**



FONTE: Cerâmica Kasparly, disponível em < <http://www.ceramicakasparly.com.br/>>, acesso em 10 de Abril de 2019.

- Blocos de EPS (Isopor)

As placas de isopor tem ganhado grande espaço na construção civil por se demonstrar um material muito viável em lajes com vigotas pré-moldadas do tipo treliça. Seu uso possibilita a execução de piso e tetos planos, além de apresentar uma facilidade em seu corte. É importante frisar que este material resiste muito bem às operações de montagem ao longo da concretagem e proporciona uma excelente vedação, diminuindo os desperdícios.

Os blocos de EPS apresentam algumas propriedades que garantem sua viabilidade de uso, como um baixo coeficiente de absorção, favorecendo para a cura do concreto no local, e um baixo módulo de elasticidade, garantindo uma distribuição de cargas mais uniforme. Além de ser um ótimo isolante termo-acústico.

**Figura 18 - Blocos EPS**



FONTE: ISOFORM – Soluções Térmicas, disponível em < <http://www.isoform.com.br/eps.html#enchimento>>, acesso em 10 de Abril de 2019.

- Caixotes reaproveitáveis

Essas caixas servem como materiais de enchimento, no entanto ao final da execução resultam em vazios, diminuindo o peso próprio da estrutura. Podem ser de metal ou

polipropileno, são leves, possuem fácil montagem e estocagem. Além disso, durante sua execução podem apresentar compatibilização de projetos elétricos, hidrossanitários, etc.

A maior de suas peculiaridades e vantagens é a possibilidade de serem reutilizadas, tendo sua remoção feita através da injeção de ar comprimido, podendo, segundo alguns fornecedores, ser aproveitadas mais de cem vezes.

**Figura 19 - Cubetas reaproveitáveis**



FONTE: TEXLOCK – Locações Construtivas, disponível em < <https://texlock.com.br/locacao-de-formascubetas-para-lajes-nervuradas/>>, acesso em 10 de Abril de 2019.

### **3.3.4. Vantagens e Desvantagens no uso de laje pré-moldada treliçada**

Como já foi dito, a busca pela racionalização de custos é uma ideia bem clara hoje em dia nas empresas de engenharia civil e as lajes pré-moldadas, em geral, são vistas como boas alternativas para alcançar esse objetivo. Brumatti (2008) afirma que os elementos pré-moldados possuem várias vantagens técnico-econômicas que possibilitam aperfeiçoar tanto a execução da obra, como também o resultado final da mesma, levando muito em consideração a economia de material utilizado.

Dentre as vantagens que as lajes pré-moldadas com vigotas tipo treliça apresentam, podemos listar uma serie de pontos:

- Redução na mão-de-obra utilizada na montagem da estrutura, que consequentemente irá acarretar na diminuição de gastos com encargos e outros custos com os trabalhadores;
- Maior rapidez na montagem da estrutura, levando em consideração a não necessidade do uso de fôrmas e a menor quantidade de escoramento, o que gera um melhor sistema de vibração;

- Com a utilização do material de enchimento ocorre uma redução no peso da estrutura, devido ao menor utilização de concreto junto à racionalização do uso de armadura;
- Redução de perda de concreto;
- Maior segurança no canteiro da obra;
- As instalações elétricas podem ser embutidas na capa do concreto ou pelos banzos da treliça;
- Melhor conforto térmico e acústico, quando é utilizado como material de enchimento as placas de isopor.

No entanto, existem também algumas desvantagens quanto ao uso desse tipo de laje, limitando em alguns casos a utilização dessa alternativa. Medrano, Figueiredo e Carvalho (2005) sustentam algumas das inconveniências da laje pré-moldada com vigotas do tipo treliça, sendo elas:

- Inviabilidade de atender a grandes vãos, devido ao fato de não existirem estribos na armadura das vigotas;
- Aparecimento de fissuras ao longo dos anos, ocasionado pela má aderência entre o concreto da capa e as vigotas treliçadas;
- Dificuldade e risco de içamento de vigotas para alturas maiores; deve ser levada em consideração a altura final da obra para que os custos com o transporte dos elementos pré-moldados até pavimento superiores não elevem os custos e inviabilize o empreendimento.

### **3.3.5. Vantagens e Desvantagens n uso de laje nervurada**

As lajes nervuradas surgiram como alternativa perante as lajes maciças buscando reduzir os custos e os desperdícios de materiais, mas nunca deixando de lado os critérios mais importantes que são a resistência da estrutura e a segurança do empreendimento. Dessa forma, esse tipo de laje apresenta algumas vantagens que possibilitou o crescimento desse processo construtivo.

Segundo Bastos (2015), dentre as vantagens desse modelo de laje estão a redução do peso da estrutura, levando em consideração que ocorre uma redução do volume de concreto que é substituído pelo material de enchimento situado entre as nervuras; uma diminuição ou até eliminação do uso de fôrmas, ocasionando uma clara redução de custos

com madeira e outros materiais; além disso, esse tipo de laje apresenta uma maior viabilidade para vencer grandes vãos.

Nappi (1993) complementa enfatizando a fácil montagem desse método de construção de laje e tendência de dar maior rigidez à estrutura. Ainda podemos citar a maior flexibilidade quanto ao posicionamento das paredes que serão levantadas no pavimento da laje e a possibilidade de haver descontinuidade no piso.

Apesar de ser vista como uma das grandes alternativas para economizar tempo, recursos financeiros e materiais, as lajes nervuradas também apresentam algumas desvantagens em seu uso. Nappi (1993) alega ocorrer uma utilização maior de aço, além de requerer maiores cuidados durante a execução da laje. No entanto, a maior das desvantagens trata do possível elevado preço dos materiais inertes ou, em casos de ausência destes, do alto consumo de fôrmas.

### **3.3.6. Metodologia construtiva**

De acordo com a norma NBR 14931 do ano de 2004, no que antecede uma construção, seja de uma obra de grande ou pequeno porte, a execução dos serviços deve ser baseada em projetos estruturais que são elaborados de acordo com o que é estabelecido nas normas brasileiras ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 7187 e outras.

Outro fator que deve ser levado em consideração é o local em que será instalado o canteiro de obras. Segundo a NBR 14931, esse espaço deve estar de acordo com as características da obra que será realizada, sendo previstos os locais em que serão estocados os materiais e equipamento a serem utilizados. Ainda é necessário, conforme a norma regulamentadora NR 18, a execução e organização de instalações básicas, como refeitório, banheiro, ambulatório, escritório, almoxarifado, etc., para assegurar as condições adequadas para os trabalhadores.

Devido à variedade de tipos de lajes, cada uma possui peculiaridades no que diz respeito à execução da estrutura. Sendo assim, operários envolvidos devem obedecer às normas de segurança e utilizar os EPIs de forma correta para evitar possíveis acidentes.

### **3.3.7. Execução das lajes pré-moldadas treliçadas**

As lajes pré-moldadas com vigotas do tipo treliça são conhecidas por apresentar uma fácil montagem e execução. Segundo Brandalise e Wessling (2015), esse tipo de laje tem

um modelo construtivo muito parecido com as lajes maciças, porém ocorrem em menor tempo devido a não necessidade do uso de fôrmas.

Sendo assim, a execução das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas seguem alguns passos, estabelecidos pela norma NBR 14860-1 (2002) que devem ser realizados adequadamente para não acarretar problemas futuros.

1ºPasso: Primeiramente, antecedendo toda a execução da laje, é realizada a fabricação das vigotas pré-moldadas do tipo treliça. Essa pequenas vigas são, geralmente, fabricadas em indústrias especializadas e com rigor controle de qualidade, porém existem casos em que podem ser feitas no próprio canteiro de obra em que será construída a estrutura. Brandalise e Wessling (2015) complementam afirmando que, durante a fabricação, as treliças são colocadas em fôrmas metálicas preparadas com desmoldantes com medidas pré-definidas em projeto. Após atingirem a resistência mínima desejada, as vigotas podem ser retiradas das fôrmas, estocadas e transportadas até o local em que serão usadas.

**Figura 20** - Indústria de confecção de vigotas treliçadas



FONTE: PROLAJE – Lajes Protendidas, disponível em < <http://prolaje.com.br/>>, acesso em 10 de Abril de 2019.

2º Passo: Seguindo com o planejamento de execução da laje pré-moldada e após recebimento do material no canteiro de obras, chega à etapa de instalação e escoramento dos elementos pré-fabricados. Esse momento, segundo Leite (2015), consiste em dispor as vigotas nos vãos de acordo com as dimensões de projeto, ficando espaçadas de acordo com a largura do material de enchimento. Após as colocação de todos os elementos pode ser realizado o escoramento através de escoras metálicas, as quais, segundo Brandalise e Wessling (2015), devem ficar espaçadas em 40 a 60 cm transversalmente e 1,5 metros na linha da vigota.

**Figura 21** - Estrutura de laje pré-moldada escorada



FONTE: O autor (2019).

3º Passo: A seguir ocorre o preenchimento dos espaços entre as vigotas pré-moldadas. Nessa fase são colocados os materiais, como blocos cerâmicos, placas de isopor, etc., de modo que o plano da laje fique completamente vedado para que não haja desperdício de concreto.

**Figura 22** - Colocação dos blocos EPS entre as vigotas



FONTE: O autor (2019).

Existem casos em que as placas de isopor (EPS) podem ser menores ou maiores que os vãos em que serão instaladas. Dessa forma, são cortadas para que o encaixe seja perfeito e a vedação do espaço correta.

**Figura 23** - Estrutura escorada e preenchida com blocos EPS



FONTE: O autor (2019).

4º Passo: Dando continuidade a execução, conforme Leite (2015), todo o pano da laje é coberto por uma malha de aço, aumentando a resistência e criando uma estrutura mais rígida juntamente ao concreto.

**Figura 24** - Malha de aço aplicada para laje pré-moldada



FONTE: O autor (2019).

Deve-se salientar para a existência de outros projetos, como elétricos, de esgoto e hidráulicos. Dessa forma, é importante manter locais de espera para que seja passados cabos e canos desses sistemas.

5º Passo: Após toda a estrutura executada e as esperas prontas, é realizada a concretagem. Brandalise e Wessling (2015) enfatiza a importância de se aplicar uma quantidade de água na superfície superior dos blocos de enchimento e das vigotas para evitar a perda de umidade do concreto a ser lançado.

**Figura 25** - Concretagem da laje pré-moldada



FONTE: O autor (2019).

Após a concretagem realizada é fundamental e de vital importância que o processo de cura seja executado, mantendo o concreto da estrutura saudável, a fim de evitar patologias na laje.

**Figura 26** - Concretagem de laje pré-moldada II



FONTE: O autor (2019).

### 3.3.8. Execução das lajes nervuradas

As lajes nervuradas como alternativa na contenção de custos, além de se mostrar uma opção muito eficiente. Esse tipo de laje apresenta características específicas que acabam necessitando de uma atenção especial no momento da montagem e execução da mesma. Rizzatti (2017) completa afirmando que por possuir aspectos distintos, as lajes nervuradas requerem certo cuidado, pois não adiantará ter uma estrutura bem projetada se ocorrerem erros em sua montagem.

Sendo assim, seguem os passos a serem acompanhados:

1º Passo: É necessário, antes de tudo, realizar o escoramento da estrutura que irá ser executada. Segundo Rizzatti (2017) e Bocchi (1995), tal escoramento pode ser realizado por escoras de madeira ou metálicas. A escolha do material da escora é realizada após uma análise do tamanho da obra, o que será construído, disponibilidade de recursos financeiros, etc. De acordo com Rizzatti (2017), é de vital importância a verificação de prumo para que não ocorram desníveis que prejudiquem a estabilidade da estrutura. Nesse tipo de laje também pode haver a necessidade de possuir assoalho durante a montagem, o qual é escorado para que as cubetas se apoiem melhor e mais firmes.

**Figura 27** - Representação de escoramento para laje nervurada com cubetas



FONTE: Steel Escoramentos, disponível em < <https://stelescoramentos.com.br/>>, acesso em 12 de Abril de 2019.

2º Passo: Como principal característica desse tipo de laje é a eliminação do concreto em áreas que o mesmo não é solicitado, cabe ao material de enchimento ou fôrmas substituírem esse material. Conforme Rizzatti (2017) explica, existem diversos materiais que podem substituir o concreto nessa situação e é preciso conhecê-los para que se aplique o

adequado, deixando a laje da forma que se deseja. Para efeito deste estudo, as lajes nervuradas serão consideradas com blocos de enchimento que consistem em fôrmas de plástico ou metal, as quais podem ser reaproveitadas após seu uso. Tais fôrmas acabam por serem colocadas sobre assoalhos que se apoiam nas escoras, preparando para o recebimento do concreto.

**Figura 28** - Instalação das cubetas reaproveitáveis na laje nervurada



FONTE: ORGUEL – Lajes Nervuradas Mecaner – 3, disponível em < [http://www.grupoorguel.com.br/?attachment\\_id=7384](http://www.grupoorguel.com.br/?attachment_id=7384)>, acesso em 12 de Abril de 2019.

3º Passo: Esta etapa da execução requer atenção nos projetos elaborados, seguindo a risca os dados nas plantas de estruturas. Após o escoramento e colocação das fôrmas, o plano da laje recebe a armadura, que, segundo Bocchi (1995), são postas nas nervuras (zona de tração) e também na mesa (zona de compressão). É muito importante que a ferragem seja bem amarrada para que no momento do lançamento do concreto na laje não ocorra nenhum imprevisto.

Vale salientar a questão dos capiteis ou faixas que não recebem as fôrmas, porém, segundo Rizzatti (2017) recebem uma armadura mais carregada e são concretados normalmente.

**Figura 29** - Aplicação da armação na laje nervurada com cubetas



FONTE: Brasil ATEX – A fôrma da laje, disponível em < <https://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/>>, acesso em 12 de Abril de 2019.

4º Passo: A etapa da concretagem requer muita atenção, sendo necessária uma vistoria em todos os processos realizados até que seja iniciado o lançamento de concreto. Tendo a concretagem se iniciado, é importante que a equipe esteja bem organizada e ciente de cada uma de suas obrigações. Rizzatti (2017) e Bocchi (1995) salientam para a importância do adensamento do concreto lançado, o qual é realizado com o auxílio de vibradores que tornam o concreto mais homogêneo. É fundamental que se encoste o menos possível na armação, a fim de evitar que a mesma se afaste uma da outra, ocasionando problemas futuros na estrutura.

5º Passo: A cura é um processo que toda estrutura de concreto deve passar, pois torna o elemento mais saudável e evita imprevistos. Bocchi (1995) afirma que até o momento em que a laje não atingir resistência e endurecimento satisfatório, ela deve ser tratada para que não fique exposta a agentes prejudiciais, como altas variações de temperatura, secagem rápida, choques, agentes químicos, etc.

6º Passo: Por fim, após alcançar os resultados esperados em projeto e ser realizada corretamente a cura do concreto, é permitida a retirada das fôrmas e das escoras. A remoção das fôrmas, conforme Bocchi (1995) deve ser realizada sem choques na estrutura. Dorneles (2014) ainda finaliza afirmando que as fôrmas começam a ser retiradas, em média, no terceiro dia após a concretagem, ocorrendo pelas fôrmas laterais. Ao sétimo dia podem ser retiradas as fôrmas que se situam em volta de pilares e entre 21 e 28 dias o restante delas e as escoras podem ter seu uso cessado.

**Figura 30** - Retirada de caixotes da laje nervurada



FONTE: Revista Técnica, disponível em < <https://techne.pini.com.br/>>, acesso em 13 de Abril de 2019.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Descrição da pesquisa

Esta pesquisa consiste em um estudo comparativo para analisar a viabilidade financeira entre dois dos tipos de lajes que são utilizados como medidas para conter despesas, as lajes pré-moldadas com vigotas do tipo treliça e as lajes nervuradas com cubetas. A oportunidade deste estudo surgiu a partir de uma obra de um prédio comercial localizado em um bairro nobre na cidade de São Luís, Maranhão, na qual foi escolhida a opção de se construir as lajes com vigotas treliçadas.

Foi acompanhada a execução do projeto de um prédio comercial em laje pré-moldada com vigotas tipo treliça e com preenchimento em blocos de isopor (EPS).

Partindo do conhecimento das normas técnicas e pesquisas realizadas sobre alternativas para execução desse tipo de estrutura, surgiu a curiosidade de analisar a viabilidade dentre outras opções, tendo como parâmetro o método construtivo utilizado na obra do prédio comercial.

Primeiramente, com os projetos da obra em mãos, através da plataforma AutoCAD, foi necessário conhecer mais sobre a obra e suas dimensões para calcular a área total de concretagem, para que, posteriormente, o cálculo do custo total pudesse ser feito. Sendo assim, deu-se início à pesquisa bibliográfica mais detalhada para conhecer não só as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, mas também as lajes nervuradas com cubetas.

Através da pesquisa bibliográfica foi possível conhecer mais sobre as lajes em geral, sendo foi muito importante para entender algumas peculiaridades sobre cada tipo de laje estudado, desde seus materiais, métodos de construção e, claro, vantagens e desvantagens que puderam auxiliar na análise e determinação da melhor alternativa a se utilizar no caso do prédio comercial construído na cidade de São Luís – MA.

Após todo embasamento teórico acerca dos tipos de lajes trabalhados e conhecimento dos projetos utilizados pela empresa responsável, foi necessário realizar um dimensionamento de lajes nervuradas para que pudesse ser conhecido e analisado um projeto desse tipo de estrutura. Dessa forma, por meio da plataforma Eberick, os dados disponíveis em AutoCAD puderam ser importados, sendo gerado todo o projeto em laje nervurada.

Sendo assim, foram realizadas as composições de custo para execução de um metro quadrado de área. Para isso, e levando em consideração ser um obra realizada na cidade de São Luís, foram usadas planilhas de órgãos que trabalham com essas composições e

valores dos insumos, como o SINAPI, mais especificamente do estado do Maranhão, com dados do mês de Maio de 2019.

Para a realização das composições unitárias foi utilizada a plataforma Excel e foram divididas as etapas de cada método construtivo, desde o escoramento, compra de materiais de enchimento e peças pré-moldadas, armaduras e concretagem, que, posteriormente foram somadas, determinando o valor total para a execução de um metro quadrado de laje.

De posse das composições unitárias e com o conhecimento da área total a ser concretada foi possível realizar a estimativa de custos finais para executar as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com preenchimento em isopor e lajes nervuradas com cubetas. Esse orçamento foi realizado através da plataforma Excel, multiplicando-se o valor da composição pela metragem quadrada, possibilitando a elaboração de gráficos e tabelas comparativas dos insumos separadamente e, também, dos valores finais da obra.

Dessa forma, através de gráficos, tabelas e de profissionais da área da construção civil foi possível realizar uma análise e comparação para chegar a melhor alternativa para esse caso estudado.

#### **4.2. Análise de resultados**

Ao longo do estudo e através de conversas com as equipes de trabalhadores e o responsável pelo projeto do prédio comercial em questão, foi fundamental entender que para a escolha de uma técnica de construção é muito importante o aspecto financeiro, porém o critério técnico não pode ser descartado. Dessa forma, a escolha dentre as opções levou em questão, além do custo total para executar a estrutura, as vantagens e desvantagens que acompanham cada método construtivo, comprovando a viabilidade da escolha tomada para montar a laje.

Sendo assim, com o auxílio de tabelas de composições unitárias realizadas através de dados SINAPI, as mesmas são compostas pela especificação do serviço, acompanhadas pelas unidades padrões dos insumos, além do custo unitário que foi multiplicado pelo coeficiente de produção do responsável por executar a tarefa, resultando no valor necessário para executar um metro quadrado da laje escolhida. Vale salientar que este coeficiente nos indicou a eficiência produtiva da equipe de trabalhadores, determinando a quantidade de tempo usada para executar um metro quadrado do serviço especificado. De posse das tabelas, foi possível elaborar gráficos de colunas para representar, separadamente, o valor unitário (em

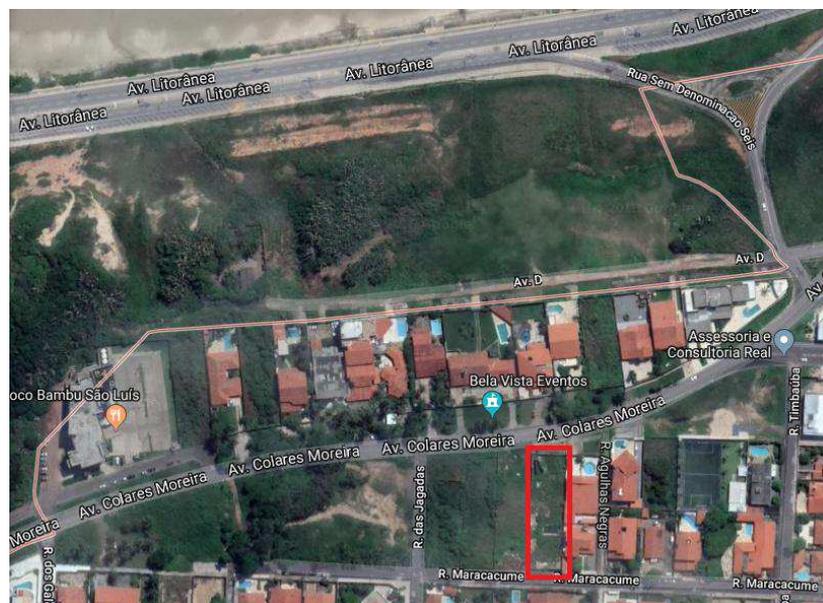
reais) de cada insumo utilizado na execução dos tipos de laje, enquanto a partir da elaboração de gráficos de barras foram representadas as parcelas percentuais que cada etapa da montagem da estrutura teve para contribuir ao valor final.

A partir de então a comparação entre os dois tipos de lajes, nervuradas com cubetas e pré-moldadas em vigotas treliçadas e com preenchimento em isopor foi realizada, chegou-se a conclusão, mostrando o resultado proposto nos objetivos deste estudo, abrindo oportunidade para realizar estudos de viabilidade para outros serviços que podem ser realizados no canteiro de obras.

## 5. ESTUDO DE CASO

A obra em questão é realizada na Av. Colares Moreira, situada no bairro do Calhau e compreende em um estabelecimento comercial de 3 pavimentos. A área em que se encontra a obra é uma região com um potencial de desenvolvimento muito grande, podendo levar em consideração a proximidade de um dos grandes restaurantes da cidade, o Coco Bambu, e também por se encontrar quase a margem do maior dos pontos turísticos de São Luís, a Praia Litorânea.

**Figura 31** - Vista aérea do local da obra realizada



FONTE: Google Earth, disponível em < <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>, acesso em 19 de Novembro de 2018.

Por se localizar em uma boa região da cidade, com vias de fácil acesso bem conservadas, a chegada e saída dos materiais necessários ocorre de forma organizada e sem grandes problemas. Além disso, apresenta terrenos vizinhos desocupados que são utilizados pelos caminhões betoneiras durante o processo de concretagem.

### 5.1. Apresentação dos projetos

Para elaborar o orçamento dos tipos de lajes que serão analisadas para o estudo é necessário realizar as composições unitárias de cada etapa do serviço a ser realizado. Para isso é fundamental conhecer os métodos construtivos e os materiais necessários para tal.

Com as composições unitárias em mãos, é necessária conhecer a obra e suas dimensões para determinar a área de concreto. Sendo assim, são apresentadas em anexo as fachadas frontais e laterais, além de dois cortes para entender melhor o resultado final da obra. Enquanto que para determinar a área a ser concretada, foram disponibilizadas pela empresa responsável pela obra as plantas de fôrmas dos 1º e 2º pavimento e da cobertura (Anexo).

A obra do prédio comercial localizada no bairro do Calhau da cidade de São Luís apresenta três pavimentos, reservatório e sala de máquinas, os quais serão descartados para efeito de estudo, sendo consideradas apenas as lajes do primeiro e segundo pavimentos e cobertura.

Através do ANEXO E, onde é mostrada a planta de fôrma do primeiro pavimento, o qual é dividido em 34 vãos de variados tamanhos, sendo separados por vigas que dão maior apoio a estrutura em geral, totalizando uma área de 480,50 m<sup>2</sup>. Ainda é possível identificar as vigotas treliçadas dispostas ao longo do menor vão, espaçadas para serem preenchidas com os blocos de isopor.

No ANEXO F podemos observar a planta de fôrmas da laje do segundo pavimento, dividida em 25 vãos, totalizando 439,08 m<sup>2</sup>. Vale enfatizar que a diferença de área a ser concretada se dá pela ausência da sacada que só existe na laje do primeiro pavimento. Já no ANEXO G, está representada a planta de fôrma da laje da cobertura, apresentando 480,36 m<sup>2</sup> de área de concretagem.

Dessa forma, ao final do estudo das plantas dos pavimentos a serem consideradas, as áreas são somadas, totalizando 1399,94 m<sup>2</sup> de área concretada (como mostrado na tabela 1).

**Tabela 1** - Área de concretagem por pavimento e total

Pavimento	M <sup>2</sup>
1º Pavimento	480,5
2º Pavimento	439,08
Cobertura	480,36
Total	1399,94

Fonte: Autoria própria.

## 5.2. Projeto de laje nervurada

Para realização do estudo comparativo foi escolhido outro tipo de laje, a laje nervurada. No entanto, para que fosse feita as plantas para esse tipo de estrutura é necessário realizar todos os cálculos de dimensionamento e esse não é o foco deste estudo. No entanto,

com o auxílio da plataforma Eberick, que é capaz de executar projetos de estruturas, foi possível o conhecimento das peculiaridades de tal projeto para laje nervurada.

Com a necessidade de uma grande quantidade de cubetas (como mostrado nos anexos H e M) e a disponibilidade de caixotes reaproveitáveis de dimensões de 0,60 x 0,60 x 0,16, a altura da laje acaba por ser mais elevada, aumentando a quantidade de concreto necessária. Esse fato contribui bastante para o aumento do custo no que diz respeito à concretagem. Ainda sobre as diferenças encontradas nesse tipo de execução, a necessidade de um assoalho para apoiar as fôrmas se mostra uma despesa adicional, levando em consideração que aumenta, também, o número de escoras, elevando a complexidade do processo de escoramento.

Com o dimensionamento realizado por meio do programa Eberick, ficou clara a maior demanda de aço nas lajes nervuradas. A armadura nesse tipo de laje é aplicada tanto entre as nervuras quanto sobre a mesa de concreto, por isso ocorre um aumento de uso desse insumo em relação às lajes pré-moldadas, como pode ser visto nos anexos I, J, K e L para as lajes do primeiro pavimento e nos anexos N, O, P e Q para as lajes do segundo pavimento e da cobertura.

Dessa forma, consciente de ser um método construtivo mais complexo em relação às lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas e preenchimento em isopor (EPS), as lajes nervuradas requerem mais material, além de maior demanda de mão de obra.

Como a comparação feita é baseada nos custos por metro quadrado, são utilizadas as plantas de fôrmas do projeto das lajes pré-moldadas e nervuradas (ANEXO), sendo necessária apenas a área a ser concretada e o conhecimento das etapas que são realizadas na construção de ambas as técnicas.

### **5.3. Análise e composição de custos**

O devido estudo tem como parâmetro uma obra de prédio comercial realizada na cidade de São Luís – MA. Dessa forma, para garantir maior credibilidade ao resultado final, são utilizadas as planilhas SINAPI de composição de custos dos insumos e serviços realizados. Sendo assim, os orçamentos que serviram para comparar os tipos de lajes estudados serão embasados nas planilhas fornecidas pelo site da Caixa Econômica Federal na data de 16 de maio do ano de 2019.

Para a realização de uma composição unitária existem bancos de dados, como SINAPI, ORSE e o SEINFRA, em que podem ser encontrados todos os insumos com seus

devidos custos unitários, unidades de medida e índices de produtividade. Em geral, as composições unitárias são muito importantes, trazendo benefícios como agilidade nos cálculos, auxilia no dimensionamento de equipes e na estimativa de quantitativos de materiais e também contribui para estipular prazos no canteiro de obras.

Para o custo da composição final da laje pré-moldada com vigotas do tipo treliça e das lajes nervuradas com cubetas, os dados relacionados aos insumos utilizados foram retirados das planilhas SINAPI. Vale lembrar que seu resultado final é disponibilizado em reais por metro quadrado.

### 5.3.1. Composição para laje pré-moldada com vigotas treliçadas

Na tabela 2, é apresentada a composição unitária de custo do concreto composta através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, agrupando todos os insumos necessários para execução e lembrando a espessura de 12 centímetros da camada de concreto.

**Tabela 2 - Composição unitária do concreto usinado para laje pré-moldada**

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO USINADO (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1)	UNIDADE	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS	H	0,24	15,16	3,64	6,85%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS	H	0,24	11,28	2,71	5,10%
88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS	H	0,16	14,56	2,33	4,39%
88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS	H	0,16	11,91	1,91	3,59%
94970	CONCRETO FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1)	M <sup>3</sup>	0,035	269,25	9,42	17,75%
92874	LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS.	M <sup>3</sup>	0,035	19,53	0,68	1,29%
90585	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_06/2015	H	1,0	1,10	1,10	2,07%
3743	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (EPS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 200 KG/M2, VAO ATE 7 M	M <sup>2</sup>	1,0	31,31	31,31	58,97%
TOTAL					53,10	100%

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Em seguida, na tabela 3, temos representada a composição de custo do aço CA 60 que fora usado na malha que ficará sobre o material de enchimento (blocos EPS), sendo necessária a participação de armadores e ajudantes que realizaram os cortes e dobras, além da aquisição de arames recozidos que servem para fixar um vergalhão a outro, contribuindo para a rigidez e uniformidade da malha.

**Tabela 3** - Composição unitária do aço CA60 para laje pré-moldada

COMPOSIÇÃO DO AÇO CA 60 (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0855	15,05	1,29	17,60%
88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,014	11,12	0,16	2,13%
92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1,0	5,57	5,57	76,17%
337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025	12,00	0,3	4,10%
TOTAL					7,31	100%

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Para orçamento de uma laje pré-moldada com vigotas do tipo treliça ainda é muito importante a composição de custo dos blocos de poliestireno/EPS (isopor), material de preenchimento que concede à estrutura uma ótima vedação, contribuindo para uma redução de desperdícios. Além disso, esse material não necessita de mão-de-obra especializada.

**Tabela 4** - Composição unitária dos blocos EPS para laje pré-moldada

COMPOSIÇÃO DO EPS (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	PLACAS DE POLIESTIRENO/EPS (ISOPOR)	KG	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	15,16	3,64	40,56%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	11,28	2,71	30,18%
11615	POLIESTIRENO EXPANDIDO/EPS (ISOPOR), TIPO 2F, PLACA, ISOLAMENTO TERMOACUSTICO	M <sup>2</sup>	1,05	2,50	2,63	29,26%
TOTAL					8,97	100%

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

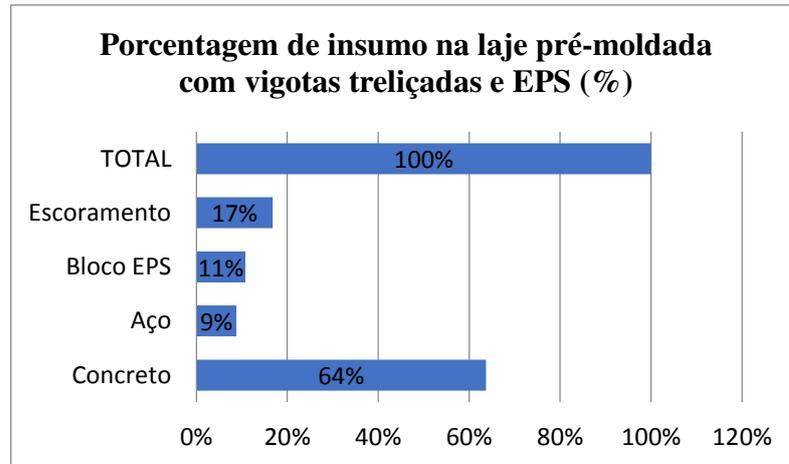
A etapa de escoramento também é muito importante na composição, contribuindo bastante ao preço final do serviço, devendo ser realizada correta e cuidadosamente. No caso da obra estudada será realizado através de escoras metálicas com altura regulável. Não menos importante, essas duas etapas, escoramento e colocação dos blocos EPS, requerem certa quantidade de mão de obra, desde serventes até carpinteiros, e devem ser feitas de forma muito cuidadosa, evitando perdas de materiais, como o concreto, que podem ocorrer caso a estrutura não esteja vedada e escorada corretamente.

**Tabela 5 - Composição unitária do escoramento para laje pré-moldada**

COMPOSIÇÃO DO ESCORAMENTO (R\$/M²)						
CÓDIGO	ESCORAMENTO METÁLICO	KG	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M²	%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	11,28	2,71	19,35%
88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	14,56	2,33	16,65%
88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	11,91	1,91	13,62%
10749	LOCACAO DE ESCORA METÁLICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN)	MÊS	2,66	1,83	4,87	34,79%
4491	PONTALETE DE MADEIRA NAO APARELHADA *7,5 X 7,5* CM (3 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,29	6,28	1,82	13,02%
5061	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,03	12,00	0,36	2,57%
TOTAL					13,99	100%

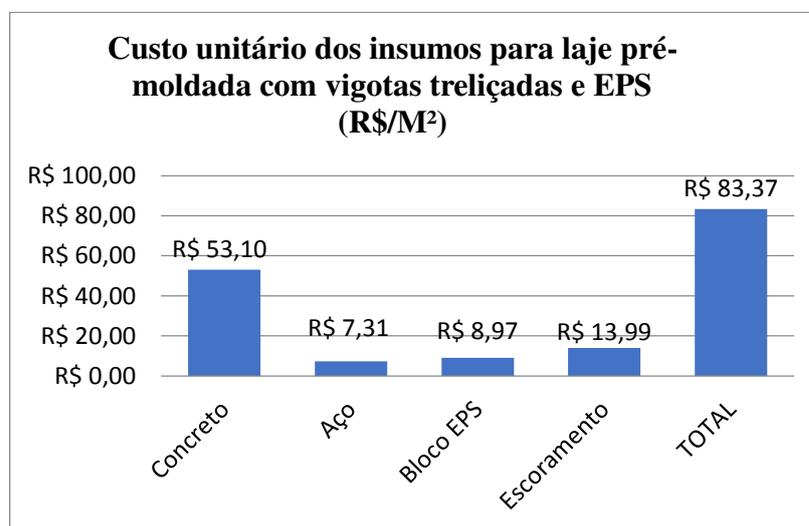
FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

De posse das composições unitárias das etapas a serem realizadas na execução da laje pré-moldada, é feita a soma para determinar o custo final para um metro quadrado de laje, resultando em R\$ 83,37. No gráfico da figura 32 estão representadas as devidas porcentagens para cada etapa realizada.

**Figura 32 - Porcentagem de insumos na laje pré-moldada**

FONTE: O autor (2019).

Enquanto isso, no gráfico da figura 33 está representado os custos em reais por metro quadrado dos insumos de cada etapa realizadas na execução das lajes pré-moldadas com vigotas tipo treliça e preenchimento em blocos EPS. Chamando atenção para a grande parcela destinada ao concreto e a vantagem em utilizar blocos EPS pelo preço bem reduzido.

**Figura 33 - Custo unitário para laje pré-moldada**

FONTE: O autor (2019).

### 5.3.2. Composição para laje nervurada

Com o auxílio das planilhas do SINAPI e de conhecimento dos insumos e etapas a serem realizadas para executar uma laje nervurada foi possível elaborar as composições unitárias dos serviços desempenhados. Dessa forma, na tabela 06, é demonstrada a

composição de concreto, que difere pouco da laje pré-moldada devido às técnicas construtivas serem diferentes, levando uma parcela de tempo maior para se executar o serviço.

**Tabela 6 - Composição unitária do concreto usinado para laje nervurada**

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO USINADO (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1)	M <sup>3</sup>	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	15,16	3,64	6,51%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	11,28	2,71	4,84%
88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	14,56	2,33	4,17%
88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	11,91	1,91	3,41%
94970	CONCRETO FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1)	M <sup>3</sup>	0,035	269,25	9,42	16,85%
92874	LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS.	M <sup>3</sup>	0,035	19,53	0,68	1,22%
90585	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_06/2015	H	1,0	1,10	1,10	1,97%
92496	LAJE NERVURADA COM CUBETAS DE POLIPROPILENO (0.6 X 0.6 X .16) E ASSOALHO COM AREA MAIOR QUE 20M <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>	1,0	34,14	34,14	61,04%
TOTAL					55,93	100%

FONTES: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Na tabela 7 está representada a composição do aço, utilizado entre as nervuras e sobre os caixotes reaproveitáveis, garantindo maior resistência à estrutura. Como se usa armadura positiva e negativa requer maior trabalho por parte da equipe de armadores, com cortes e dobras em uma maior quantidade de aço, elevando o custo dessa etapa da produção.

**Tabela 7 - Composição unitária do aço para laje nervurada**

COMPOSIÇÃO DO AÇO CA 60 E CA 50 (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM E CA-50 DE 8,0 MM- MONTAGEM. AF_12/2015	KG	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88245	ARMADOR COM ENCARGOS	H	0,0581	15,05	0,87	7,60%
88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS	H	0,0082	11,12	0,09	0,79%
92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1,07	4,31	4,61	40,11%
92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1,1	5,11	5,62	48,89%
337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025	12	0,30	2,61%
TOTAL					11,50	100%

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Assim como nas lajes pré-moldadas, o escoramento na laje nervurada com cubetas é de fundamental importância na determinação do custo final. Vale frisar que em alguns casos há a necessidade de se utilizar de um assoalho que é escorado para apoiar melhor as cubetas ou fôrmas. Dessa forma, o escoramento deste tipo de laje acaba apresentando um valor mais elevado.

**Tabela 8 - Composição unitária do escoramento para laje nervurada**

COMPOSIÇÃO DO ESCORAMENTO (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	ESCORAMENTO METÁLICO	MÊS	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS	H	0,24	11,28	2,71	14,13%
88262	CARPINTEIRO COM ENCARGOS	H	0,16	14,56	2,33	12,16%
88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS	H	0,16	11,91	1,91	9,94%
10749	LOCACAO DE ESCORA METÁLICA TELESCÓPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF	MÊS	2,66	1,83	4,87	25,40%
4491	PONTALETE DE MADEIRA NAO APARELHADA *7,5 X 7,5 CM	M	0,29	6,28	1,82	9,50%
2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,008	6,85	0,05	0,29%
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA,	M <sup>2</sup>	0,147	34,80	5,12	26,70%
5061	PREGO DE AÇO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,03	12,00	0,36	1,88%
TOTAL					19,16	100%

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Finalizando a composição unitária da laje nervurada, as cubetas são elementos com altura de 16 centímetros, fato que aumenta o volume de concreto da laje em relação a pré-moldada. Além disso, as cubetas exigem certo conhecimento por parte da mão de obra, pois no momento da retirada não é permitido choques na estrutura. Além disso, são peças fundamentais para esse tipo de laje, contribuindo bastante para a composição de custo.

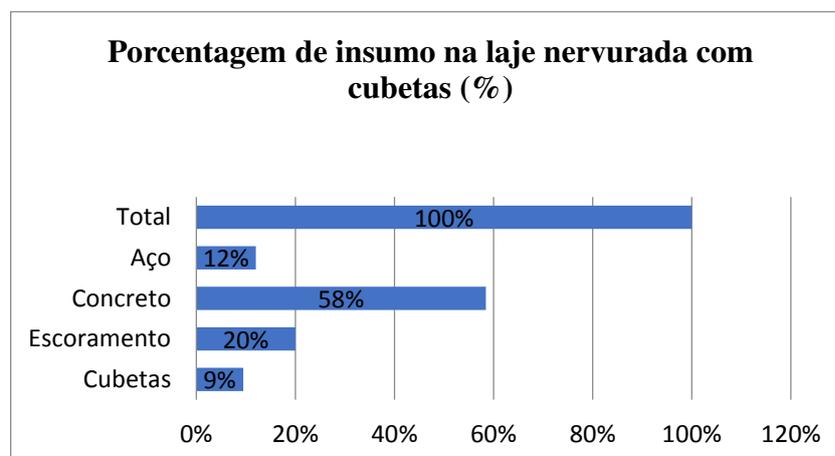
**Tabela 9** - Composição unitária das cubetas para laje nervurada

COMPOSIÇÃO DE CUBETAS PLÁSTICAS (R\$/M <sup>2</sup> )						
CÓDIGO	FÔRMA PLÁSTICA PARA LAJE NERVURAD, DIMENSÕES .6 X .6 X .16	MÊS	CONST. UNIT.	R\$ UNIT	R\$/M <sup>2</sup>	%
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	15,16	3,64	40,14%
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,24	11,28	2,71	29,86%
40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES *60* X *60* X *16* CM	MÊS	1,03	2,64	2,72	30,00%
<b>TOTAL</b>					<b>9,06</b>	<b>100%</b>

FONTE: O autor - dados retirados do SINAPI (2019).

Tendo feito as composições unitárias das etapas e insumos usados na laje nervurada, chegamos a um total de R\$ 95,65 necessários para executar um metro quadrado dessa estrutura. Através do gráfico da figura 34 é possível identificar a porcentagem utilizada de cada insumo referente a um metro quadrado dessa laje.

**Figura 34** - Porcentagem de insumos para laje nervurada

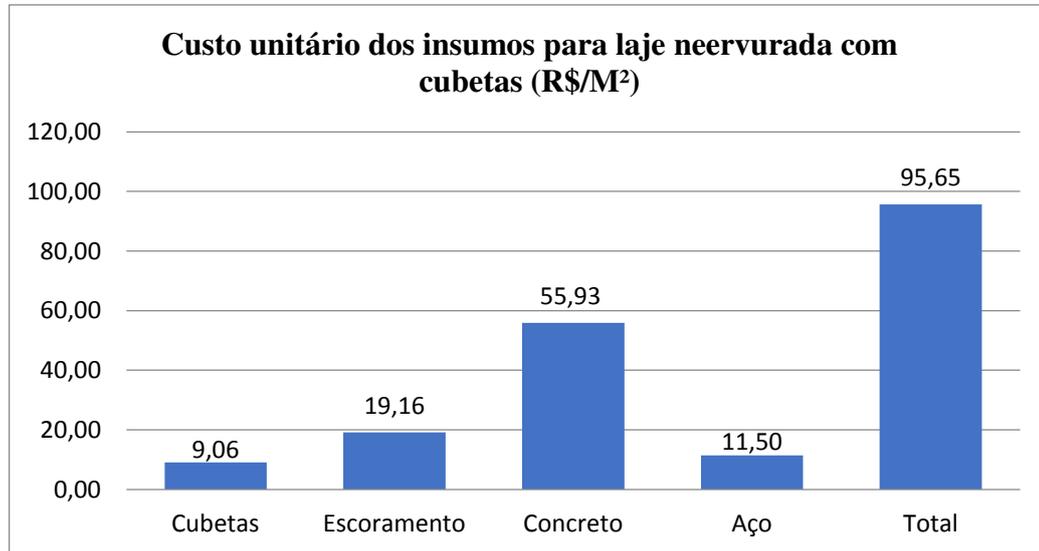


FONTE: O autor (2019).

Com a composição realizada identifica-se uma grande demanda de custos para a concretagem e para o escoramento, como é possível observar no gráfico da figura 35. Além

disso, chama atenção para o reduzido valor das cubetas, se mostrando ótima alternativa para conter despesas.

**Figura 35** - Custo unitário para laje nervurada



FONTE: O autor (2019).

#### 5.4. Resultados e discussões

Após todo o processo de elaboração das composições unitárias para cada tipo de laje estudado é possível estimar o valor para a execução da obra do prédio comercial trabalhado, sendo ela em laje pré-moldada com vigotas treliçadas e preenchimento em isopor ou em laje nervurada com cubetas. Os cálculos para comparar os dois processos construtivos serão embasados na metragem quadrada a ser concretada, sendo muito importante fazer tal levantamento corretamente.

Com o conhecimento do local do empreendimento, do canteiro de obras e com as experiências vividas ao longo do período de estudo, e ainda aliadas à disponibilidade das plantas estruturais de fôrmas dos pavimentos do edifício, foi realizado o levantamento das áreas que receberiam o concreto, sendo 480,50 m<sup>2</sup> no primeiro pavimento, 439,08 m<sup>2</sup> para o segundo pavimento e 480,36 m<sup>2</sup> para a cobertura, totalizando uma área de 1399,94 metros quadrados de concretagem.

Dessa forma, como as composições unitárias representam o custo para se executar cada metro quadrado de laje, sendo ela pré-moldada ou nervurada, as mesmas são elaboradas através do conhecimento dos coeficientes de produção pelo preço unitário de cada etapa específica, disponibilizado pelo SINAPI, que são multiplicados e, posteriormente, são somados chegando ao valor resultante. Sendo assim, de posse dos valores para executar os

dois tipos de estrutura, R\$ 83,37 para laje pré-moldada com vigotas treliçadas e preenchimento em isopor (EPS) e R\$ 95,65 para laje nervurada com cubetas, e com o conhecimento da área a ser concretada (conferida pela plataforma AutoCad), efetuou-se a multiplicação (R\$ x área) determinando o preço estimado para essa fase da obra do prédio comercial.

Com o auxílio da plataforma Excel e suas ferramentas, e como mostrado na tabela 10, é estimado os valores de R\$ 116.713,00 e R\$ 133.904,26 para a execução das lajes pré-moldadas com vigotas do tipo treliça e nervurada com cubetas, respectivamente.

Através dos valores conhecidos para execução das lajes, a laje pré-moldada se mostrou economicamente mais viável, representando uma redução de, aproximadamente, R\$ 17.000,00, que certamente poderia ser utilizado como recurso em outra fase do empreendimento.

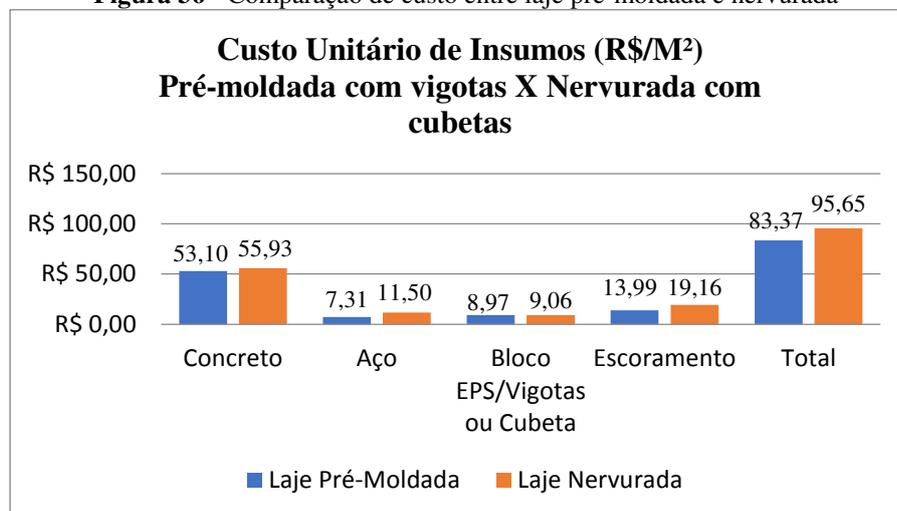
**Tabela 10** - Orçamento da laje pré-moldada e da laje nervurada com cubetas reaproveitáveis.

<b>ORÇAMENTO LAJE</b>				
<b>SERVIÇO</b>	<b>UND</b>	<b>QNT</b>	<b>PREÇO UNIT (R\$)</b>	<b>PREÇO TOTAL (R\$)</b>
LAJE PRÉ-MOLADA TRELIÇADA	M <sup>2</sup>	1399,94	83,37	R\$ 116.713,00
LAJE NERVURADA	M <sup>2</sup>	1399,94	95,65	R\$ 133.904,26

FONTE: O autor (2019).

Ainda é possível realizar uma comparação a partir das etapas de construção de cada tipo de laje, como mostrado no gráfico da figura 36, onde fica clara a diferença nas metodologias utilizadas na execução das estruturas, principalmente nas etapas de escoramento e aplicação da armadura (tanto positiva como negativa).

**Figura 36** - Comparação de custo entre laje pré-moldada e nervurada



FONTE: O autor (2019).

A partir do gráfico comparativo exposto na figura 36 é possível analisar e chegar a alguns resultados pertinentes, no que diz respeito a custos, para a comparação de ambos os tipos de laje.

Primeiramente, na etapa de concretagem das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas e das lajes nervuradas é muito próximo o valor para executar uma unidade de área. Esse aspecto que pode ser explicado pela necessidade de uma quantidade maior de concreto que é usada nas lajes nervurada, devido às cubetas apresentarem uma altura maior que as vigotas, elevando o volume preciso.

No que diz respeito ao aço, as lajes pré-moldadas apresentam custo inferior em relação a essa etapa na laje nervurada, muito devido a menor quantidade de aço necessário. Uma vez que a armadura só é aplicada sobre o material de enchimento, enquanto que nas lajes nervuradas a armadura está presente tanto sobre as cubetas como também entre as nervuras. Dessa forma, a mão de obra que executa as lajes pré-moldadas tem uma menor demanda para dobras e cortes, fazendo com que o seu custo seja inferior.

Outra etapa que merece destaca é o escoramento, o qual apresentou uma considerável divergência. Essa diferença de custos é explicada pelo fato das lajes pré-moldadas não exigirem um tão numeroso escoramento, além de que no caso das lajes nervuradas é necessário uma plataforma ou assoalho que apoie as cubetas, exigindo da mão de obra maior conhecimento da técnica construtiva.

Entre as duas lajes estudadas, elementos como as vigotas preenchidas com blocos EPS e as cubetas podem ser comparadas devido a terem a característica de reduzir a quantidade de concreto, eliminando o mesmo de locais onde não é solicitado. Dessa forma, através do gráfico da figura 36 nota-se uma semelhança nos custos desses materiais, levantando a questão da vantagem das cubetas serem reaproveitáveis após sua retirada.

A partir do quadro comparativo da tabela 11, é possível entender em síntese as diferenças encontradas nas duas metodologias construtivas.

Tabela 11 – Quadro comparativo resumo

ITEM	LAJE PRÉ-MOLDADA	LAJE NERVURADA
<b>Concreto</b>	A laje pré-moldada com vigotas treliçadas tem grande característica de reduzir o volume de concreto a ser usado. No caso estudado foi possível perceber essa redução devido à utilização de EPS que garantiram uma altura à laje (12 cm) que não elevasse tanto o cálculo da concretagem.	Assim como as lajes pré-moldadas, a laje nervurada tem a vantagem de extinguir o concreto de locais na estrutura onde o mesmo não é solicitado. Porém no estudo realizado, a utilização de cubetas reaproveitáveis fez com que o volume de concreto aumentasse devido a altura desses caixotes (16cm), que conseqüentemente elevaram a altura da laje e o volume a ser utilizado.
<b>Escoramento</b>	Esse procedimento é muito importante para que seja garantida a sustentação da estrutura durante o processo de concretagem, evitando qualquer que seja o imprevisto. Nas lajes pré-moldadas, o escoramento pode ser realizado com escoras de madeira ou de metal (tendo altura regulável) e devem ser fixas por pregos em barrotes que podem abranger uma grande área do vão, ocasionando em uma menor quantidade de escoras.	O processo de escoramento para as lajes nervuradas é um pouco mais complexo em relação às lajes pré-moldadas devido a necessidade de se ter um assoalho onde as cubetas serão apoiadas. É esse assoalho que vai ser sustentado pelas escoras, também de madeiras ou metálicas, garantindo a sustentação. Dessa forma, é preciso de uma quantidade de escoras maior para que todas os caixotes reaproveitáveis fiquem bem apoiados durante a concretagem.
<b>Aço</b>	Com a presença das vigotas treliçadas, que já vem acompanhada de sua própria armadura, formada pelos banzos superior, inferior e a diagonal sinusóide, não existe a necessidade de se aplicar uma armadura entre as nervuras, apenas sobre os blocos de enchimento (EPS, no caso), garantindo uma grande economia com aço e armadores responsáveis pelos cortes e dobras.	Diferente das lajes pré-moldadas treliçadas, as nervuradas necessitam da aplicação de armaduras, tanto entre as nervuras quanto sobre as mesas de concreto. Dessa forma, o gasto com esse material acaba se elevando muito em comparação ao outro tipo de laje utilizado para estudo, não só pela quantidade, mas também pela maior mão de obra demandada.
<b>Blocos de preenchimento</b>	Nesse tipo de laje os blocos de enchimento usados foram as placas de isopor (EPS), materiais leves e de fácil manuseio durante a montagem da laje. Apresentam a vantagem de serem facilmente cortados e ótimos isolantes térmicos e acústicos. Quanto ao custo, os blocos EPS se mostraram viáveis, porém não se diferenciaram tanto dos blocos utilizados nas lajes nervuradas, fazendo valer não só o critério financeiro, mas também o técnico.	Para as lajes nervuradas foi utilizado, para efeito de estudo, as cubetas que podem ser plásticas ou metálicas. Esse material apresentou como grande vantagem a condição de ser reaproveitável. No entanto é necessária uma melhor qualificação da equipe de trabalho para se executar os processos construtivos corretamente. Quanto ao custo esse material não apresentou grande diferença em relação aos blocos EPS, devendo nesse caso ser analisado os aspectos técnicos para se tomar a melhor decisão.

<b>Tempo de execução</b>	Devido a maior facilidade de executar a montagem dessa estrutura, com escoramento não tão numeroso, porém eficiente, armaduras necessárias apenas sobre os blocos de enchimento e uma concretagem que demanda menos volume do material, é possível concluir que este modelo construtivo apresenta menor tempo de execução, contribuindo para a agilidade e cumprimento de prazo no canteiro de obras.	Por ser uma técnica que requer um conhecimento maior por parte dos trabalhadores, além de mais aço (armadura positiva e negativa), um escoramento maior junto ao assoalho que apoia as fôrmas e uma quantidade de concreto maior a ser lançado na estrutura, conclui-se ser necessário mais tempo para executar a laje nervurada adequadamente.
<b>Mão de obra</b>	A laje pré-moldada com vigotas treliçadas e preenchimento em isopor, por ser um modelo fácil e rápido de se montar, não precisar de tanto corte e dobra de aço e possuir um escoramento mais rápido, requer uma mão de obra relativamente pequena, tendo sua maior demanda no processo de concretagem.	Esse processo construtivo requer uma maior quantidade de trabalhadores no canteiro, muito devido a maior necessidade de aço para a montagem da laje, além de maior escoramento e volume de concreto utilizado. Dessa forma, em relação ao outro tipo de laje estudado, no que diz respeito a mão de obra, as lajes nervuradas demandam maior e mais qualificada equipe de profissionais.
<b>Custo</b>	Com o custo unitário de R\$ 83,37, esse tipo de laje se mostrou mais viável, não só financeiramente, mas também tecnicamente. Essa conclusão pode ser explicada pela menor quantidade de concreto e aço utilizada, assim como um escoramento mais racional e blocos de enchimento baratos e com boas vantagens técnicas.	O custo de R\$ 95,65 para o metro quadrado de laje nervurada se mostrou menos viável perante às lajes pré-moldadas. Isso se deu pela maior quantidade de insumos necessária, sem falar na maior demanda de mão de obra. No entanto, vale chamar atenção para a utilização de cubetas plásticas ou metálicas que podem ser reaproveitadas, contendo gastos mais à longo prazo, além de reduzir resíduos decorrentes da construção civil.

FONTE: O autor (2019).

Sendo assim, de modo geral, a alternativa da laje pré-moldada com vigotas treliçadas com preenchimento em isopor acaba por ser mais viável de ser executada no prédio comercial. Isso pode ser determinado pelo menor custo, que é comprovado pela menor quantidade de concreto utilizada (devido a menor altura da laje), pela menor quantidade de aço a ser usado, sendo apenas uma malha de aço CA 60 de 5 mm em duas direções sobre os blocos de preenchimento, além de apresentar um escoramento menos oneroso, sem necessidade de assoalhos.

Quanto às placas de isopor e as cubetas, que se mostraram semelhantes no que diz respeito ao custo, vale uma análise mais técnica. Dessa forma, no caso da obra do prédio comercial, onde existe uma grande quantidade de vigas ao longo da estrutura, reduzindo o

tamanho dos vãos, o uso das cubetas não se mostra tão adequado quanto o uso das vigotas com placas de isopor. Isso se dá pela grande característica das lajes nervuradas que é a de vencer grandes vãos, devido a diminuição do uso de vigas, até com a utilização de capiteis nas bordas dos pilares centrais.

## 6. CONCLUSÃO

É notória a importância de se conhecer as técnicas de construção disponíveis no mercado antes de se executar qualquer que seja o serviço ou etapa de uma obra. Dessa forma, a especificidade de cada projeto requer a análise de qual melhor alternativa a se utilizar, desde os tipos de obra até os recursos oferecidos para tal. É importante se atentar não só financeiramente, mas também tecnicamente, pois cada método construtivo tem suas características, vantagens e desvantagens.

Durante a execução de uma obra é fundamental a formação de uma equipe bem organizada e adequadamente qualificada para a realização dos mais variados serviços. Caso contrário, durante a escolha da melhor opção para construir um empreendimento, como no caso um prédio comercial, pode haver resistência para que determinado processo seja realizado.

Como alternativas para conter gastos, mas não deixando de garantir resistência e segurança às estruturas, as lajes pré-moldadas com vigotas do tipo treliça e as lajes nervuradas se mostram opções adequadas em um canteiro de obra. No entanto ambas apresentam suas peculiaridades, como seus blocos de enchimento, suas armaduras, e, principalmente seu processo de montagem.

Concreto, aço, escoras são comuns nos métodos construtivos de ambas as estruturas. No entanto se apresentam em quantidades diferentes como o concreto, maior nas nervuradas por apresentarem cubetas que elevam a altura da laje, aumentando o volume do material.

Dentre as peculiaridades de cada tipo de laje estudado estão os materiais usados entre as nervuras. A utilização de blocos de EPS pode garantir à estrutura um maior conforto térmico e acústico, além de reduzir consideravelmente o peso da laje, sem contar com a facilidade de manuseio deste material. Já as cubetas ou caixotes de polipropileno podem requerer um conhecimento maior por parte dos operários, porém também ocasiona uma diminuição de peso na estrutura, além de apresentar como grande vantagem seu possível reaproveitamento, garantindo uma economia no aluguel dessas fôrmas.

Ao longo do estudo foi possível identificar uma maior utilização de aço nas lajes nervuradas, por apresentarem a necessidade de uma armadura positiva (localizada nas nervuras) e uma negativa (situada sobre a mesa de concreto), além de haver a necessidade de “reforçar” as regiões próximas aos pilares, realizando capiteis ou faixas onde exige uma maior

quantidade de aço. Sendo assim ocorre um aumento de gastos com esse insumo em relação às lajes pré-moldada com vigotas.

O escoramento dessas estruturas se mostrou importantíssimo para a composição de custo, pois através das diferentes metodologias construtivas ocorre uma maior necessidade não só de escoras, mas também de materiais que apoiem e fixem melhor a laje. Enquanto isso, o concreto como material mais usado no ramo da construção civil mostrou sua importância pela parcela que obteve na determinação da composição final dos custos de cada tipo de laje, sempre requerendo uma maior atenção até que atinja suas perfeitas condições de resistência e rigidez.

Durante a composição de custo unitário, as planilhas SINAPI tiveram grande importância para determinar o valor final gasto para executar um metro quadrado de cada tipo de laje estudado. Foi importante a percepção da semelhança de custos no uso de blocos EPS ou cubetas, onde demonstrou que, através da reutilização dos caixotes, as lajes nervuradas também são uma boa alternativa. No entanto, é evidente que as etapas de aplicação do aço e realização do escoramento foram as que mais se distinguiram, muito devido à necessidade maior de corte e dobras de aço e um escoramento mais rigoroso, com necessidade de um assoalho, ambos na laje nervurada. Dessa forma a laje pré-moldada com vigotas do tipo treliça se mostrou 12,83% menos onerosa que as lajes nervuradas com cubetas de polipropileno.

Por fim, através do estudo realizado é possível confirmar a melhor alternativa tomada para a execução da obra do prédio comercial na cidade de São Luís como sendo o uso das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas e preenchimento em EPS (isopor). Vale enfatizar que não só financeiramente as opções devem ser avaliadas, mas também pelos aspectos técnicos, como é o caso da comparação dos blocos EPS com as cubetas reaproveitáveis. Dessa forma, além de apresentar um custo menor em relação às lajes nervuradas, a opção tomada foi assegurada pela quantidade de vãos existentes no projeto, intercalados por vigas, e suas dimensões, que não eram tão grandes a ponto de viabilizar o uso da outra alternativa. Não menos importante, é fundamental para a comparação o estudo dos processos de montagem, onde se mostra mais fácil para as lajes pré-moldadas, levando em consideração um escoramento firme, porém não tanto numeroso, além de apresentar menor quantidade de aço a ser utilizado em relação às lajes nervuradas, onde é necessário maior uso de mão de obra para cortes e dobras.

Por fim, este estudo demonstrou a importância de se analisar todas as alternativas que se tem em mãos para realizar qualquer que seja o serviço e isso é muito importante no

ramo da engenharia civil. Reduzir custos e manter a qualidade da obra é sempre o que se busca em um empreendimento e realizar estudos de viabilidade em outras etapas de construção auxilia na determinação do melhor caminho a se seguir. Dessa forma, é importante que se dê continuidade ao estudo do mais adequado uso de lajes e peças de concreto estrutural, além de outros serviços como fundações, revestimentos, forros etc. podem ser ótimos objetos de estudo, comparando a viabilidade das diversas técnicas existentes atualmente, ficando aqui a recomendação para trabalhos futuros que possam complementar o estudo realizado.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro. ABNT, 2007.
- ABNT –ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro. ABNT, 1985.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14860-1: Laje pré-fabricada - Pré-laje - Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- NAPPI, S. C. B. Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas. Florianópolis, SC: UFSC, 1993.
- FLÓRIO, Márcio C. Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado. Tese de Pós-Graduação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.
- DA SILVA, Marcos Alberto Ferreira. Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado. São Carlos, SP: UNESP, 2005.
- MEDRANO, Mário L. O.; FIGUEIREDO FILHO, Jasson R.; CARVALHO, Roberto C. Estudo de pavimentos de lajes formados por vigotas pré-moldadas: influência de nervuras transversais. Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- BRUMATTI, Dioni O. Uso de pré-moldados - Estudo e viabilidade. Monografia. Vitória: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas. Universidade de São Carlos. São Carlos, 2010.
- BOTELHO, Manoel H. C.; MARCHETTI Osvaldemar. Concreto armado eu te amo – Volume 2. 3ª Edição. São Paulo: Blucher, 2011.
- SOUZA, V.C.M.; CUNHA, A.J.P. (1994). Lajes em Concreto Armado e Protendido. Niterói, Ed. da Universidade Federal Fluminense, 580p.

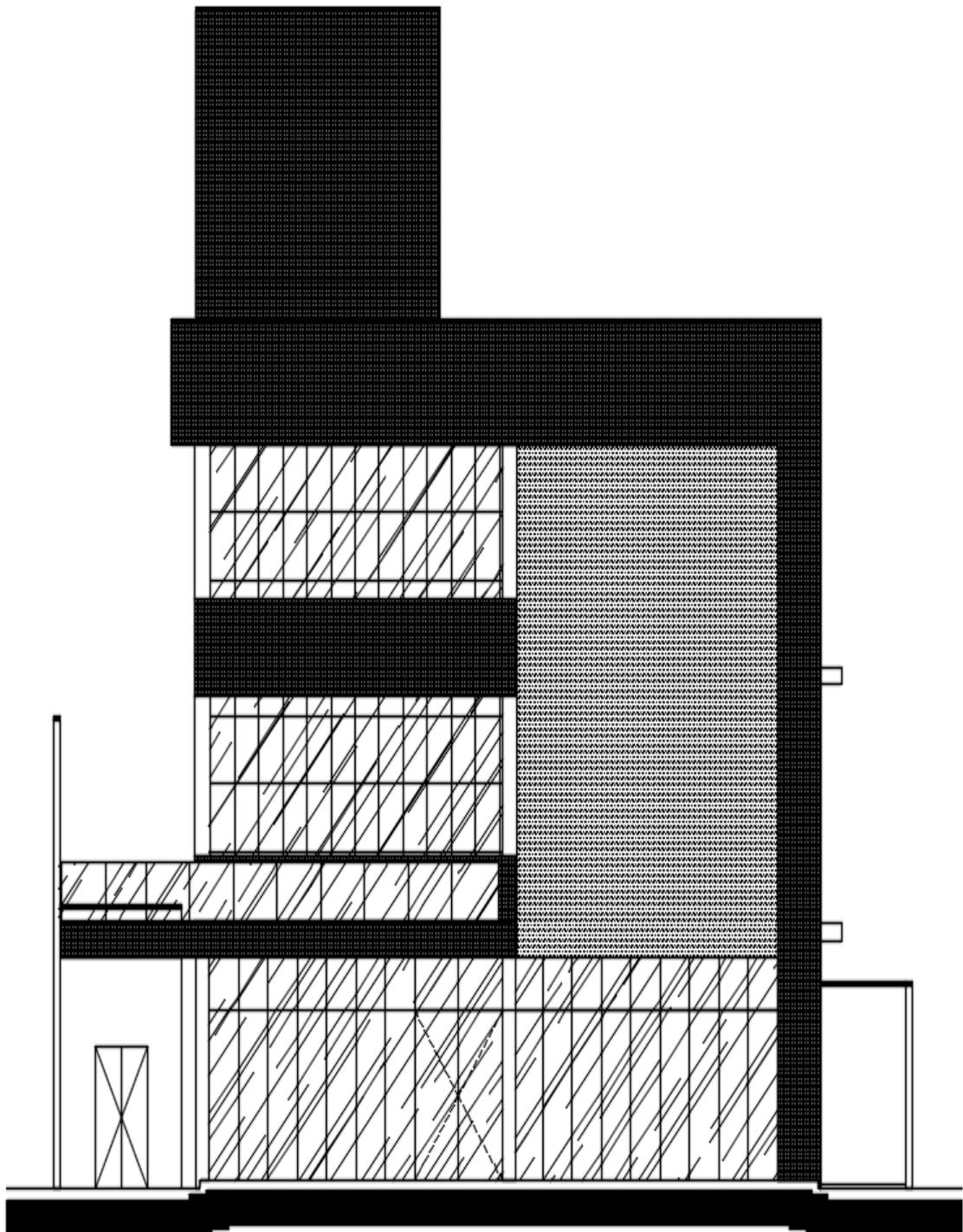
CAIO, F. Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas treliçadas. Porto Alegre, RS: UNIVATES, 2014.

BRANDALISE, G. M.; WESSLING, L. I. Estudo comparativo de custo entre laje maciça e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifício de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Pará, Brasil. Pato Branco, PR: UFPR, 2015.

BASTOS, P. S. S. Estruturas de concreto – notas de aula: Lajes de concreto. Bauru, SP: UESP, 2015.

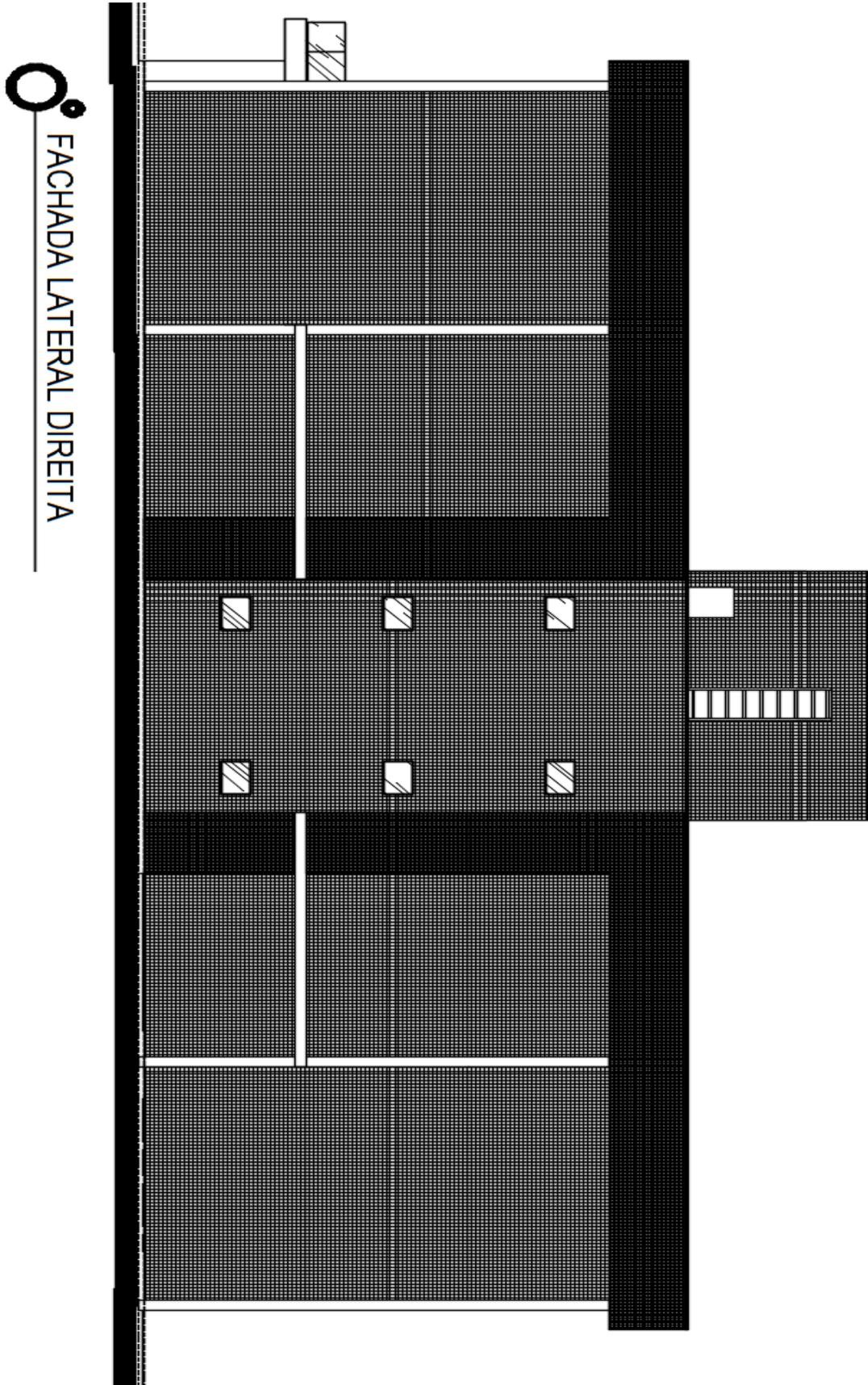
**ANEXO**

## ANEXO A – FACHADA FRONTAL

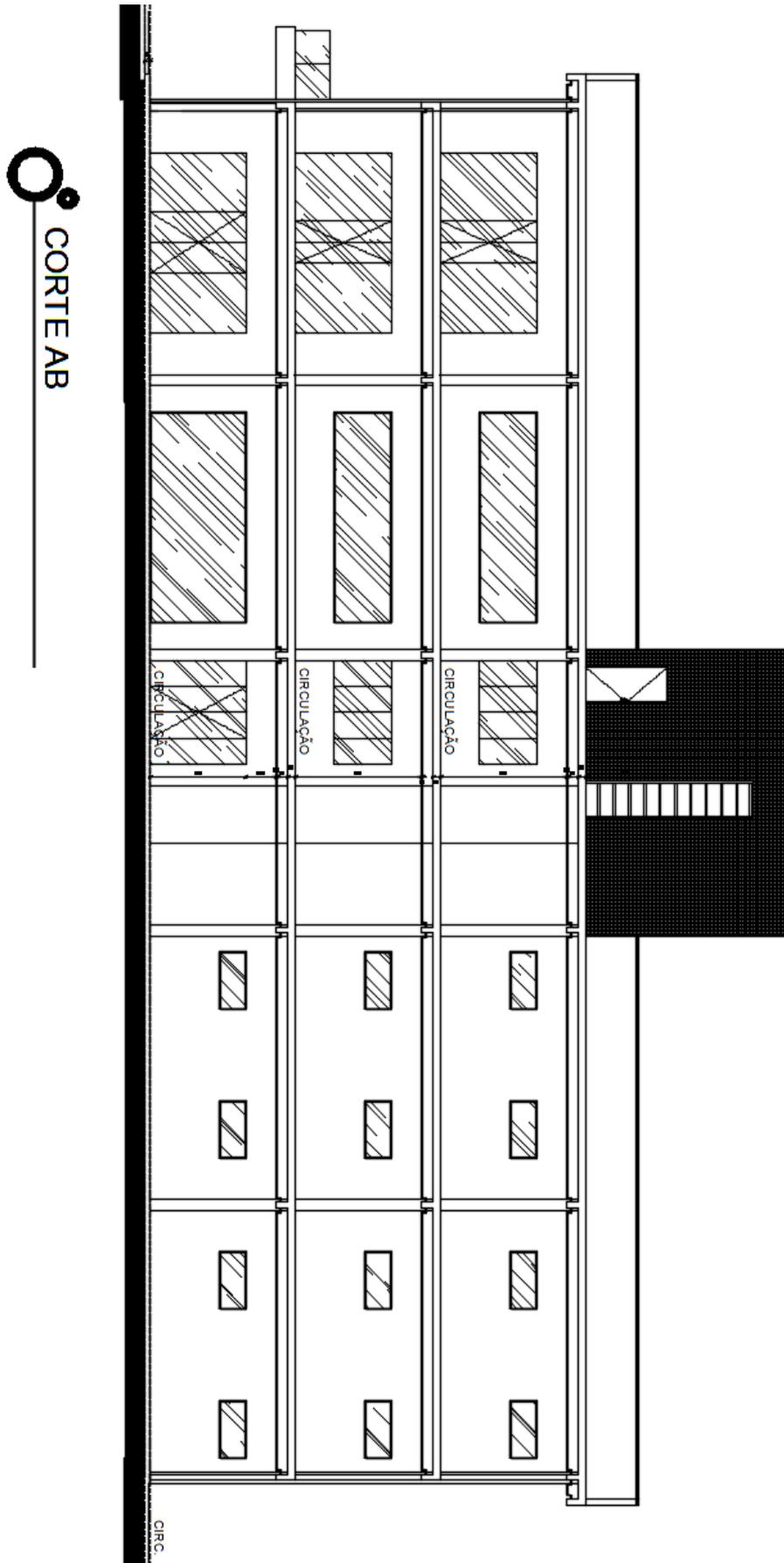


 FACHADA FRONTAL

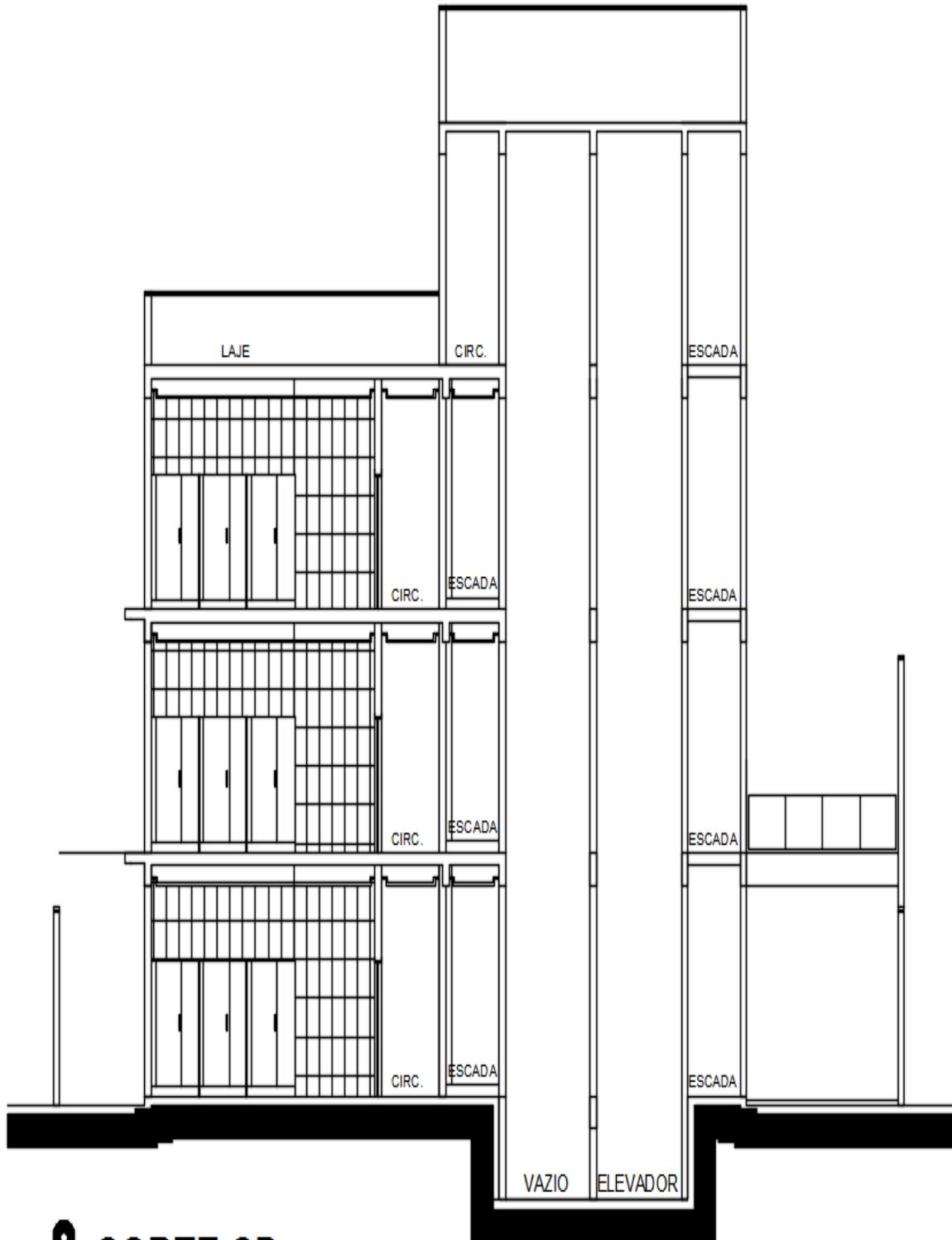
ANEXO B – FACHADA LATERAL DIREITA



ANEXO C – CORTE AB



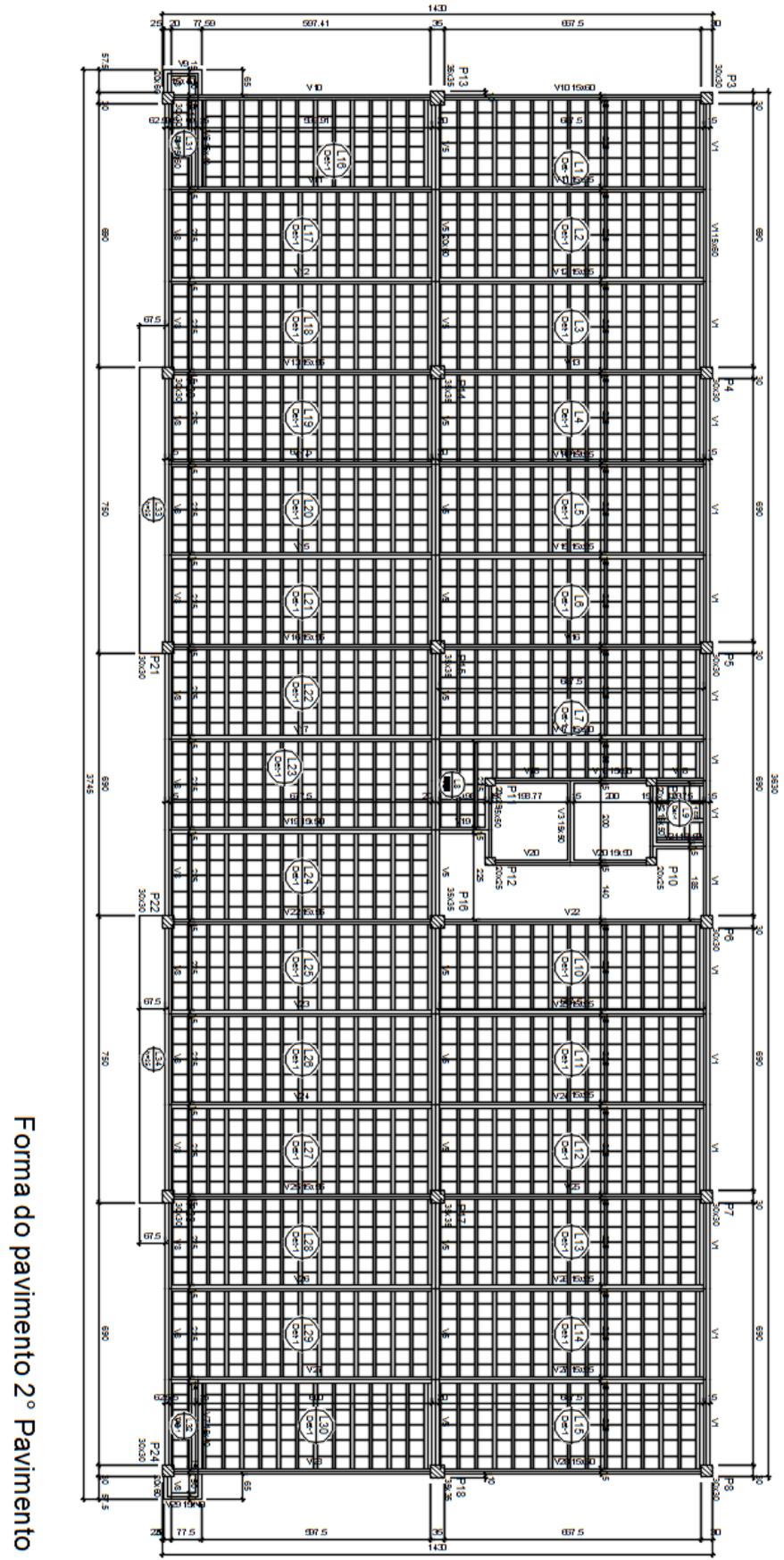
ANEXO D – CORTE CD



 CORTE CD

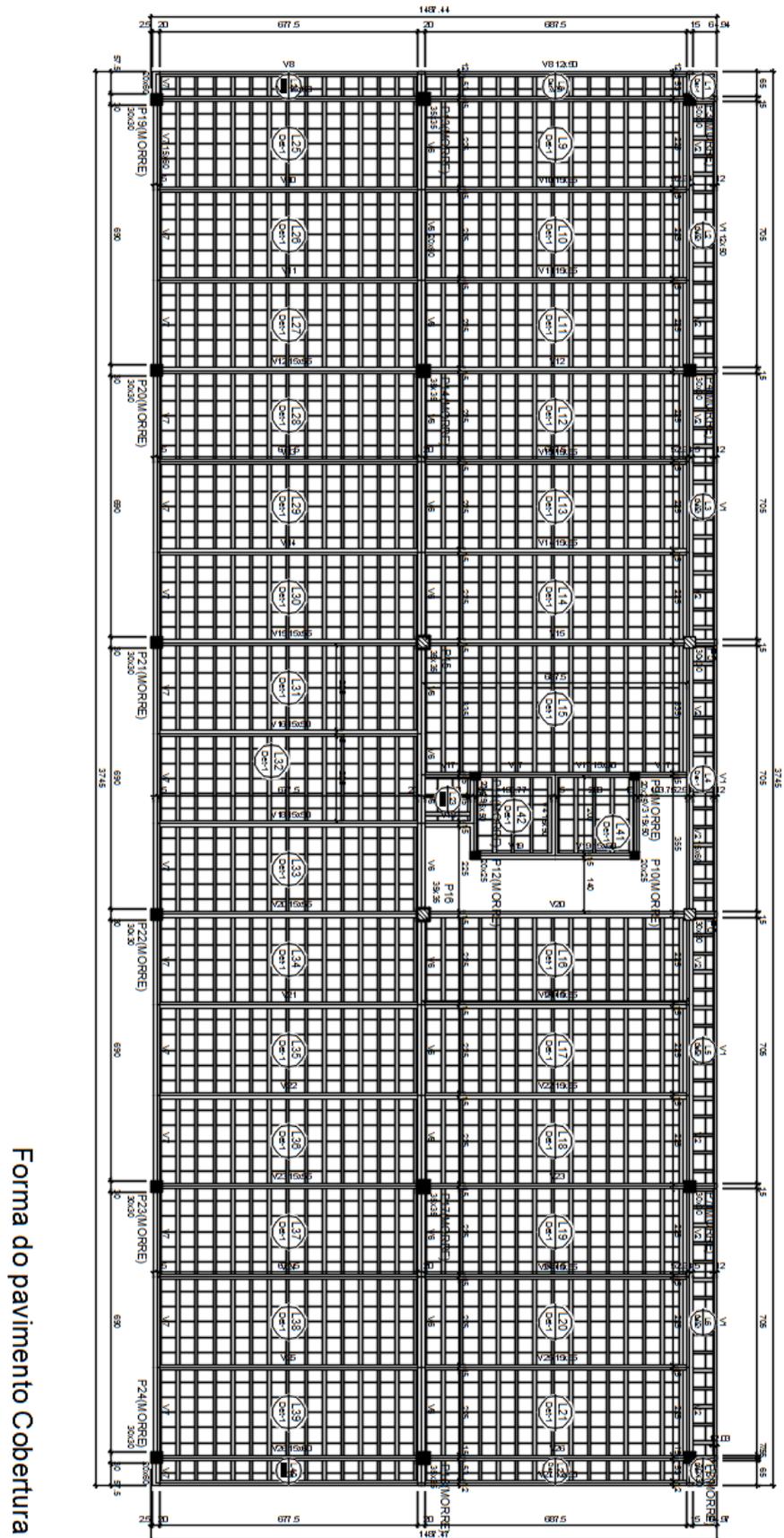


### ANECO F – FÔRMA DO 2º PAVIMENTO



Forma do pavimento 2º Pavimento

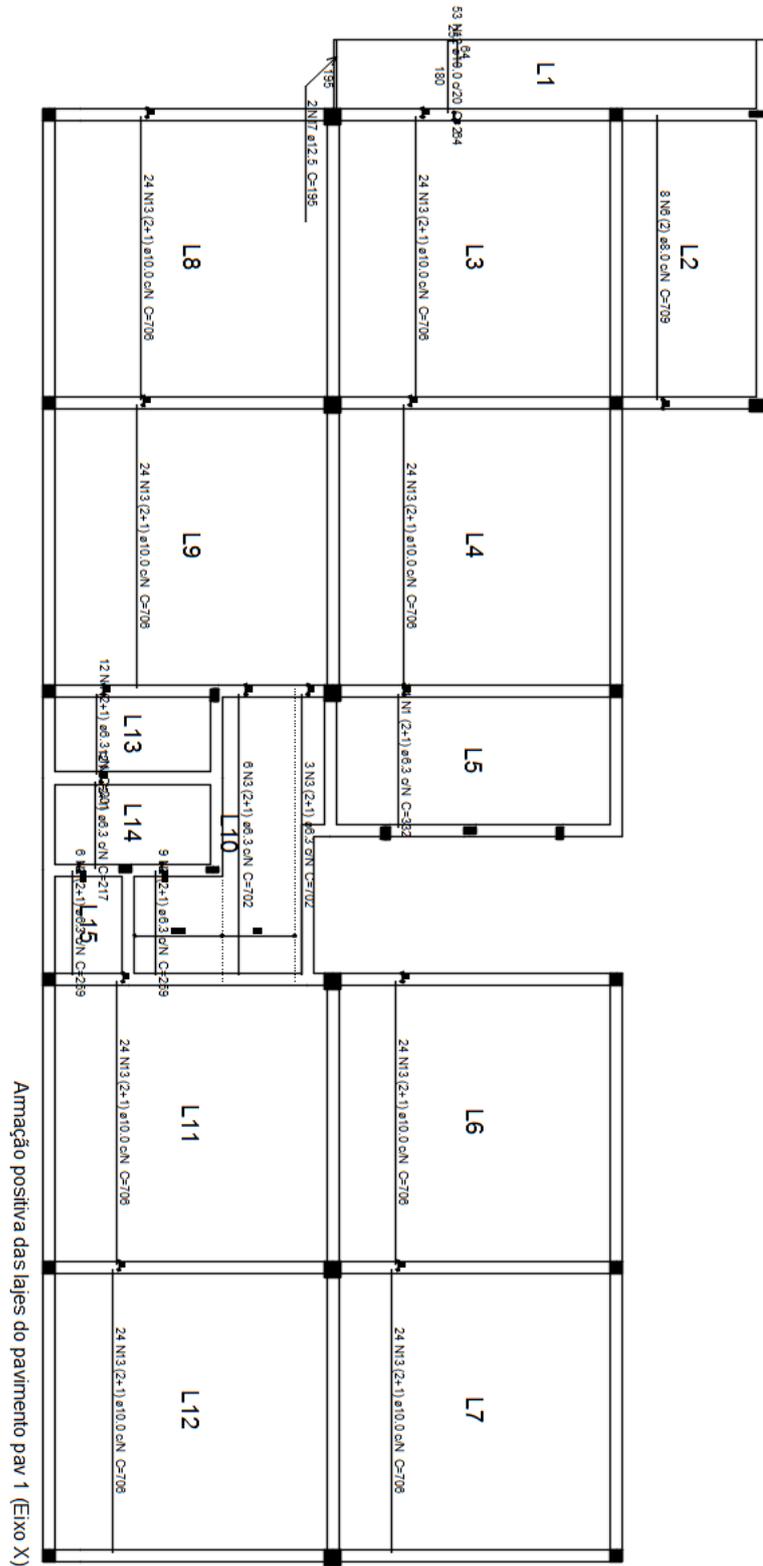
# ANECO G – FÔRMA DA COBERTURA



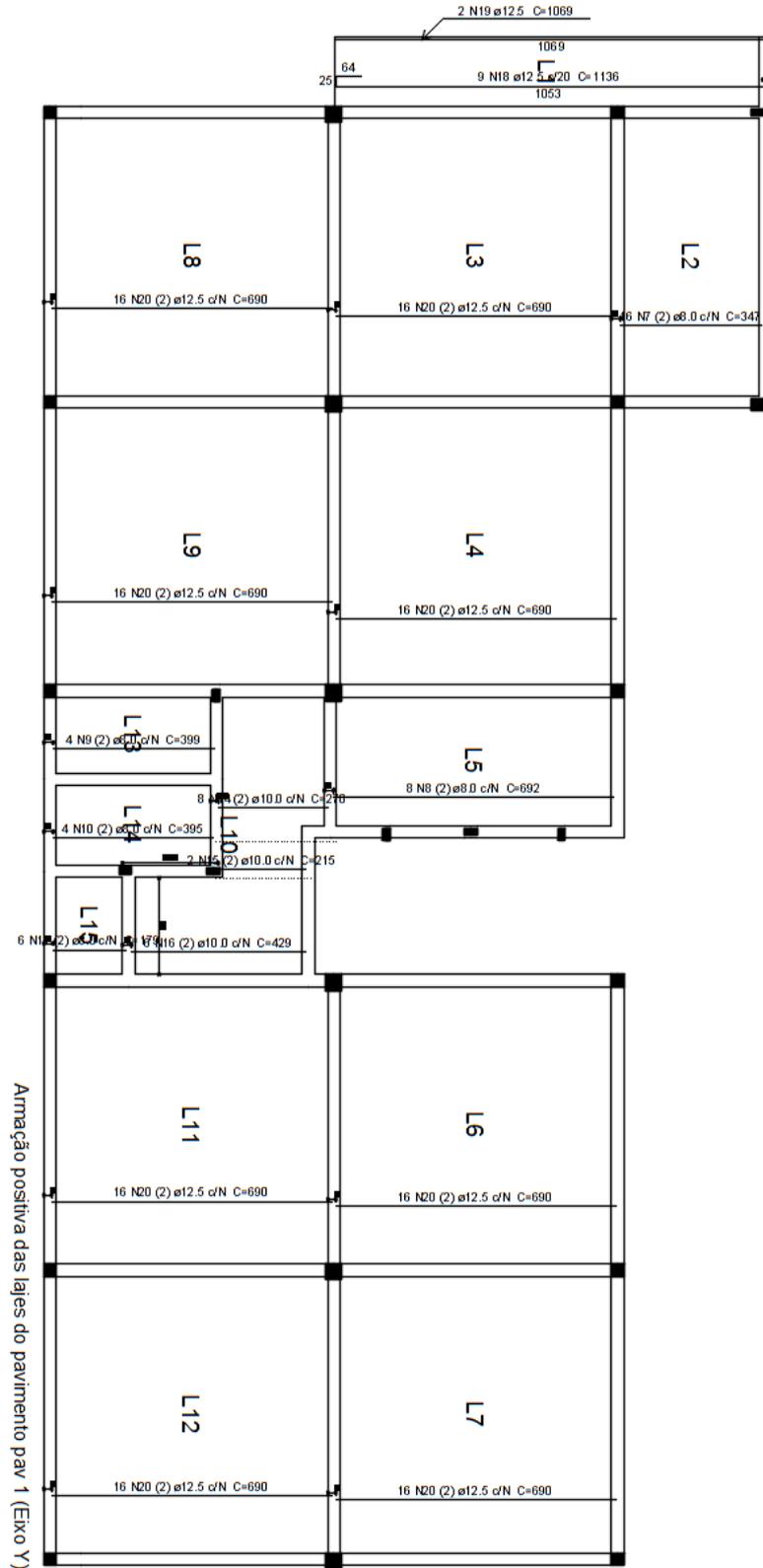
Forma do pavimento Cobertura



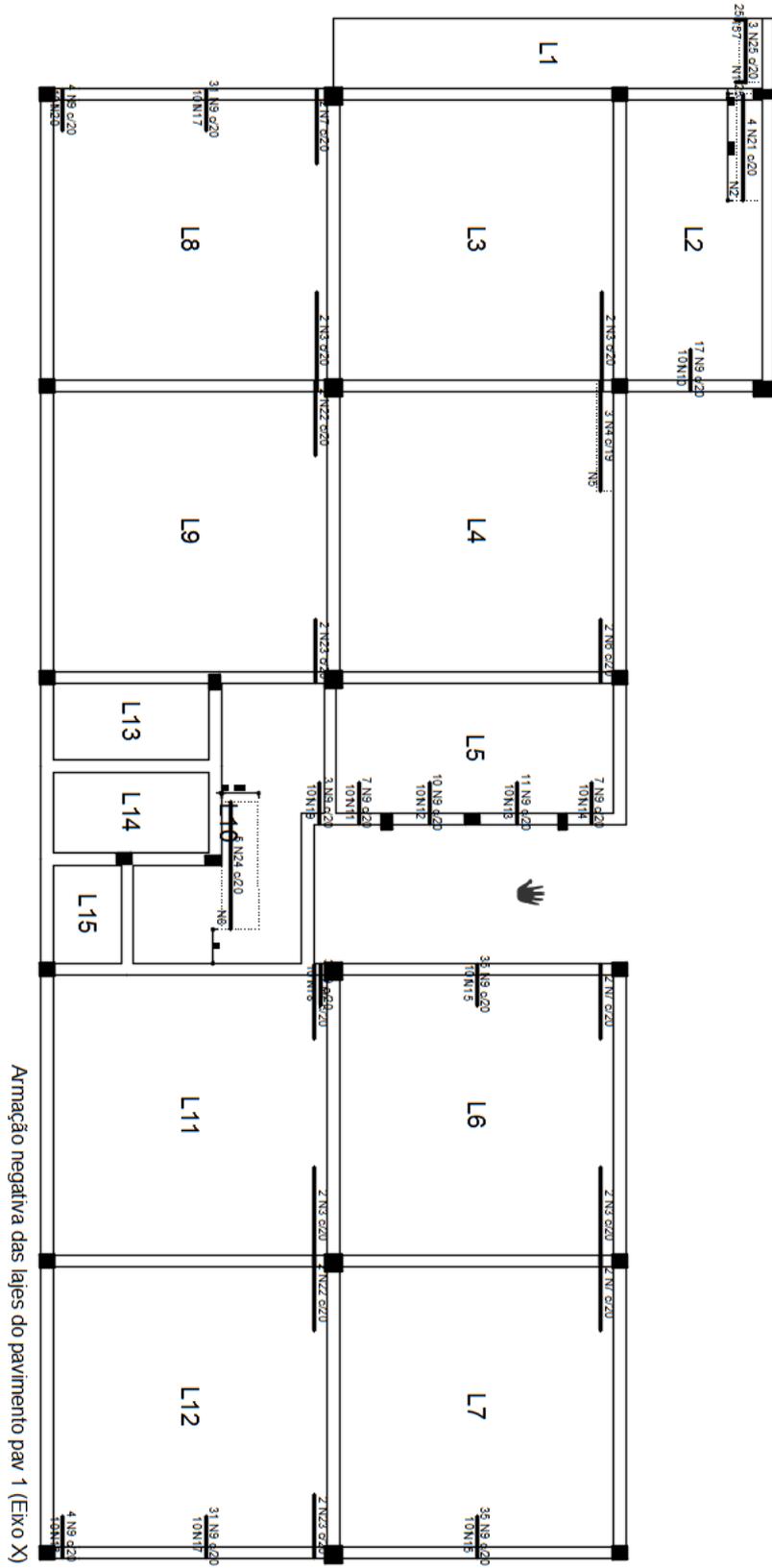
ANEXO I – ARMAÇÃO POSITIVA (EIXO X) DA LAJE NERVURADA DO 1º  
PAVIMENTO



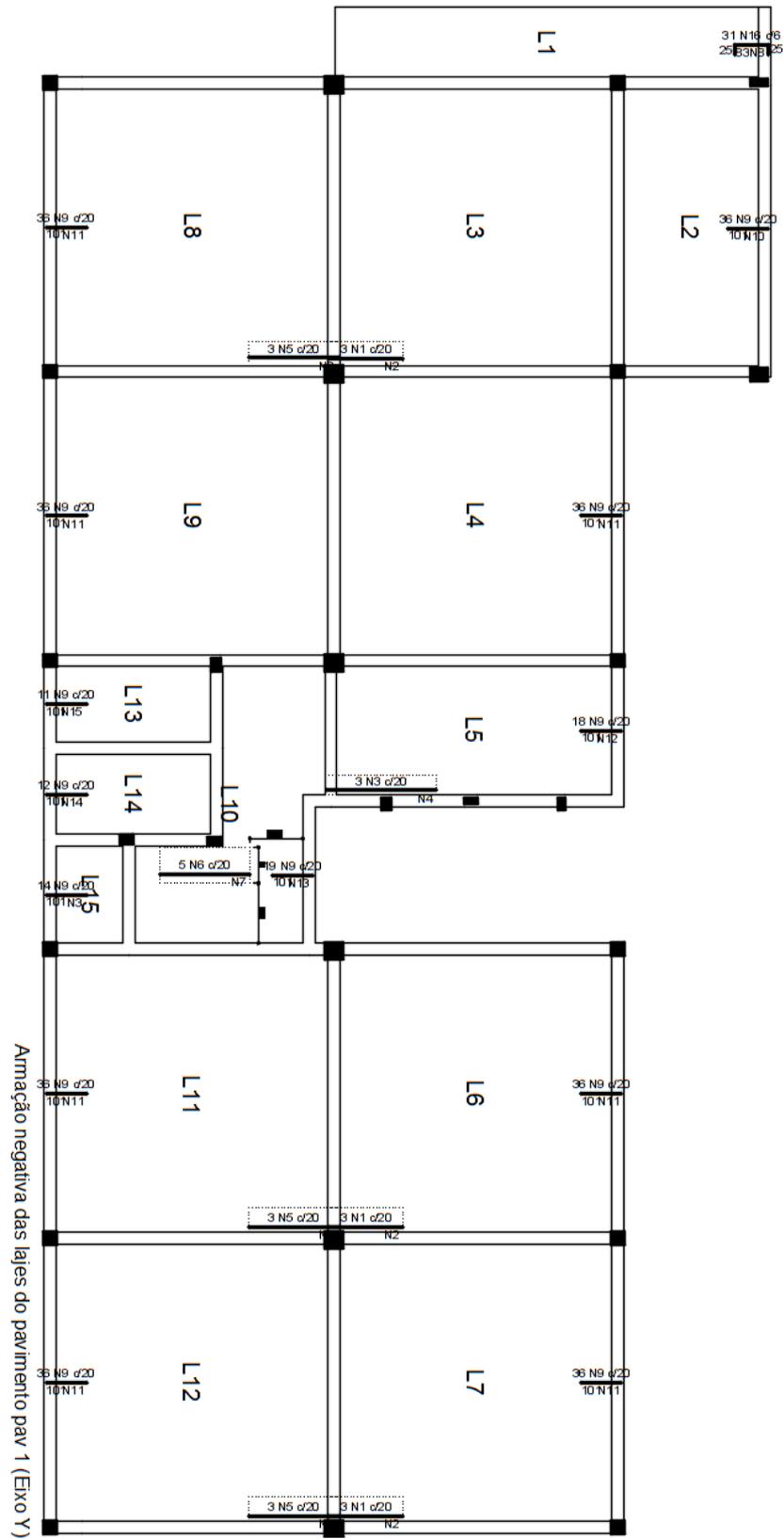
ANEXO J – ARMAÇÃO POSITIVA (EIXO Y) DA LAJE NERVURADA DO 1º  
PAVIMENTO



ANEXO K – ARMAÇÃO NEGATIVA (EIXO X) DA LAJE NERVURADA DO 1º PAVIMENTO

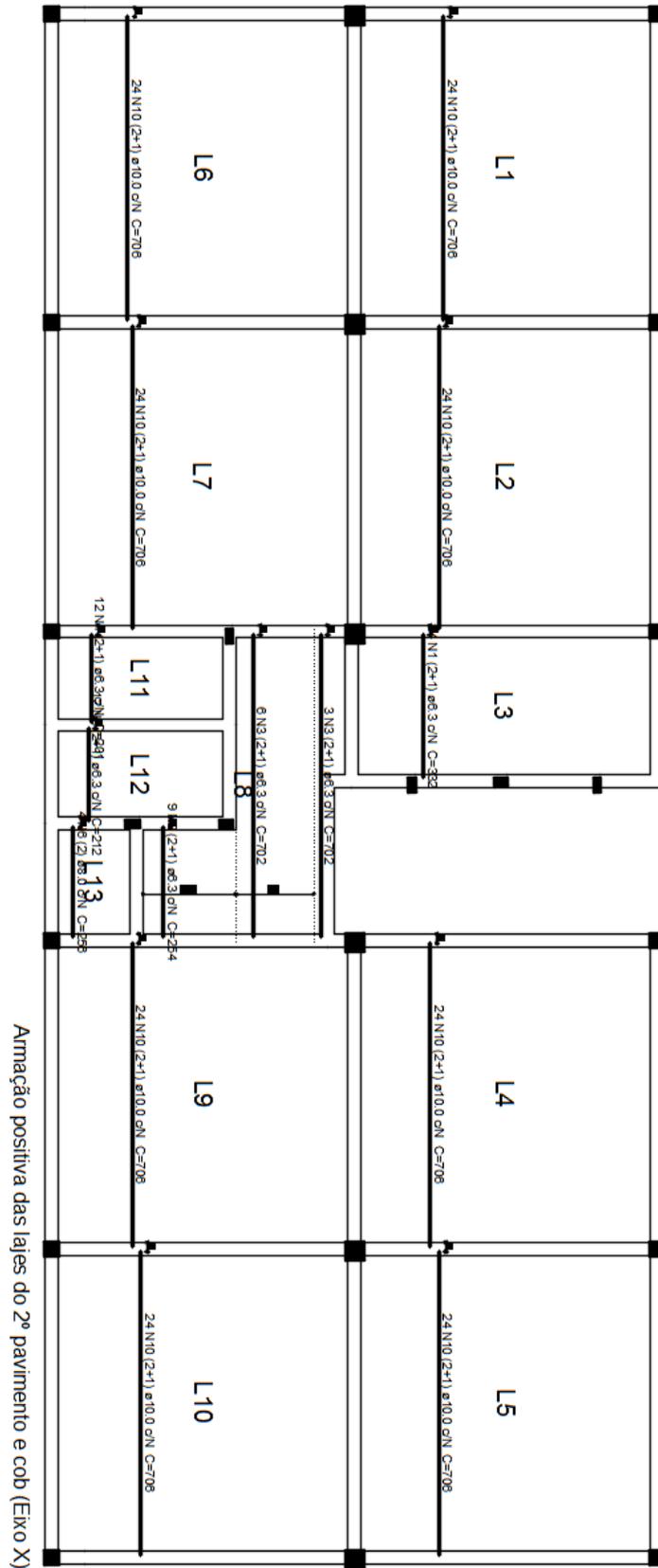


ANEXO L – ARMAÇÃO NEGATIVA (EIXO Y) DA LAJE NERVURADA DO 1º  
PAVIMENTO

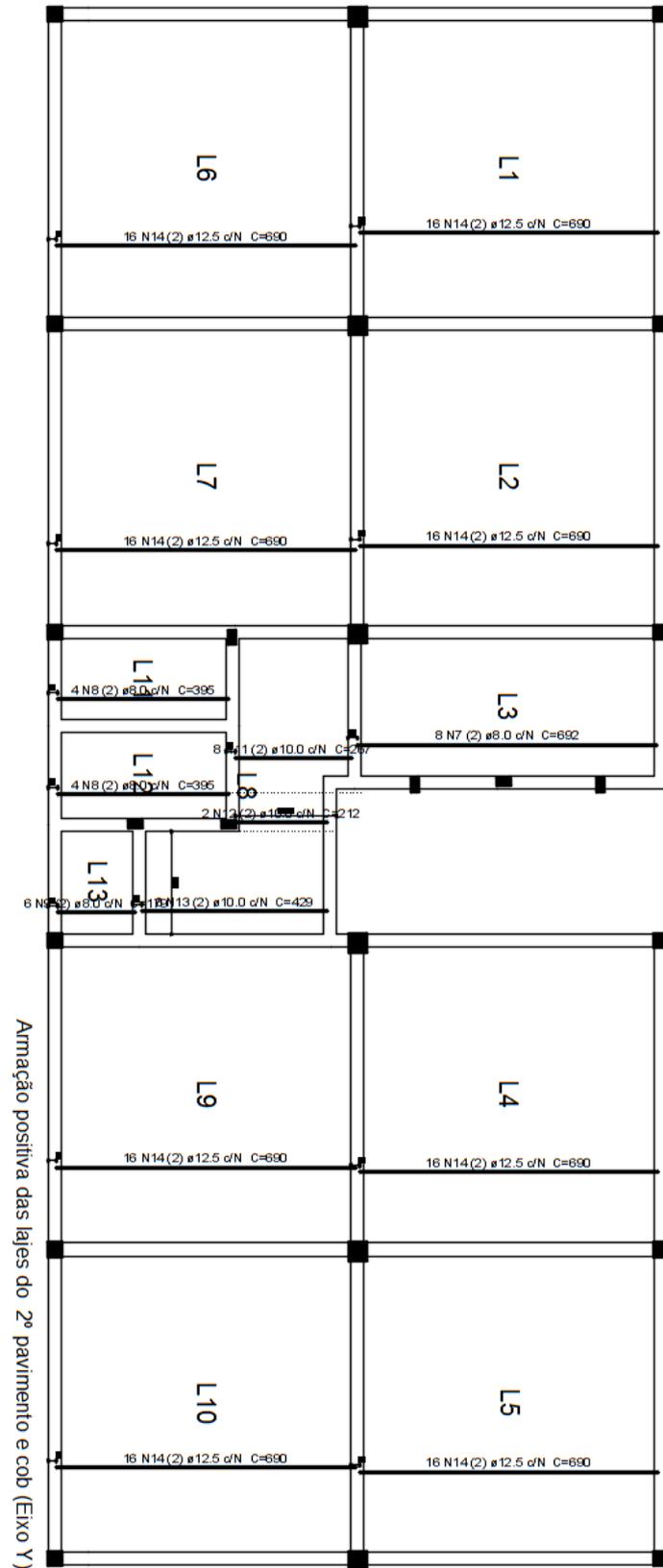




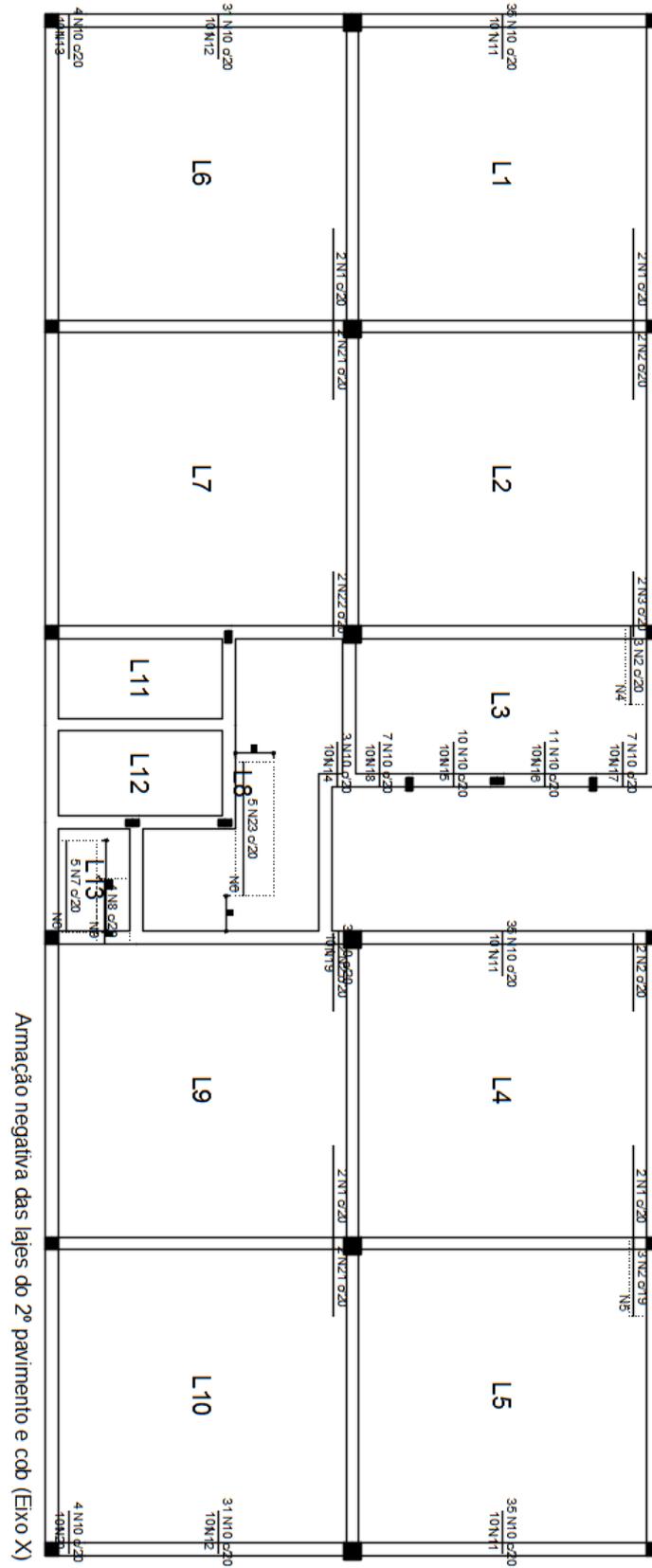
ANEXO N – ARMAÇÃO POSITIVA (EIXO X) DA LAJE NERVURADA DO 2º  
PAVIMENTO E COBERTURA



ANEXO O - ARMAÇÃO POSITIVA (EIXO Y) DA LAJE NERVURADA DO 2º  
PAVIMENTO E COBERTURA



ANEXO P - ARMAÇÃO NEGATIVA (EIXO X) DA LAJE NERVURADA DO 2º PAVIMENTO E COBERTURA



Armação negativa das lajes do 2º pavimento e cob (Eixo X)

ANEXO Q - ARMAÇÃO NEGATIVA (EIXO Y) DA LAJE NERVURADA DO 2º  
PAVIMENTO E COBERTURA

