

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS SERTÃO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCIO GOMES DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES
MACIÇAS E NERVURADAS MOLDADAS IN LOCO EM UM EDIFÍCIO
COMERCIAL**

DELMIRO GOUVEIA – AL

2019

MARCIO GOMES DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES
MACIÇAS E NERVURADAS MOLDADAS IN LOCO EM UM EDIFÍCIO
COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Vinicius Costa
Correia

DELMIRO GOUVEIA – AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586e Silva, Márcio Gomes da

Estudo comparativo entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas moldadas *in loco* em um edifício comercial / Márcio Gomes da Silva. – 2019.

42 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Vinícius Costa Correia.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Engenharia civil. 2. Projeto estrutural. 3. Dimensionamento. 4. Lajes maciças. 5. Lajes nervuradas. 6. Estudo comparativo. I. Correia, Vinícius Costa. II. Universidade Federal de Alagoas. I. Título.

CDU: 624.073

Folha de Aprovação

MARCIO GOMES DA SILVA

Estudo comparativo entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas moldadas in loco em um edifício comercial

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão e aprovado em 19 de dezembro de 2019.

Vinicius Costa Correia

Prof. MSc Vinícius Costa Correia, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:

Vinicius Costa Correia

Prof. MSc Vinícius Costa Correia, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Alverlano Silva Ricardo

Prof. MSc. Alverlano Silva Ricardo, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

Rogério de Jesus Santos

Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

RESUMO

No dimensionamento de laje de concreto armado é indispensável a utilização de sistemas construtivos adequados para garantir a funcionalidade, qualidade e economia da estrutura. Várias técnicas podem ser aplicadas para assegurar a funcionalidade e qualidade da laje, porém a escolha entre tipos de lajes pode representar uma economia significativa no orçamento estrutural. Neste sentido, a fim de elucidar qual técnica se mostra mais eficaz em termos de custo-benefício, o presente estudo comparou duas modalidades desse sistema construtivo: as lajes maciças e nervuradas moldadas in loco, considerando um edifício comercial de 4 pavimentos. O comparativo foi realizado com o auxílio do software Eberick V10, da plataforma do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). O estudo mostrou que a alternativa escolhida é produto de um agrupamento de fatores que vão desde a funcionalidade arquitetônica às despesas oriundas dos materiais e serviços prestados. Desta forma, foi possível comprovar, através dos dados provenientes do dimensionamento e por meio do valor unitário dos insumos e serviços obtidos do SINAPI que o uso da laje nervurada é como sendo o método mais viável em custo benefício.

Palavras-chave: Lajes maciças. Lajes nervuradas. Estudo comparativo.

ABSTRACT

For the dimensioning of concrete armor structures, it is indispensable to use suitable constructive systems; in order to ensure a propagation of the structural element in question; the safety, quality and economy of the work. The present study compares the use of solid slabs and the molded nerve in loco in a 4-storey commercial building, as well as being an economic evaluation for each method, an end to elucidate is better that it is more cost-effective benefit. The comparison was made using the Eberick V10 software in addition to the Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), with the purpose of dimensioning the slabs and obtaining a quantitative table (formwork, concrete and steel), as well as performing a composition of costs of the clients and services particular to each method, respectively. The study was carried out in a selective selection of a grouping of factors that has an architectural requirement for the materials and services provided. In this way, it was possible to prove the use of the ribbed slab as the most feasible method, despite the higher cost of operation.

Keywords: Massive slabs. Ribed slabs. Comparative study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema estrutural de uma edificação.....	11
Figura 2 - Ilustração da composição de uma laje maciça convencional em concreto armado.	13
Figura 3 - Representação da laje.....	14
Figura 4 - Ilustração da composição de uma laje nervurada em concreto armado.....	17
Figura 5 - Laje Nervurada em cubetas.....	18
Figura 6 - Laje pré-moldada com preenchimento com blocos cerâmicos.....	23
Figura 7 - Tabelas para lajes de vigotas pré-fabricadas.....	26
Figura 8 - Treliça metálica de vigotas.	26
Figura 9 - Vigota pré-fabricada.	27
Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo.....	29
Figura 11 - Planta baixa do pavimento térreo.....	30
Figura 12 - Sistema estrutural do edifício de quatro pavimentos tipo.....	30
Figura 13 - Comparação do quantitativo dos métodos construtivos.	36
Figura 14 - Comparação do custo dos métodos construtivos.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento quantitativo estrutural.....	35
Tabela 2 - Levantamento do custo estrutural da laje maciça.....	36
Tabela 3 - Levantamento custo estrutural nervurada.....	37

LISTA DE SIGLAS

LM – Laje Maciça;

LMS – Laje Maciça Simples;

LN – Laje Nervurada;

LNML – Laje Nervurada Moldada no local;

LC – Laje Cogumelo;

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

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 – Laje Maciça.....	35
Fluxograma 2 – Laje Nervurada.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Considerações Iniciais	8
1.2	Problema de Pesquisa	8
1.3	Objetivos	9
1.3.1	Objetivo Geral	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	Estrutura do Trabalho	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Concreto Armado	10
2.2	Lajes	11
2.2.1	Lajes Maciças	12
2.2.1.1	Laje Maciça Simples (LMS)	14
2.2.1.2	Vantagens e Desvantagens da Laje Maciça Simples	15
2.2.2	Lajes Nervuradas	16
2.2.2.1	Tipos de Lajes Nervuradas	19
2.2.2.2	Laje Nervurada Moldada no Local (LNML)	20
2.2.2.3	Vantagens e Desvantagens da LNML	21
2.2.2.4	Laje Nervurada Pré-Moldada	21
2.2.2.4.1	Tipos de Lajes Pré-Moldadas	22
2.3	Softwares para Dimensionamento	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	Caracterização da Edificação Modelo	29
3.2	Caracterização dos Sistemas Estruturais	30
3.3	Caracterização da Tabela de Quantitativos e de Custos	31
3.4	Dados Considerados Durante o Cálculo dos Elementos Estruturais	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35

4.1	Comparação dos Quantitativos de Materiais	35
4.2	Composição dos Custos do Material	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As lajes são elementos de muita importância em estruturas de concreto armado, pois são responsáveis por dar suporte à contra pisos ou funcionar como teto. Geralmente, apoiam-se em vigas, que por sua vez, apoiam-se em pilares e realizam a distribuição adequada da carga da edificação. Diante disso, é plausível a preocupação quanto ao seu adequado dimensionamento e execução, de forma otimizada.

No dimensionamento de laje de concreto armado é indispensável a utilização de sistemas construtivos adequados para garantir a funcionalidade, qualidade e economia da estrutura. Várias técnicas podem ser aplicadas para assegurar a funcionalidade e qualidade da laje, porém a escolha entre tipos de lajes pode representar uma economia significativa no orçamento estrutural. Assim, é de crucial importância se projetar e executar obras que venham a ser otimizadas, sendo interessante, para isso, o comparativo de métodos construtivos, para se chegar à opção mais adequada à realidade e condições do projeto. Alguns trabalhos análogos podem ser citados como Gonçalves e Silva (2016), estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas, Caio (2014), análise comparativa de sistemas estruturais de lajes maciças e lajes nervuradas treliçadas.

Neste sentido, este estudo traça um comparativo de custos entre os sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas executadas com cubetas plásticas, moldadas in loco de um edifício tipo, em virtude das características, mão de obra e fatores técnico e econômico do ambiente em estudo, a fim de auxiliar a tomada de decisão no que diz respeito ao método de maior custo-benefício.

Para tal, foi realizado, para cada um dos métodos investigados, o dimensionamento dos sistemas através do software Eberick V10; o quantitativo dos insumos particulares à cada tipo de método, conforme os resultados anteriores; o levantamento do custo referente à execução de cada arranjo estrutural; o orçamento entre os elementos que envolvem cada uma das soluções e, por fim, a análise e determinação da solução estrutural mais viável economicamente.

1.2 Problema de Pesquisa

Diante do exposto, pretende-se responder ao seguinte problema de pesquisa: Qual o melhor método construtivo entre a laje maciça e a laje nervurada moldada in loco a ser aplicado na execução de um edifício de quatro pavimentos na cidade de Delmiro Gouveia - AL?

1.3 Objetivos

Os objetivos da pesquisa estão fundamentados em objetivo geral e objetivos específicos e estão descritos abaixo.

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo entre os sistemas construtivos de lajes maciças e lajes nervuradas moldadas in loco.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Modelar o sistema estrutural tridimensionalmente no “software” Eberick V10;
- Levantar os valores unitários para os materiais e mão de obra na plataforma SINAPI para o estado de alagoas;
- Comparar os resultados apresentados na execução das lajes maciça e nervurada moldada in loco;

1.4 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 trata da contextualização do tema, o problema de pesquisa, a justificativa do trabalho, a exposição dos objetivos geral e específicos e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica a respeito do concreto, concreto armado e das lajes, lajes maciças e nervuradas moldadas in loco.

O capítulo 3 mostra todo o procedimento utilizado no trabalho, primeiro introduz sobre o programa Eberick V10, posteriormente, foi descrito o objeto de estudo até os procedimentos utilizados, apresentando as ferramentas e métodos adotados para a coleta e análise dos dados.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos pelos dois métodos construtivo, trazendo as variações encontradas por ambos e analisando essas diferenças observadas.

O capítulo 5 verifica o alcance dos objetivos, apresenta as contribuições da pesquisa, caracteriza as limitações do presente estudo e expõe as recomendações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto Armado

Benevolo (1976) explica que concreto armado é um processo construtivo inventado na Europa em meados do século XIX. Ele consiste na combinação do concreto com a armadura de aço passiva, pois as propriedades à tração do aço com a compressão do concreto permitem que possam atingir consideráveis vãos e alturas, de diferentes formas e aplicações.

Concreto armado é um tipo de estrutura que utiliza armações feitas com barras de aço. Essas ferragens são utilizadas devido à baixa resistência aos esforços de tração do concreto, que tem alta resistência à compressão, sendo que o aço é resistente à tração.

A primeira publicação sobre Cimento Armado (denominação do concreto armado até mais ou menos 1920) foi do francês Joseph Louis Lambot. Presume-se que em 1850 Lambot efetuou as primeiras experiências práticas do efeito da introdução de ferragens numa massa de concreto. Em 1954, Lambot já executava construções de “cimento armado” com diversas finalidades.

Segundo Kaefer (1998), os avanços da teoria e da prática da construção de estruturas de concreto armado permaneciam muito restritos, pois havia poucas publicações que disponibilizassem informações técnicas de um modo que pudesse ser empregado prontamente por engenheiros até o fim do século XIX, quando estudos mais significativos começaram a ser desenvolvidos, principalmente na Alemanha.

Benevolo (1976) afirma que junto com o aço e o vidro, o concreto armado constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna, que são produzidos em escala industrial e viabilizam arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias ou, em suma, aqueles novos objetos arquitetônicos característicos do cenário do mundo modernizado do século XX.

De acordo com Santos (2006), em nenhum país no mundo modernizado a tecnologia do concreto armado foi tão predominante quanto no Brasil, sendo atualmente, ainda muito aplicado nas construções das cidades brasileiras, sejam elas residenciais ou prediais.

Fajersztajn (1987) relata que a grande utilização do concreto armado nas construções brasileiras deve-se à excelente compatibilidade entre o concreto e o aço, possibilitando a obtenção de estruturas monolíticas e hiperestáticas. O autor cita outras vantagens quanto à adaptação a qualquer tipo de forma, facilidade de execução, resistência a efeitos térmicos,

atmosféricos e a desgastes mecânicos, além de sua economia frente às outras opções disponíveis no mercado.

O Concreto Armado alia as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água) com as do aço (ductilidade e excelente resistência à tração e à compressão), o que permite construir elementos com as mais variadas formas e volumes, com relativa rapidez e facilidade, para os mais variados tipos de obra.

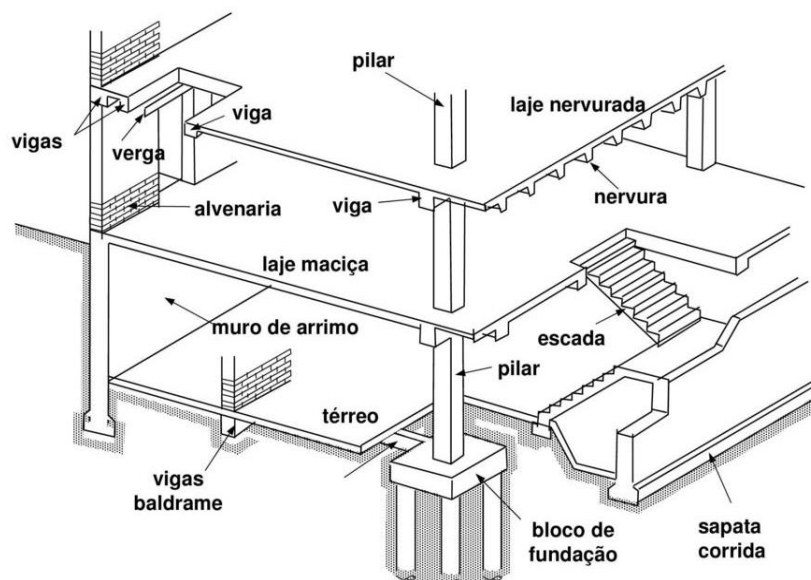
2.2 Lajes

Carvalho e Figueiredo Filho (2017) dizem que lajes são placas de concreto de superfície plana em que a dimensão perpendicular à superfície, a espessura, é relativamente pequena em relação às demais e sujeitas principalmente a ações normais a seu plano.

Estruturalmente, um dos elementos mais importantes de qualquer projeto de engenharia, as lajes são estruturas horizontais planas responsáveis pela cobertura, forro ou piso de uma edificação, apoiadas em vigas e pilares, dividindo os pavimentos do empreendimento, conforme se observa na Figura 1.

As estruturas configuram a sustentação de uma edificação, garantindo desempenho adequado e segurado às finalidades da obra. Essas, absorvem e transmitem os esforços sofridos ao solo; constituem-se por elementos estruturais que, quando arranjados, originam os sistemas estruturais (MASCIA, RODRIGUES e SOUZA, 2008).

Figura 1 - Sistema estrutural de uma edificação.



Outro fator que destaca as lajes frente às demais estruturas planas, é que nela o carregamento atua de forma perpendicular ao plano médio. Essas ações são transmitidas para os apoios. As lajes atuam como diafragmas horizontais rígidos, e assim distribuem as ações de forma horizontal para os pilares presentes no projeto.

Quanto às ações solicitantes nas lajes, estas atuam, geralmente, de forma normal ao seu plano (CARVALHO e FIGUEREIDO FILHO, 2017). As mais recorrentes são as ações devido às cargas permanentes e acidentais, consideradas para cálculo de cargas de estruturas de edificações, em conformidade com a NBR 6120 (ABNT, 1980, p. 1). As causas de tais solicitações são diversas. Podem se dar pela circulação de pessoas, existência de paredes, móveis, e principalmente devido ao peso próprio do elemento estrutural em si.

Essas duas funções garantem à laje as funções estruturais de placa e de chapa. Isso proporciona estabilidade geral da construção, principalmente em prédios altos, e de segurança em relação às ações laterais.

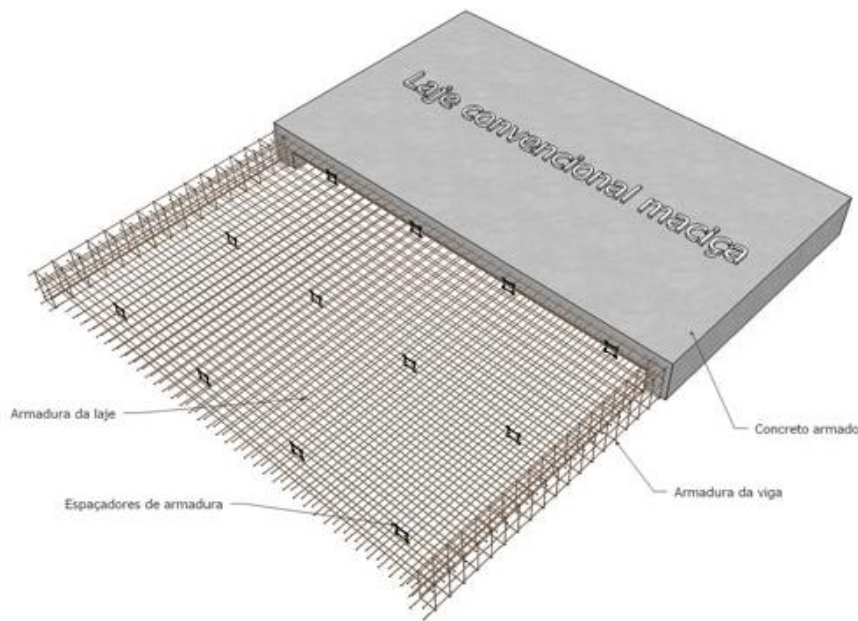
Figueiredo Filho (1989) descreve laje como uma placa, folhas planas sujeitas principalmente a ações normais ao seu plano, feitas de concreto, concreto armado ou protendido. Souza e Cunha (1998) classificam as lajes sob quatro critérios: forma, natureza, tipo de apoio e tipo de armação. Assim, quanto:

- À forma: as lajes podem ser retangulares, quadradas, triangulares, em L, circulares etc.;
- À natureza: existem lajes maciças, nervuradas, mistas, em grelha, duplas e pré-fabricadas;
- Ao tipo de apoio: as lajes podem ter apoio contínuo, discreto e em apenas um trecho de sua área;
- Ao tipo de armação: elas podem ser armadas ou em uma só direção ou em duas, também chamadas de armadas em cruz ou bidirecional. As lajes maciças e as nervuradas moldadas in loco possuem diferenças na execução, isolamento acústico, isolamento térmico, deformações e maneira de transmissão das cargas para a estrutura.

2.2.1 Lajes Maciças

Segundo Bastos (2015), laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão (Figura 2) e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas.

Figura 2 - Ilustração da composição de uma laje maciça convencional em concreto armado.



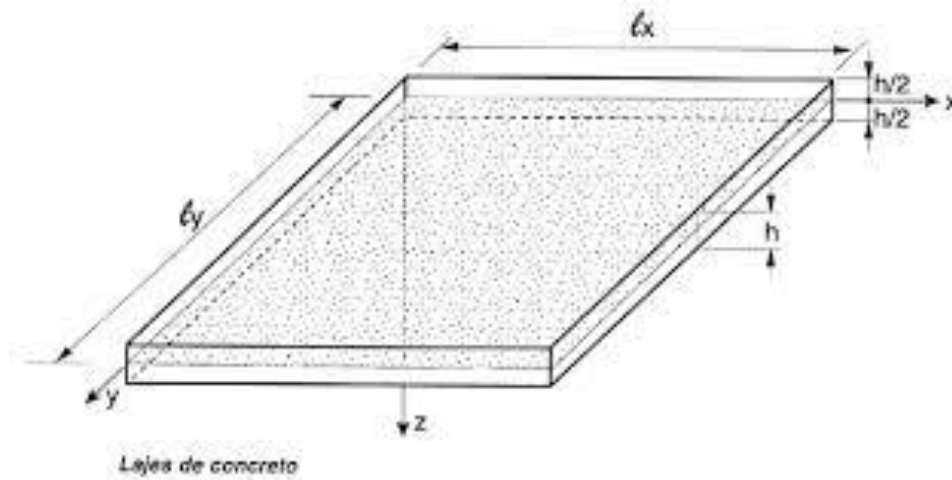
Fonte: CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO (2012).

A laje maciça é um tipo de laje, de seção homogênea, executada sobre formas, que as moldam, e escoramentos, que as sustentam até que adquiram resistência própria. As lajes maciças de concreto, com espessuras que normalmente variam de 7 a 15cm, são comuns em edifícios de múltiplos pavimentos e em construções como escolas, indústrias, hospitais etc. De modo geral, são aplicadas em construções residenciais e outras de pequeno porte, mas não recomendado para vencer grandes vãos, pois nesses tipos de construção as lajes pré-fabricadas (como por exemplo as lajes com vigotas e tabelas) e nervuradas moldadas in loco apresentam vantagens no aspecto custo e facilidade de construção.

Conforme Carvalho e Figueiredo (2014), a determinação do tipo de laje maciça segundo a direção da armadura (unidirecional ou bidirecional) depende da relação entre os vãos da laje (Figura 3). Logo, para:

- $\frac{\text{Vão maior}}{\text{Vão menor}} \leq 2$, o elemento deve ser armado em duas direções, portanto é denominado laje maciça bidirecional de concreto armado;
- $\frac{\text{Vão maior}}{\text{Vão menor}} > 2$, o elemento deve ser armado em uma única direção (a do menor vão), portanto é denominado laje maciça unidirecional de concreto armado.

Figura 3 - Representação da laje.



Fonte: Franca e Fusco (1997).

Pinheiro (2007) define que lajes são elementos planos, de maneira comum horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta chamada de espessura. A principal função da laje é receber os carregamentos do andar relacionado a pessoas, móveis, equipamentos, impactos etc., e transferi-los para a estrutura. Os tipos usuais de lajes maciças de concreto armado são:

- Laje Maciça Simples (LMS);
- Laje Cogumelo (LC);
- Laje Mista (LM);
- Laje Nervurada (grelha ou cruz, aparente ou com enchimento);
- Laje Fundação (radier).

2.2.1.1 Laje Maciça Simples (LMS)

Para este tipo de laje o processo de execução é mais usual em função do maior número de colaboradores que se pode encontrar já que não se necessita de mão de obra especializada. Em casos de edifícios com grande número de pavimentos, se torna muito viável pelo fato da reutilização de fôrmas, já que é um elemento de considerável valor, quando no caso de apartamentos tipo, de desenho comum a cada andar. Contudo, este tipo de laje possui limitações como em grandes vãos já que são estruturas de peso próprio elevado.

Segundo Sphor (2008) apesar da facilidade de execução de uma LMS, esse tipo de laje não é usualmente aplicado a vãos menores que 3,5 m ou maiores que 5 m, por ser economicamente menos viável que outros métodos disponíveis. Ressalta-se ainda que, de forma

geral, as espessuras das lajes podem variar entre 7 e 15 centímetros, como o determinado em norma (ABNT - NBR 6118, 2014, p. 74).

Nas lajes maciças de concreto armado devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura de acordo com a NBR 6118:2014:

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

2.2.1.2 Vantagens e Desvantagens da Laje Maciça Simples

Como vantagens, as LMS comumente empregada em construções para edifícios de múltiplos pavimentos e edificações de médio porte, proporcionam segurança e estabilidade devido a sua rigidez, as fôrmas são integralmente preenchidas por concreto junto à armação metálica, de acordo com respectivas espessuras definidas por cálculo estrutural. O sistema ainda permite, além dos desenhos planejados, formatos tridimensionais e fluídos.

Das desvantagens da LMS, se tem a grande quantidade de material utilizado nas fôrmas, como por exemplo o concreto e o aço, no uso considerável de madeira que posteriormente são descartadas, além da quantidade de horas da mão de obra, onde se resulta em custo elevado do valor total da obra e também maior geração de resíduos. Destaca-se ainda, como desvantagem, o peso da laje, em virtude do volume de concreto, faz com que os outros elementos da estrutura também devem ser reforçados, o que leva a um aumento material usado no sistema estrutural.

Carvalho e Pinheiro (2009) citam como vantagens das lajes maciças a sua execução simples, e o fato de apresentar pouca deformação e esforços relativamente pequenos. Enquanto que, como desvantagens, se tem grande consumo de materiais elevando custos, possui peso próprio elevado e por sua vez apresenta facilidade de propagação de ruídos entre os pavimentos.

Lopes (2012) apresenta a seguinte lista de vantagens que as lajes maciças comuns possuem:

- Oferece funções de placa e membrana (chapa);

- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços
- Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);
- A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;
- Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.

Lopes (2012) também apresenta a seguinte lista de desvantagens que as lajes maciças comuns possuem:

- Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado peso próprio causando maiores reações de apoio;
- Demanda grande quantidade de tempo para execução das fôrmas e para as desformas;
- Custo relativamente elevado.

2.2.2 Lajes Nervuradas

Segundo Pinheiro e Razente (2003), as evoluções arquitetônicas que forçaram o aumento dos vãos, e o alto custo das formas tornaram as lajes maciças desfavoráveis economicamente, na maioria dos casos. Surgem como uma das alternativas as lajes nervuradas, além disso, o emprego destas lajes simplifica a execução e permite a industrialização, com redução de perdas e aumento da produtividade, racionalizando a construção.

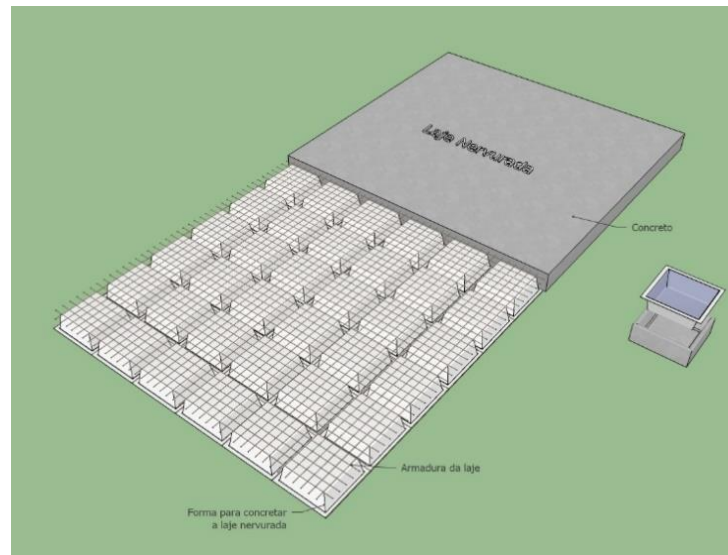
Ainda segundo Pinheiro e Razente (2003), o sistema de lajes nervuradas é uma evolução natural das lajes maciças, ao eliminar a maior parte do concreto abaixo da linha neutra (zona de tração). Isso resulta em estruturas mais leves e em um aproveitamento mais eficiente dos dois materiais: aço e concreto. Com esse alívio do peso próprio, é possível vencer vãos maiores do que a laje maciça, resultando em pilares mais espaçados e liberação de espaço das edificações, permitindo o seu maior aproveitamento e uma maior flexibilidade do projeto arquitetônico.

A laje nervurada é originada de evolução das lajes maciças em decorrência de estudos e necessidades provenientes de economia de recursos e materiais além de fatores estéticos e ambientais, como vãos maiores e redução de cargas.

Inicialmente eram utilizadas fôrmas de madeiras para moldagem da laje. Em seguida, evoluíram para fôrmas de fibra de vidro, porém todas com pouca produtividade. Hoje em dia a laje nervurada vem se tornando uma das soluções construtivas mais populares entre as construtoras.

Conforme Pinheiro e Razente (2003), o sistema com uma ou mais lajes do tipo nervuradas é composto por um agrupamento de vigas que se encontram unidas pela mesa, conforme o exposto na Figura 4. Esse método possui uma ação intermediária entre as técnicas de laje maciça e a de grelha, podendo ser do tipo unidirecional ou bidirecional. O primeiro caso possui as nervuras arranjadas em uma única direção, enquanto o segundo dispõe as nervuras em duas direções, formando um ângulo reto.

Figura 4 - Ilustração da composição de uma laje nervurada em concreto armado.



Fonte: CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO (2012).

Estudos de Franca e Fusco (1997) apontaram que o uso de lajes nervuradas possibilita um maior ganho econômico em relação à espessura total das lajes, quando comparadas com o uso de lajes maciças. Sendo ainda uma evolução arquitetônica, em virtude da substituição de uma boa quantidade do concreto presente abaixo da linha neutra por espaços vazios ou material inerte.

Para que essa solução alcance o objetivo de diminuição do peso próprio da laje, o material inerte utilizado precisa atender algumas características. Como ser o mais leve possível sem perder a resistência durante as fases de operação. Diversos materiais de preenchimento podem ser aplicados, entre eles blocos cerâmicos, blocos de EPS (isopor), blocos vazados de

concreto ou substituí-los por vazios no qual são adquiridos com o uso de fôrmas reaproveitáveis (PINHEIRO E RAZENTE, 2003).

De acordo com a NBR 6118:2014, no seu item 14.7.7, as Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, sem função estrutural, apenas para enchimento.

De forma congruente à NBR 6118:2014, Carvalho e Pinheiro (2009, p. 32) definem a laje nervurada como um sistema estrutural onde se procura afastar o concreto da seção transversal da linha neutra, aumentando a altura da laje, o que proporciona um maior braço de alavanca, formando um conjunto de nervuras, em uma ou em duas direções, com espaçamentos uniformes entre si.

As lajes nervuradas são constituídas por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa. O grande diferencial visual da laje nervurada para a maciça é a existência do espaço vazio na região entre as nervuras, criadas pelas fôrmas instaladas sobre as escoras (Figura 5).

Figura 5 - Laje Nervurada em cubetas.



Fonte: CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO (2012).

Esse vazio é convertido em uma obra mais leve, mas que não compromete a capacidade da estrutura. Isso porque o concreto eliminado na região tracionada não cumpre função

estrutural. As nervuras são interligadas pela capa de concreto, também chamada de mesa de compressão.

A laje nervurada com a mesma inércia de uma maciça terá maior altura, o que resulta em uma quantidade reduzida de ferragem utilizada. Dessa forma, a execução de lajes nervuradas garante uma economia significativa tanto de aço como do concreto evitado com a instalação das fôrmas. Geralmente são moldadas in loco, isto é, aquelas que são moldadas no local da obra. Ainda que existam opções de lajes nervuradas pré-moldadas, podendo as vigotas serem feitas em fábrica, em várias ocasiões são feitas no local, exigindo molduras e estrutura de escoramento.

Abaixo das lajes, é possível utilizar um forro, geralmente de gesso, para manter um acabamento liso, mas as nervuras aparentes, chamadas waffle – por lembrar o formato do alimento – têm se tornado cada vez mais um elemento visual explorado por arquitetos e designers.

2.2.2.1 Tipos de Lajes Nervuradas

De acordo com Silva (2005), existem lajes nervuradas moldadas na obra ou pré-moldadas. As primeiras são representadas principalmente pelo uso das fôrmas plásticas conhecidas em algumas regiões do país como cubetas ou cabaças. Já as pré-moldadas podem utilizar blocos de isopor ou cerâmica.

Ainda conforme Pinheiro e Razante (2003), as lajes moldadas in loco, diferente das pré-moldadas, são executadas exclusivamente no campo, fazendo-se necessário a utilização de escoramento, fôrmas e material inerte, a fim de preencher os espaços vazios. Já se encontram essas fôrmas em polipropileno ou em metal com dimensões fixas, tornando assim indispensável o uso de desmoldantes, iguais aos utilizados nas lajes maciças.

Contudo, as lajes nervuradas também podem ser separadas na forma como distribuem seus esforços. No qual se tem:

- **Laje bidirecional:**

Para lajes com um formato mais quadrado, com nervuras ortogonais, a distribuição dos esforços acontece de forma bidirecional. Nesse caso, predominam as fôrmas quadradas, sejam moldadas in loco ou previamente. Essas estruturas são indicadas para conseguir vãos maiores, em edifícios mais altos, com mais pavimentos e plantas com aspectos mais quadrados, com

repetição nas estruturas. Essa solução oferece maior resistência aos esforços horizontais, dispensando pilares mais robustos.

- **Laje unidirecional:**

Esse tipo de laje pode ser executada com o uso de fôrmas unidirecionais moldadas na obra ou com as chamadas treliçadas. Nesse caso, os esforços são distribuídos de forma basicamente unidirecional. Nesse método, as nervuras são direcionadas ao menor vão. Geralmente, é utilizado em edifícios menores, com vãos de até 5 metros de aspecto predominantemente retangular.

Dentre os tipos de lajes, os mais utilizados atualmente em edifícios de múltiplos pavimentos são as lajes nervuradas moldadas no local com o uso de fôrmas plásticas removíveis ou com EPS como material de enchimento, tanto em concreto armado, quanto em concreto protendido.

2.2.2.2 Laje Nervurada Moldada no Local (LNML)

Segundo Pinheiro e Razente (2003), as LNML são executadas na própria obra, com as nervuras e mesas fundidas no local e permanecendo na posição durante toda a vida útil da edificação.

Quanto ao posicionamento da nervura, as lajes nervuradas podem ser duplas, invertidas e normais, na qual as nervuras são inferiores, com uma mesa superior de concreto. Nas lajes nervuradas pré-moldadas pode-se usar algum material de enchimento, que servirá de forma para a mesa e as faces laterais da nervura ou pode-se optar por deixar vazios os espaços entre as nervuras, reduzindo ainda mais o peso próprio da laje, porém sendo necessária a utilização de fôrmas, feitas de madeira, plásticas, metálicas, ou algum outro material. (SILVA, 2005).

Os materiais que constituem a laje moldada in loco são parecidos com a do concreto armado sendo estas: Fôrmas, Escoramento, Concreto, Aço, além de mão de obra.

Segundo Pinheiro e Razente (2003) todas as etapas de execução são realizadas "in loco". Portanto, é necessário o uso de fôrmas e de escoramentos, além do material de enchimento. Pode-se utilizar fôrmas para substituir os materiais inertes. Essas fôrmas já são encontradas em polipropileno ou em metal, com dimensões moduladas, sendo necessário utilizar desmoldantes iguais aos empregados nas lajes maciças.

2.2.2.3 Vantagens e Desvantagens da LNML

De acordo com Bocchi JR. e Giongo (2007), as vantagens e desvantagens das LNML são as seguintes:

Vantagens:

- Esse tipo de laje ajuda na economia dos materiais empregados e ainda conta com uma maior resistência e menor peso que se espalha pelos elementos das estruturas;
- Os cubetas podem ser reaproveitados em outras obras;
- E falando em cubetas de plástico, proporciona um acabamento de qualidade que proporciona um efeito diferente para os ambientes, agregando valor arquitetônico;
- Outro ponto positivo é a possibilidade de uma melhor customização da planta arquitetônica da obra, proporcionando melhor flexibilidade.
- O modelo EPS pode propiciar isolamento acústico e térmico.

Desvantagens:

- É necessário atentar para o uso das cubetas, pois uma má aplicação pode causar acidentes, por isso, utilize produtos corretos de EPC e EPI;
- Para as cubetas serem reaproveitadas em outras obras é preciso manuseá-las com cuidado;
- Quando existem instalações sob a laje os efeitos das cubetas na laje são menores;
- Os materiais em EPS são delicados e por isso não resistente ao tráfego sobre eles e por isso, é preciso tomar cuidado;
- É preciso levar em consideração o mesmo pé-direito estabelecido pelo código de obras para que haja um ganho de altura da laje, que será propagado na soma de cada pavimento. Geralmente a altura e a sombra são definidas durante o projeto e são um limitante arquitetônico.

2.2.2.4 Laje Nervurada Pré-Moldada

De acordo com Droppa Junior (1999), as lajes pré-moldadas são elementos estruturais de uma edificação com função de disseminar as cargas para as vigas e pilares. São constituídas por vigotas de concreto e lajotas (tabelas) de concreto ou cerâmica.

Esse tipo de laje é moldada in loco, ou seja, dentro do canteiro de obras, ou também, podem ser compradas prontas, então chamadas de pré-fabricadas.

Segundo a NBR 14860-1:2002, laje pré-fabricada unidirecional é a Laje de seção final maciça ou nervurada, constituída por nervuras principais longitudinais (NL) dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais (NT) perpendiculares às nervuras principais.

As lajes pré-moldadas já são utilizadas com frequência em diversos tipos de edificação. Esta é uma solução prática e rápida, que pode facilitar a vida de quem está construindo.

O desenvolvimento tecnológico na área de cálculo estrutural e materiais de construção, colaborou com o desenvolvimento de lajes pré-moldadas cada vez mais eficientes, alcançando vãos que antes não eram imagináveis.

Melo (2004) declara que os sistemas estruturais baseados em lajes pré-fabricadas tendem principalmente minimizar o uso de fôrmas de madeira na obra, pois suas vantagens são: diminuição da mão de obra, melhor sistema de vibração das peças, rapidez na montagem, redução das perdas de concreto, racionalização do uso da armadura, melhor compatibilização e soluções construtivas de projeto, redução no ciclo dos pavimentos e conseqüentemente uma maior segurança no canteiro de obra.

2.2.2.4.1 Tipos de Lajes Pré-Moldadas

Lajes convencionais:

Segundo Pereira Caio (2019), as lajes pré-moldadas convencionais são as mais utilizadas nas pequenas edificações, como residências e pequenos edifícios. Tem capacidade de alcançar até 5,0 metros de vão.

Trata-se de vigotas de concreto estrutural em formato de “T”. Depois da cura, são levadas até a obra e montadas sobre o escoramento e as vigas ou formas com espaçamento onde serão colocados os preenchimentos como as lajotas cerâmicas (tijolos) ou o EPS. Recomenda-se fazer malha de aço para distribuição de cargas, bem como a colocação de negativos em casos de balanços e transição de panos, garantindo a estabilidade da estrutura, conforme Figura 6.

Figura 6 - Laje pré-moldada com preenchimento com blocos cerâmicos.



Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>.

Vantagens:

- O sistema é constituído por vigotas pré-moldadas em concreto, cuja armadura absorverá os esforços de tração, lajotas cerâmicas para fechamento e uma capa superior de concreto de 3 a 5 cm que resistirá aos esforços de compressão. É uma opção eficiente e de baixo custo se comparada a outros tipos de laje. Pelo sistema de fácil montagem, não exige mão de obra especializada;
- Frequentemente utilizada para projetos residenciais de baixo custo permite economia material e rapidez no processo construtivo, apresentando inúmeras vantagens à construção;
- Sua principal característica econômica é, por dispensar o uso de fôrmas de madeira durante o processo construtivo, garantir rápida execução e pouco desperdício de material utilizado como forma e escoramento.

Desvantagens:

- Como é dimensionada apenas para ser utilizada como laje de piso ou de teto, não deve receber sobrecargas não previstas no projeto, tais como paredes ou outros elementos arquitetônicos, portanto, não permite grande liberdade de layout;
- Caso ocorram sobrecargas há grande possibilidade de fissuras, trincas e outros danos estruturais.

Lajes pré-moldadas protendidas:

As lajes pré-moldadas protendidas são utilizadas em construções onde é necessário vencer vãos maiores. Como, por exemplo, em hospitais, shopping center e escolas.

O processo de execução é similar a das lajes convencionais, mas de acordo com Pereira Caio (2018) as lajes protendidas possuem as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Ganho de vagas de garagem;
- Ganho de pé direito;
- Flexibilidade de Layout;
- Menos pontos de apoio na fundação;
- Menos pilares;
- Redução do prazo de execução;
- Redução de mão de obra;
- Redução de custo;
- Lajes mais esbeltas;
- Arquitetura arrojada;

Desvantagens:

- Falta de mão de obra especializada;
- Conforme a geometria da estrutura, esta técnica pode ser inviável;
- É preciso concreto de alta resistência, o que nem sempre é possível conseguir, devido ao seu custo mais elevado ou indisponibilidade no local da obra;
- Boa qualidade do concreto durante a produção, a execução e compactação, o que necessita maiores cuidados;
- Requer aço de alta resistência, o que custa até 3 vezes mais que o aço comum utilizado no concreto armado;
- Requer bastante supervisão durante todas as fases da construção.

Lajes nervuradas treliçadas:

As lajes treliçadas são muito utilizadas em grandes construções, pois consegue se adaptar bem a diversos tipos de vãos e de cargas de utilização. Para esta boa adequação a diversas situações o que varia na laje treliçada é a sua altura.

Esta laje é composta por um painel treliçado, que é uma placa de concreto com largura aproximada de 12,5 cm e espessura aproximada de 3 cm, uma armação treliçada que já chega na obra fixada à placa de concreto e enchimento, que pode ser em lajota cerâmica ou em isopor.

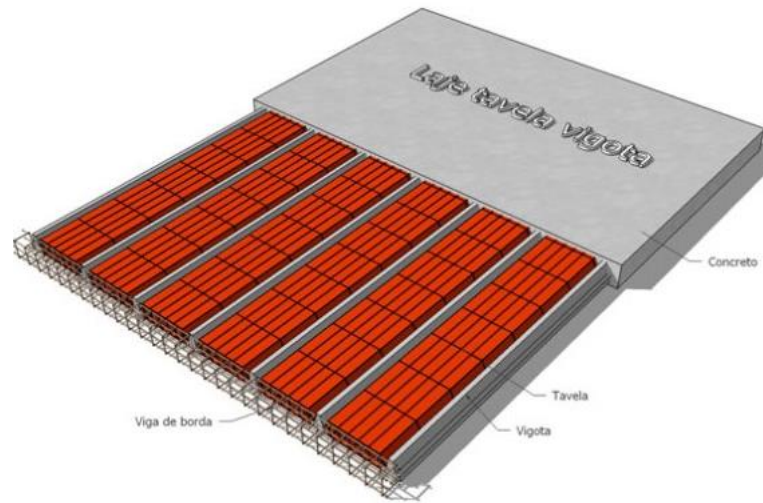
A altura da treliça é o que determina a altura da laje, esta altura é definida no projeto de estruturas e varia conforme cada tipo de obra e utilização. Além disso, a placa de concreto é armada, conforme o carregamento da laje.

Após a montagem dos elementos a laje é concretada, preenchendo assim as nervuras e o capeamento. As lajes treliçadas podem ser unidirecionais ou bidirecionais.

A norma NBR 14859-1 (2002) no item 3.1 define vigotas pré-fabricadas como elementos estruturais constituídos por concreto estrutural, executadas industrialmente ou no próprio canteiro de obra, mas fora do local definitivo de utilização, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Parcialmente ou totalmente envolvida pelo concreto estrutural encontra-se a armadura que irá constituir a armadura inferior de tração da laje, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal.

Para Franca e Fusco (1997), as nervuras são constituídas por vigotas treliçadas pré-fabricadas, dispostas na direção do menor vão da laje, e também por nervuras transversais moldadas no local, armadas com barras isoladas de aço e o elemento inerte é o bloco de EPS ou peças cerâmicas conhecidas como tabelas, conforme a Figura 7.

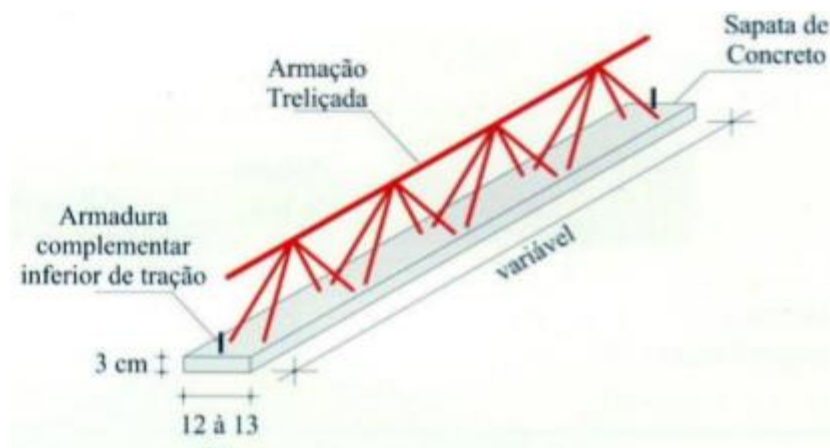
Figura 7 - Tabelas para lajes de vigotas pré-fabricadas.



Fonte: Lajes pré-fabricadas treliçadas (2011).

A armadura treliçada é constituída de um fio de aço no banzo superior, interligado por dois fios de aço laterais em diagonal (sinusóide) a dois fios de aço no banzo inferior como mostrado nas Figuras Figura 8 e Figura 9.

Figura 8 - Treliça metálica de vigotas.



Fonte: FAULIM (1998).

Figura 9 - Vigota pré-fabricada.



Fonte: Artlaje.com.

Segundo a Brumatti (2008) a execução das lajes pré-fabricadas treliçadas resulta nas seguintes vantagens:

- O mercado oferece uma série de alternativas para execução de lajes pré-fabricadas.
- Os elementos pré-moldados empregados na laje apresentam boa capacidade portante no momento da moldagem do restante da laje, reduzindo assim a quantidade de fôrmas e escoramentos em relação ao sistema convencional.
- Quando as lajes treliçadas são executadas de forma nervurada, apresentam redução do volume de concreto e armaduras.

Também segundo Brumatti (2008) a laje pré-fabricada possui as seguintes desvantagens:

- Pode apresentar trincas depois de pronta em razão da falta de aderência da capa de concreto;
- Quando executada sem os elementos pré-fabricados, a laje treliçada tem como desvantagem a baixa produtividade e a utilização intensiva de mão de obra;
- O trabalho de armação é demorado e há dificuldade de concretagem.

2.3 Softwares para Dimensionamento

A partir do desenvolvimento dos sistemas construtivos, da grandiosidade das estruturas, e principalmente, da necessidade de segurança que elas devem proporcionar aos usuários, que os “softwares” computacionais andam aliados nesta evolução. Visto que é uma ferramenta que possibilita análise eficiente e prática simulando o comportamento real da estrutura. No mercado

existem uma variedade de programas computacionais utilizadas no dimensionamento de estruturas de concreto armado, a exemplo têm-se: AltoQi Eberick, TQS e Cypecad.

O AltoQi Eberick é um Software para elaboração de projetos estruturais em concreto armado moldado in loco, pré-moldado, alvenaria estrutural, com recursos que abrangem todas as etapas do projeto, possui recursos ágeis de modelagem, realiza a análise da estrutura, o dimensionamento das peças estruturais, a compatibilização com as demais disciplinas de projeto e a geração das pranchas finais contendo detalhamentos das armaduras, planta de formas e demais desenhos do projeto.

3 METODOLOGIA

Nesta seção estão descritos os procedimentos utilizados para a realização desse trabalho.

Preliminarmente, foram escolhidos os sistemas estruturais para investigação. Em seguida, as características da edificação de pavimentos tipo e a quantidade de pavimentos.

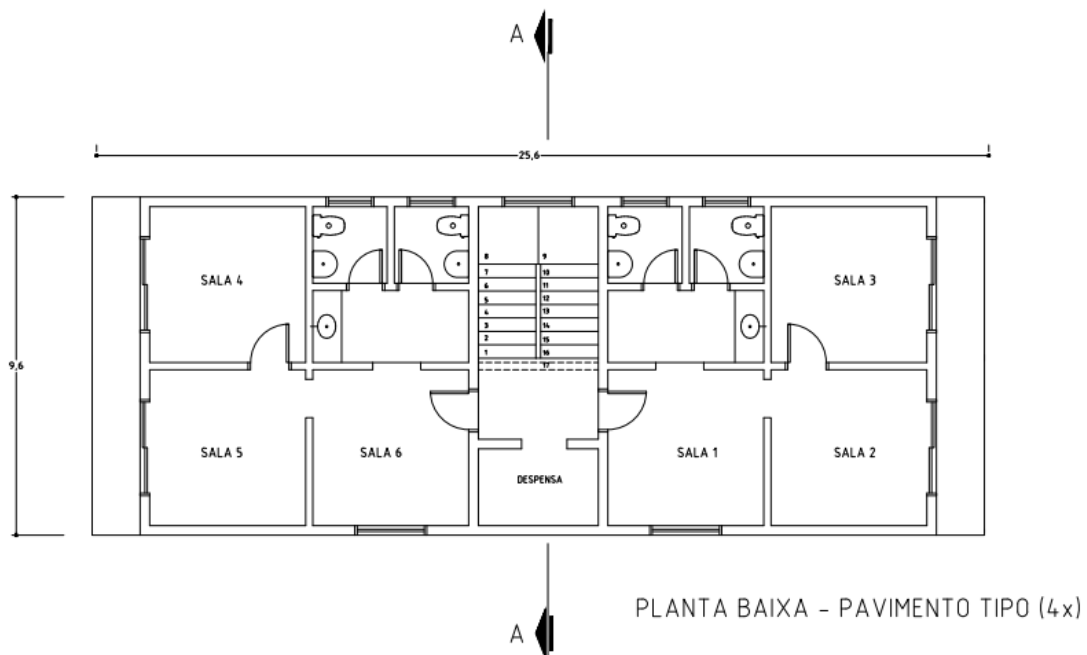
Posteriormente, foi realizado o dimensionamento dos respectivos sistemas estruturais através do software Eberick V10. A partir dos resultados apresentados pelo software, foi possível obter as tabelas de quantitativos de materiais pertinentes a cada técnica e realizado a composição de preços, as quais possibilitaram comparar os custos totais de cada solução estrutural e então sugerir o método com maior custo-benefício.

3.1 Caracterização da Edificação Modelo

Nesse estudo, foi proposto o projeto de um edifício comercial em estrutura de concreto armado localizado na cidade de Delmiro Gouveia - Alagoas.

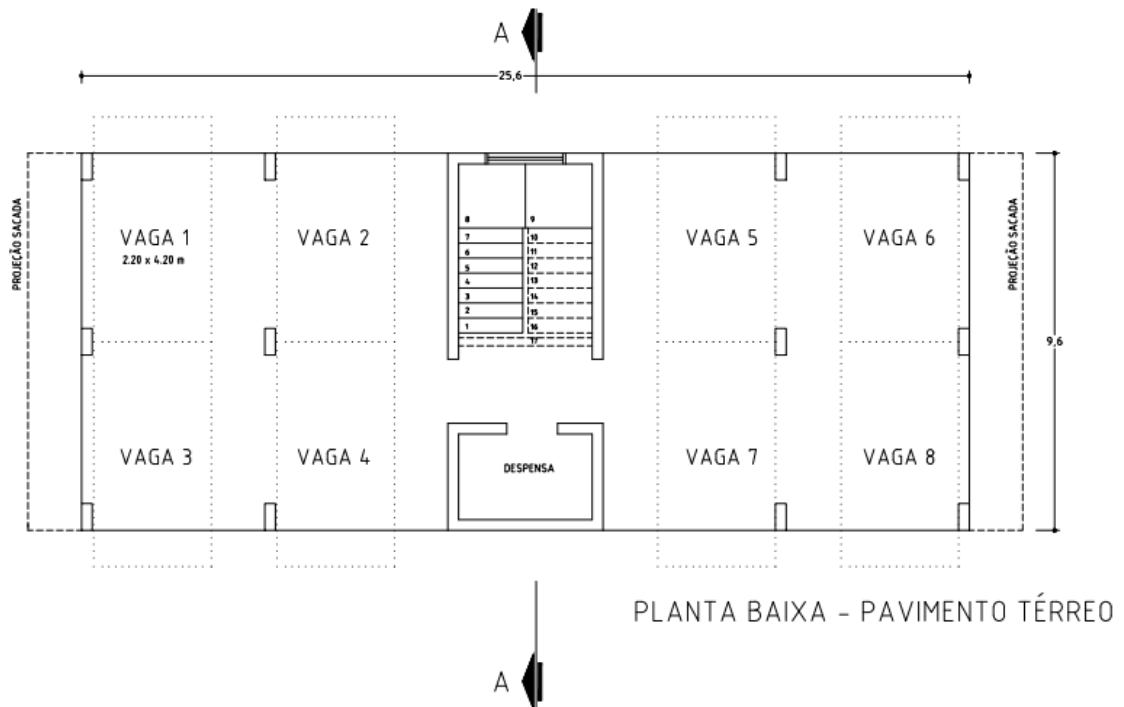
O edifício é composto por quatro pavimentos e cada andar possui seis salas comerciais, quatro banheiros, e uma despensa, com área total por pavimento de aproximadamente 245,8 m², conforme as Figuras Figura e Figura .

Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 11 - Planta baixa do pavimento térreo.

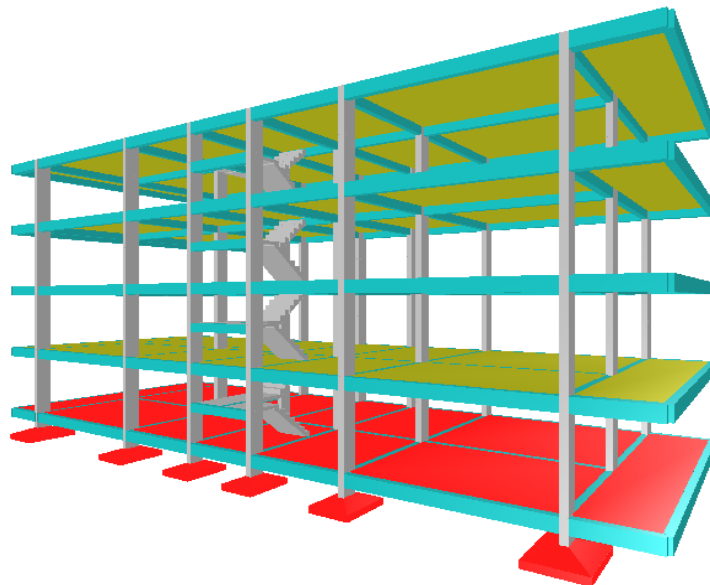


Fonte: O Autor (2019).

3.2 Caracterização dos Sistemas Estruturais

Os sistemas estruturais investigados nessa pesquisa foram os de lajes maciças convencionais bidirecionais moldadas in loco e lajes nervuradas bidirecionais com cubetas plásticas moldadas in loco, executados em concreto armado, na figura 12 está a representação do pórtico em 3D, do sistema estrutural de lajes maciças.

Figura 12 - Sistema estrutural do edifício de quatro pavimentos tipo.



Fonte: O Autor (2019).

3.3 Caracterização da Tabela de Quantitativos e de Custos

Para elaboração da tabela de insumo e serviços, foram considerados os elementos tangentes à cada método construtivo:

- a) Concreto (m³);
- b) Aço para armadura (Kg);
- c) Material para enchimento (Uni/mês);
- d) Fôrmas (m² ou Uni./mês);
- e) Custo para execução ou mão de obra (R\$/m²).

A posteriori, foram levantados os valores unitários para os materiais considerados, através da plataforma Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices Da Construção Civil (SINAPI), referente ao mês de dezembro de dois mil e dezenove. E então, foram elaboradas as tabelas de composição de custos.

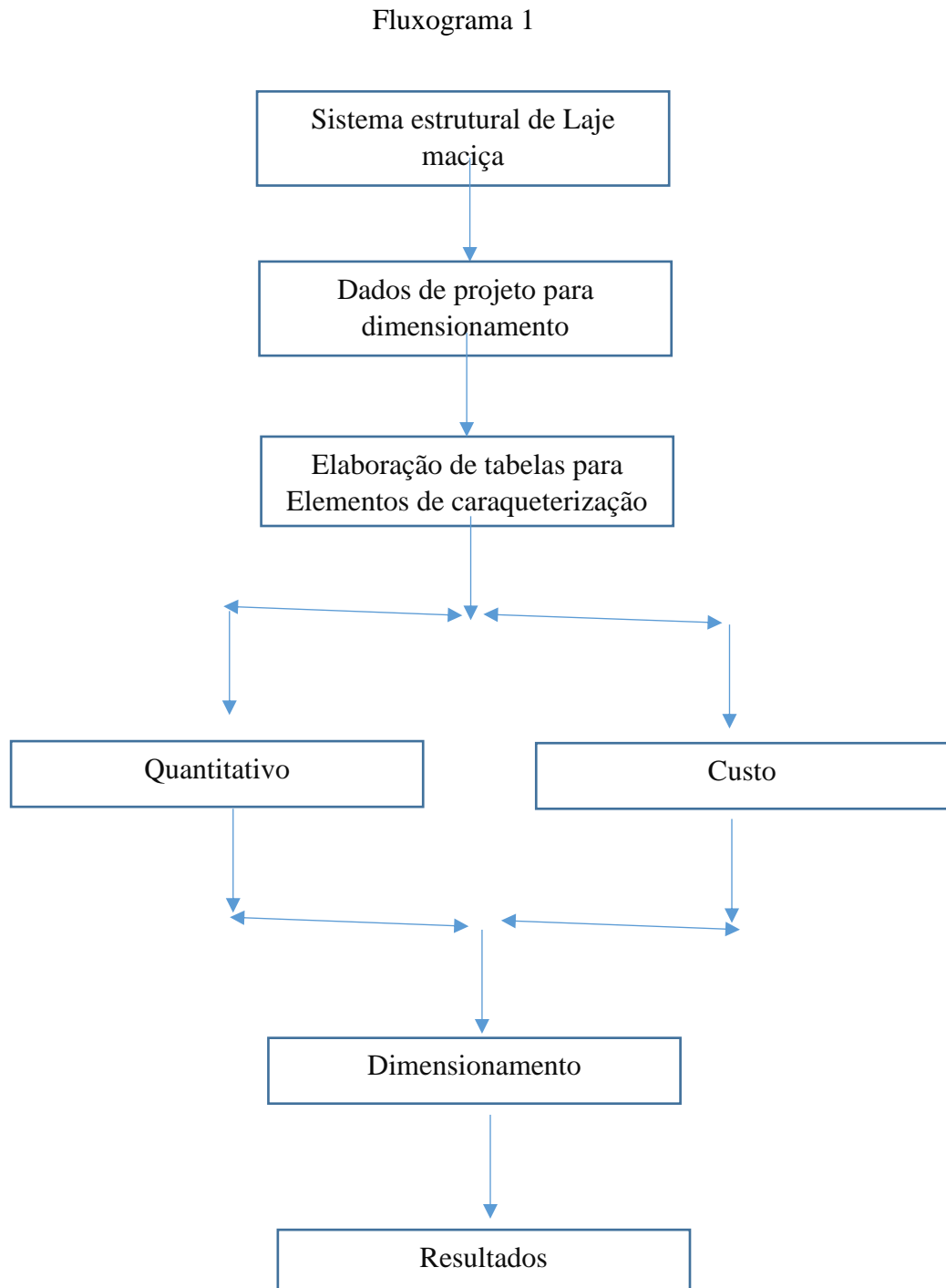
3.4 Dados Considerados Durante o Cálculo dos Elementos Estruturais

O dimensionamento das estruturas foi realizado por meio do software computacional Eberick V10.

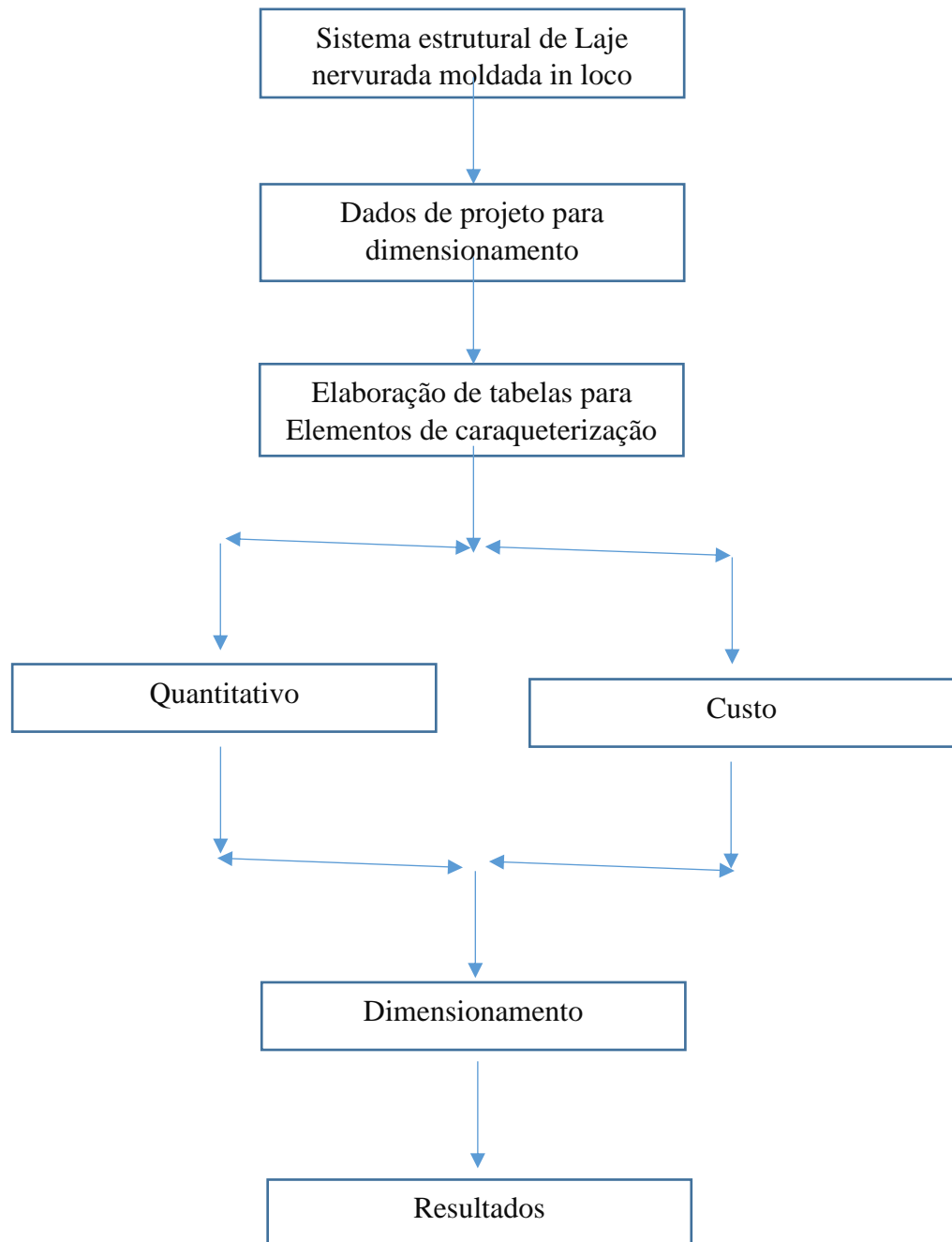
Foram utilizados os seguintes dados de projeto para dimensionamento:

- Classe de agressividade ambiental II;
- Cobrimento nominal igual a 25 mm para as lajes e 30 mm para as demais estruturas;
- Aço utilizado: CA-50 e CA-60;
- Concreto com resistência característica à compressão de 25 MPa, com peso específico de 25 kN/m³;
- Paredes com 2,8 m de altura, espessura de 15 cm e peso específico de 13 kN/m³;
- Revestimento de 1,5 KN/m², conforme a NBR 6120:1980;
- Vigas (seções variadas);
- Pilares (seções variadas);
- Cargas acidentais de:
 - 3,0 kN/m² para compartimentos destinados a reuniões;
 - 0,5 kN/m² para forros não destinados a depósitos;
 - 2,0 kN/m² para terraços sem acesso ao público;
 - 3,0 kN/m² para corredores com acesso ao público.

Os procedimentos metodológicos descritos anteriormente são resumidos nos fluxogramas 1 e 2.



Fluxograma 2



Posteriormente ao pré-dimensionamento dos elementos estruturais sugeridos nesse trabalho, procedeu-se uma avaliação comparativa em relação aos quantitativos de aço, concreto, fôrma e mão de obra necessários à execução de cada tipologia de laje, do mesmo modo no qual foi realizada uma pesquisa da quantidade de cubetas empregadas na execução da laje nervurada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comparação dos Quantitativos de Materiais

Através dos resultados obtidos no dimensionamento por meio do software Eberick V10, é feita a caracterização da tabela de quantitativo de insumo e serviço, tabela 1, para os sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas e o comparativo de redução de consumo em percentagem, além da ilustração em gráfico de barras dos dados quantitativo conforme a figura 13.

Em relação ao levantamento quantitativo estrutural (laje, pilar e vigas) para cada método construtivo, conforme o exposto na Tabela 1, obteve-se uma redução da quantidade dos materiais e serviços (aço, concreto, fôrmas e mão de obra) da laje nervurada em comparação com a laje maciça. O valor de delta abordado na Tabela 1, expressa em porcentagem a economia que o sistema estrutural em lajes nervuradas apresenta em relação ao sistema estrutural em lajes maciças.

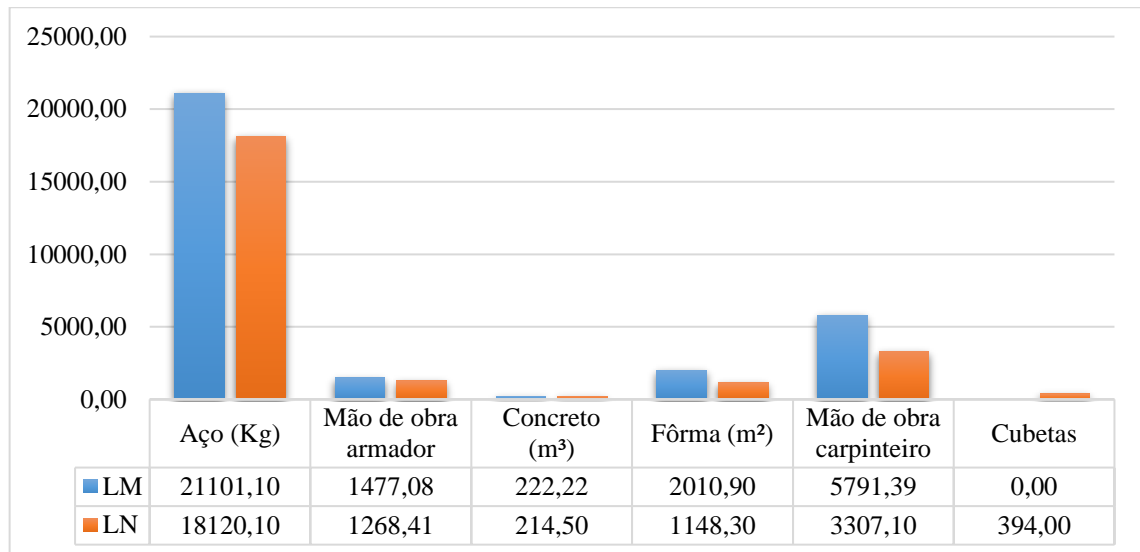
Tabela 1 - Levantamento quantitativo estrutural.

QUANTITATIVO ESTRUTURAL			
Descrição	Maciça	Nervurada	Δ%
Aço para armadura (Kg)	21101,10	18120,10	-14,12
Concreto (m ³)	222,22	214,50	-3,47
Fôrma (m ²)	2010,90	1148,30	-43,00
Cubeta (U/mês)	0,00	393,00	-
Mão de Obra (hr)	7268,47	4575,51	-37,10

Fonte: O Autor (2019).

Consegue-se constatar através de uma avaliação quantitativa dos insumos empregues nesse estudo (Figura 3), que o sistema estrutural com lajes nervuradas é mais econômico em consumo de materiais que o sistema estrutural com lajes maciças, visto que é notório um aumento de materiais e serviços, tais como no aço, concreto, fôrmas e mão de obra para o sistema com lajes maciças.

Figura 13 - Comparação do quantitativo dos métodos construtivos: Laje maciça (LM) e Laje nervurada (LN).



Fonte: O Autor (2019).

4.2 Composição dos Custos do Material

Tendo em consideração que a composição de custos foi realizada utilizando o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), foi possível obter os valores unitários e totais para os insumos de cada método. A Tabela 2 ilustra o levantamento do custo estrutural da laje maciça e a Tabela 3 o da laje nervurada.

Tabela 2 - Levantamento do custo estrutural da laje maciça.

CUSTO TOTAL MACIÇA				
Descrição	UND (U)	QTD (U)	Custo Unitário - AL (R\$/U)	Custo Total - AL (R\$)
Aço para armadura	Kg	21101,10	-	109963,58
Concreto Usinado 25 MPa	m³	222,22	392,57	87236,91
Fôrma	m²	2010,90	37	74403,30
Cubeta	U/mês	0,00	-	0,00
Mão De Obra Armador	h	1477,08	13,33	19689,44
Mão De Obra Carpinteiro	h	5791,39	13,36	77373,00
TOTAL (R\$)				368666,20

Fonte: O Autor (2019).

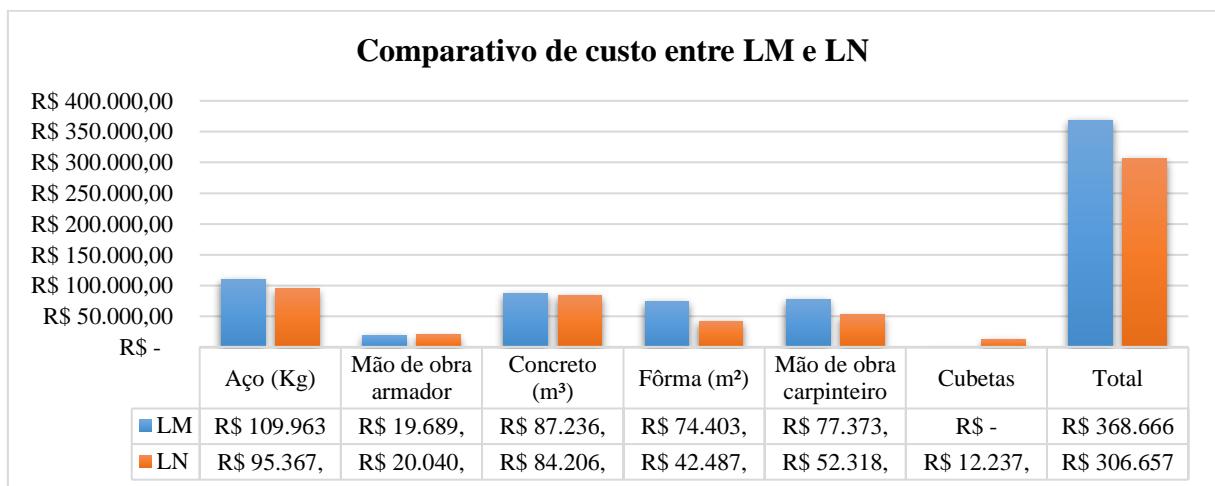
Tabela 3 - Levantamento custo estrutural nervurada.

CUSTO TOTAL NERVURADA				
Descrição	UND (U)	QTD (U)	Custo Unitário - AL (R\$/U)	Custo Total - AL (R\$)
Aço para armadura	Kg	18120,10	-	95367,26
Concreto Usinado 25 MPa	m ³	214,50	392,57	84206,27
Fôrma	m ²	1148,30	37,00	42487,10
Cubeta	U/mês	394,00	31,06	12237,64
Mão De Obra Armador	h	1268,41	15,80	20040,90
Mão De Obra Carpinteiro	h	3307,10	15,82	52318,32
TOTAL (R\$)				306657,50

Fonte: O Autor (2019).

Consegue-se constatar em uma avaliação do custo total dos insumos e serviços despendidos nesse estudo (Figura), que o sistema estrutural em lajes nervuradas possui um menor custo em comparação com o sistema estrutural em lajes maciças, sendo que no sistema de laje nervurada o valor total foi de R\$ 306657,50, enquanto a maciça foi de R\$ 368666,20, sendo a laje nervurada mais econômica em R\$ 62008,70, que é equivalente a uma redução em relação a maciça de 16,82%.

Figura 14 - Comparação do custo dos métodos construtivos.



Fonte: O Autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pensando na difusão de tecnologias que tragam melhor custo benefício para região com características socioeconômica de baixa e média renda e mão de obra pouco diversificada, foi desenvolvido esse trabalho, ilustrando as características de composição dos sistemas estruturais através de software para otimização e chegar a resultados precisos, oferecendo opções mais viáveis de método construtivo referentes as laje maciças ou nervuradas.

Conclui-se que o sistema constituído por lajes nervuradas bidirecionais executadas com cubetas plásticas moldadas in loco, é o método construtivo mais viável economicamente e tecnicamente para o arranjo estrutural do tipo de edificação proposto e estudado nesse trabalho.

É necessário ressaltar que o resultado é particular à localidade em que se situa o estudo. Existe a necessidade da investigação para cada obra específica, a fim de obter o melhor custo-benefício (segurança, funcionalidade e economia). O que garante ao cliente a execução da construção com a mesma eficácia do que uma mais robusta, contudo com o benefício da redução dos gastos inerentes.

Além disso, na região do alto sertão alagoano, ainda se observa um uso muito mais comum de lajes maciças em comparação às lajes nervuradas, uma vez que as lajes nervuradas são estruturas mais atuais e tal método não é de conhecimento comum a todos.

Dessa forma, espera-se que esse trabalho contribua de forma positiva para o desenvolvimento e aplicação de métodos construtivos mais novos e eficientes, e que sirva como base para a elaboração de projetos estruturais, especialmente na região em estudo.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros tem-se:

- 1) Realizar um estudo comparativo utilizando outros tipos de laje, como a cogumelo e a protendida;
- 2) Analisar a influência da resistência à compressão do concreto no comparativo entre as lajes;
- 3) Utilizar outros softwares para realizar o estudo comparativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

BASTOS, P. S. D. S. **Lajes de Concreto**. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna**. São Paulo, Perspectiva, 1976.

BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas**. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. 46 p.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados - Estudo e viabilidade**. Monografia. Vitória: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. EdUFSCar. São Paulo, São Carlos, 2017.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado – Volume 2**. São Paulo: Pini, 2009.

LOPES, André F. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. Tese de TCC. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012.

CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO. **Lajes Maciças de Concreto Armado**. 2012. Disponível em: <<https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO. **Lajes Nervuradas**. 2012. Disponível em: <https://cddcarqfeevale.files.wordpress.com/2012/07/laje_nervurada.jpg>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

DROPPA JR., A. (1999). **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado). EESC. Universidade de São Paulo.

FAJERSZTAJN, H. **Fôrmas para Concreto Armado: Aplicação para o Caso do Edifício**. São Paulo, 1987. 247p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Sistemas Estruturais de Lajes sem Vigas: Subsídios para o Projeto e Execução**. São Carlos, 1989. 272p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997.
- KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998.
- LAJES FAULIM. **Manual**. 1998.
- MASCIA, N. T.; RODRIGUES, R. B.; SOUZA, M. F. S. M. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- MELO, C.E.E. (2004). **Manual Munte de Projetos em Pré-fabricados de Concreto / Munte Construções Industrializadas**. São Paulo. Editora Pini.
- PEREIRA, C. **Laje Pré-Moldada: O que é, principais tipos e vantagens**. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>. Acesso em: 5 de dezembro de 2019.
- PINHEIRO, L. M.; RAZANTE, J. A. **ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 17: LAJES NERVURADAS**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.
- PINHEIRO, Libanio M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Carlos. São Carlos, 2007.
- SANTOS, R. E. **A Cultura do Concreto Armado no Brasil: Educação e Deseducação dos Produtores do Espaço Construído**. PUC – MG. Minas Gerais, 2006.
- SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.
- SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. **Lajes em concreto armado e protendido**. 2ª Edição. Niterói: EDUFF, 1998.
- SPOHR, V. H. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais Convencionais e Estruturas de Lajes Nervuradas**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.