

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BÁRBARA MAGALHÃES SIMIONATTO

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ARRANJOS ESTRUTURAIS
COMPOSTOS POR LAJES MACIÇAS E NERVURADAS, MOLDADAS IN LOCO
PARA UM PROJETO REAL DE EDIFÍCIO COMERCIAL EM DELMIRO GOUVEIA –
AL**

DELMIRO GOUVEIA – AL

2022

BÁRBARA MAGALHÃES SIMIONATTO

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ARRANJOS ESTRUTURAIS
COMPOSTOS POR LAJES MACIÇAS E NERVURADAS, MOLDADAS IN
LOCO PARA UM PROJETO REAL DE EDIFÍCIO COMERCIAL EM
DELMIRO GOUVEIA – AL**

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

Orientador: Professor MSc. Rogério
de Jesus Santos.

DELMIRO GOUVEIA – AL

2022

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

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S589c Simionatto, Bárbara Magalhães

Comparativo de custos entre arranjos estruturais compostos por lajes maciças e nervuradas, moldadas *in loco* para um projeto real de edifício comercial em Delmiro Gouveia - AL / Bárbara Magalhães Simionatto. - 2022.

32 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Rogério de Jesus Santos.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2022.

Bibliografia: f. 31-32.

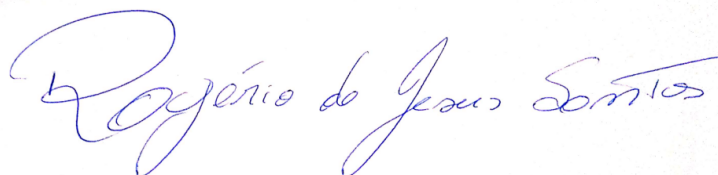
1. Construção civil. 2. Estudo comparativo. 3. Custos. 4. Sistema estrutural. 5. Laje maciça. 6. Laje nervurada. 7. Métodos construtivos. I. Santos, Rogério de Jesus. II. Título.

CDU: 657.474.5

FOLHA DE APROVAÇÃO

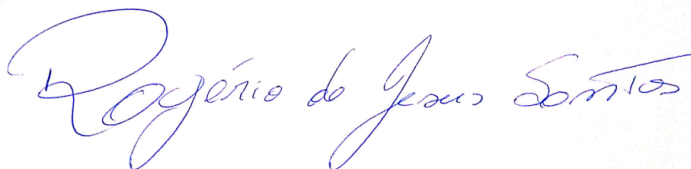
COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ARRANJOS ESTRUTURAIS COMPOSTOS POR LAJES MACIÇAS E NERVURADAS, MOLDADAS IN LOCO PARA UM PROJETO REAL DE EDIFÍCIO COMERCIAL EM DELMIRO GOUVEIA – AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, e aprovado em 14 de fevereiro de 2022.



Professor MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:



Professor MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)



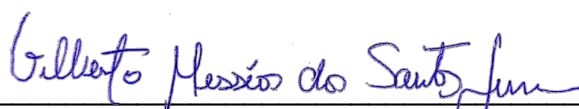
Documento assinado digitalmente

Antonio Pedro de Oliveira Netto

Data: 17/02/2022 19:01:59-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Professor Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto UFAL – Campus do Sertão
(Examinador Interno)



Esp. Gilberto Messias dos Santos Júnior, Instituto Federal de Sergipe – Campus
Estância (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais, Donizete e Eugênia, que até aqui dedicaram suas vidas ao meu crescimento e a possibilidade de viver esse sonho sob esforços que até hoje não tenho total compreensão ou conhecimento. Agradeço também a eles, por me presentarem com o maior incentivo para essa conquista, que é a existência dos meus irmãos Mariana, Vallentina e Davi. Obrigada pelo apoio e compreensão durante minha indisponibilidade em parte dos nossos dias e do crescimento de vocês, durante o tempo em que trabalhava neste sonho. Obrigada por me esperarem com o melhor dos abraços, independente de quanto tempo demorasse entre cada encontro. Essa conquista é por vocês, minha família.

Agradeço aos meus companheiros nesse caminho que se transformaram na minha família longe de casa, que foram leais, verdadeiros irmãos e estiveram comigo em todas as dificuldades e alegrias neste período. A minha experiência não teria sido a mesma sem vocês. Agradeço aos meus mestres, base que me orientou durante esse processo de descoberta e aprendizado, todos professores do ciclo 2015 - 2021 deste Campus, também aos técnicos e outros funcionários desta instituição onde tive a oportunidade de colher um pouco de seus conhecimentos.

Agradeço a toda equipe da AJW pela confiança em mim depositada, em especial à minha primeira referência e inspiração de campo, o Engenheiro Civil Abraão Lincoln, pelo qual tenho imenso carinho. Obrigada por não ter medido esforços na preparação da minha capacitação prática, por todo o ensinamento, incentivo e todas as responsabilidades a mim delegadas em momentos em que a sua instrução e confiança auxiliaram não só a construção do meu conhecimento técnico mas também da minha segurança enquanto futura profissional. Vendo seus passos, tive a certeza de que com trabalho sólido, persistência e fé, nenhum desafio da Engenharia é inexecutável.

À cada um de vocês, obrigada por participarem na formação da pessoa, cidadã e profissional que me tornei até o presente momento. Serei eternamente grata.

RESUMO

Durante a concepção de uma solução estrutural busca-se a utilização do método construtivo mais adequado a ser aplicado. Para tal, é imprescindível a consideração de fatores como a segurança, qualidade e economia da obra, a fim da escolha do arranjo estrutural mais apropriado ao projeto proposto, de modo a não interferir na sua funcionalidade. O estudo realizado neste trabalho traça um comparativo entre arranjos estruturais executados com dois sistemas de lajes distintos, em um edifício tipo de uso comercial de 4 pavimentos e subsolo. Avaliou-se economicamente qual técnica de laje apresenta, ao sistema estrutural, a solução com menor custo,. O projeto estrutural modelo desenvolvido neste trabalho foi realizado através do software computacional Eberick V10, o que permitiu a confecção da tabela de quantitativos de insumos (fôrma, concreto e aço) particulares à cada método. A partir disto, foram levantados orçamentos para cada tipo de arranjo estrutural através das plataformas Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE) e do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), possibilitando a constatação da diminuição de insumos expressivamente dispendiosos, como a redução de 20% do volume de aço, 63,9% do volume de concreto e quase 96% da área de formas. Desta forma, comprovou-se o uso da laje nervurada como a técnica mais viável economicamente.

Palavras-Chave: Métodos construtivos. Sistemas Estruturais. Composição de custos. Estudo comparativo.

ABSTRACT

During the design of a structural solution, the use of the most appropriate construction method to be applied is sought. For this, it is essential to consider factors such as safety, quality and economy of the work, in order to choose the most appropriate structural arrangement for the proposed project, so as not to interfere with its functionality. The study carried out in this work draws a comparison between structural arrangements carried out with two distinct slab systems, in a 4-storey commercial building type. Economically evaluating which slab technique presents the structural system with the most cost-effective solution, in order to elucidate which technique is more economically viable. The model structural design developed in this work was carried out using the Eberick V10 computational software, which allowed the creation of a table of input quantities (form, concrete and steel) particular to each method. From this, budgets were drawn up for each type of structural arrangement through the Sergipe Works Budget (ORSE) and the National System of Survey of Costs and Indexes of Civil Construction (SINAPI) platforms, enabling the verification of the reduction of significantly expensive inputs, such as the reduction of 20% in the volume of steel, 63,9% in the volume of concrete and almost 96% in the formwork area. Thus, the use of the ribbed slab was proven to be the most economically viable technique.

Keywords: Constructive methods. Structural systems. Cost composition.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO EXECUTIVA DE LAJES MACIÇAS	11
FIGURA 2 - COMPOSIÇÃO DE UMA LAJE MACIÇA CONVENCIONAL EM CONCRETO ARMADO	12
FIGURA 3 – SEÇÃO TRANSVERSAL DE LAJE NERVURADA TIPO TRELIÇADA	13
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO REAL DOS ELEMENTOS DE LAJE TRELIÇADA	14
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO REAL DA EXECUÇÃO DE LAJE TRELIÇADA	15
FIGURA 6 - NERVURA DA LAJE TRELIÇA	16
FIGURA 7 – DETALHAMENTO DO PROJETO ESTRUTURAL DE LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS	17
FIGURA 8 - ELEMENTOS DE ENCHIMENTO	18
FIGURA 9 - BLOCO CERÂMICO DE ENCHIMENTO.....	18
FIGURA 10 - MAQUETE ELETRÔNICA DO EDIFÍCIO COMERCIAL M&A.....	20
FIGURA 11 - PLANTA BAIXA ARQUITETÔNICA DO PAVIMENTO TIPO DO EDIFÍCIO COMERCIAL M&A	21
FIGURA 12 - SISTEMA ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO DE QUATRO PAVIMENTOS TIPOS.....	22
FIGURA 13 - COMPARAÇÃO DO QUANTITATIVO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	24
FIGURA 14 - COMPARAÇÃO DO CUSTO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LEVANTAMENTO QUANTITATIVO ESTRUTURAL (CONTINUA).....	23
TABELA 2 - LEVANTAMENTO DO CUSTO ESTRUTURAL DA LAJE MACIÇA (CONTINUA).....	25
TABELA 3 - LEVANTAMENTO DO CUSTO ESTRUTURAL DA LAJE NERVURADA.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa	9
1.2	Objetivos	9
1.1.1	Objetivo geral	9
1.1.2	Objetivos específicos.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Lajes em concreto armado	10
2.2	Lajes maciças	11
2.3	Lajes nervuradas	13
2.3.1	Laje nervurada do tipo treliçada moldada in loco	15
2.3.2	Materiais de enchimento	17
2.4	Composição de custos.....	19
3	METODOLOGIA	19
3.1	Caracterização do edifício modelo.....	20
3.2	Caracterização dos sistemas estruturais	21
3.3	Caracterização da tabela de quantitativos e de custos.....	22
3.4	Dados considerados ao longo do cálculo dos elementos estruturais 22	
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4.1	Comparação dos quantitativos de insumos para cada método	23
4.2	Composição do custo do material.....	24
5	CONCLUSÃO	27

1 INTRODUÇÃO

O progressivo crescimento da sociedade impôs aos seus integrantes a indispensabilidade do uso racional dos seus espaços físicos. Além disso, avanços na arquitetura e engenharia ligados ao conceito de consciência ambiental e em prol da economia de matéria prima, levaram a grande área da construção civil ao desenvolvimento contínuo dos seus métodos construtivos, considerando o cumprimento eficiente das necessidades previstas em projeto.

Ao longo da execução de uma edificação, o setor estrutural ganha grande espaço no cenário da obra. Isso se dá, principalmente, devido ao alto investimento financeiro que os projetos desse domínio requerem, em razão do grande volume de concreto envolvido. A partir disto, tendências arquitetônicas que envolvem soluções estruturais mais viáveis economicamente e ambientalmente, tocam questões tais como a resistência à esforços solicitantes cada vez maiores, aumento dos vãos livres de lajes e diminuição do peso próprio do arranjo. Desta forma, diante da vasta apresentação das soluções disponíveis atualmente, compete ao engenheiro civil o levantamento e análise dos critérios e particularidades que pertencem à cada cenário, com o objetivo de escolha da melhor solução.

Tendo em vista problemática formada, o presente estudo realiza um comparativo entre os custos dos arranjos estruturais com lajes maciças e nervuradas moldadas in loco. Para tal, foi realizado para ambos os tipos de lajes do modelo de edificação proposto, o dimensionamento dos arranjos estruturais através do software de cálculo estrutural Eberick V10; realizou-se também a caracterização do quadro de quantitativo de materiais; a sondagem dos valores locais para os insumos envolvidos, o orçamento final dos respectivos sistemas.

Os resultados e métodos apresentados neste trabalho objetivaram o auxílio na tomada de decisão acerca da técnica construtiva de maior custo-benefício, para o projeto executivo deste empreendimento.

1.1 Justificativa

O crescente avanço tecnológico dentro da engenharia civil trouxe consigo o aperfeiçoamento dos seus processos, materiais e métodos, estimulando positivamente as demandas do campo da construção brasileira. Com o progresso do crescimento habitacional, surgem novos desafios no design dos empreendimentos, a exemplo do aumento dos vãos estruturais. Isso se dá sob o objetivo principal de conferir maior área útil de ocupação e aproveitamento dos empreendimentos, o que resulta no aumento da esbeltez das edificações, por exemplo.

Junto às novas tendências de edifícios, surgiu a urgência na busca por soluções, principalmente, estruturais, mais arrojadas e otimizadas. Sobretudo para os edifícios de múltiplos pavimentos em que as lajes equivalem à grande parte do consumo de concreto.

Considerado o cenário em pauta, optou-se por realizar neste trabalho, um estudo comparativo de alguns sistemas estruturais convencionalmente utilizados ou viáveis na região territorial estudada. Entre os sistemas a serem analisados são mencionados: arranjo estrutural composto por lajes maciças, arranjo estrutural composto por lajes nervuradas tipo treliçadas com enchimento de EPS, utilizando como base, um edifício modelo para analisar quantitativamente e economicamente a estrutura, e servindo como referência na escolha do sistema estrutural mais adequado para ser utilizado em um determinado tipo de projeto.

1.2 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar resultados, através de um estudo técnico comparativo, que possibilite uma estimativa de custos aos profissionais da construção civil, para servir de referência na tomada de decisão por um modelo estrutural a ser adotado e dos custos de sistemas estruturais que empregam lajes

maciças e lajes nervuradas em concreto armado utilizando o software comercial de cálculo estrutural Eberick versão V10.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a concepção do sistema estrutural com auxílio da ferramenta computacional de cálculo Eberick V10.
- Avaliar quantitativamente o volume de materiais empregados à cada técnica. Tais como fôrmas, concreto, material de enchimento e peso de aço para os ambos arranjos estruturais.
- Caracterizar financeiramente o valor despendido para cada técnica, através da obtenção dos custos unitários obtidos nas bases orçamentárias ORSE e SINAPI, dos insumos e serviços e analisá-los comparativamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes em concreto armado

Em conformidade com Souza et al. (2008), os elementos estruturais, quando arrançados, possuem como objetivo a garantia da sustentação da edificação, de forma a absorver e transmitir os esforços solicitados ao solo. Tal combinação resulta nos sistemas estruturais. No presente trabalho foi realizada a proposição de uma edificação modelo de quatro pavimentos executados em concreto armado.

Para Carvalho e Figueiredo (2014), uma edificação pode ser constituída por lajes do tipo maciças ou nervuradas, moldadas in loco ou de elementos pré-moldados, sustentados sob uma variedade de apoios possíveis. As lajes são elementos planos de concreto resistentes aos esforços submetidos à sua superfície. Seu desempenho íntegro permite a interação dos elementos estrutura-solo, de forma a distribuir as cargas sofridas. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), placas de concreto são usualmente denominadas lajes, sendo

estas, elementos bidimensionais, uma vez que duas de suas dimensões – largura e comprimento da placa; são muito maiores que a última dimensão – espessura placa.

Ressalta-se ainda que valores para sua espessura são previstos em norma, afim de garantir a segurança do projeto. De forma geral, as espessuras das lajes podem variar entre 7 e 15 centímetros (NBR 6118 - ABNT, 2014, p. 74). Os tipos de ações solicitantes aos elementos estruturais também enfrentam classificação, em conformidade com a NBR 8681 (ABNT, 2003, p. 3). Segundo o apresentado na NBR 6120 (ABNT, 1980), que determina as cargas para o cálculo de estruturas, as cargas mais recorrentes são as denominadas permanentes e acidentais.

2.2 Lajes maciças

Bastos (2015) admite que a laje maciça é aquela na qual toda a espessura é composta por concreto armado (longitudinalmente e transversalmente), conforme o ilustrado na figura 1. Podendo ser fixada em vigas ou paredes que possuem função estrutural, ao longo do seu contorno. Apesar da facilidade da execução deste tipo de elemento, Sphor (2008) aponta que essa solução não é viável economicamente aos vãos menores de 3,5m ou maiores que 5m.

Figura 1 - Representação executiva de lajes maciças



Fonte: GALVAMINAS (2021)

No edifício estudo neste trabalho, as placas estão apoiadas sobre as vigas, que absorvem os esforços, transmitindo-os aos pilares. Estes, por sua vez, transferem às

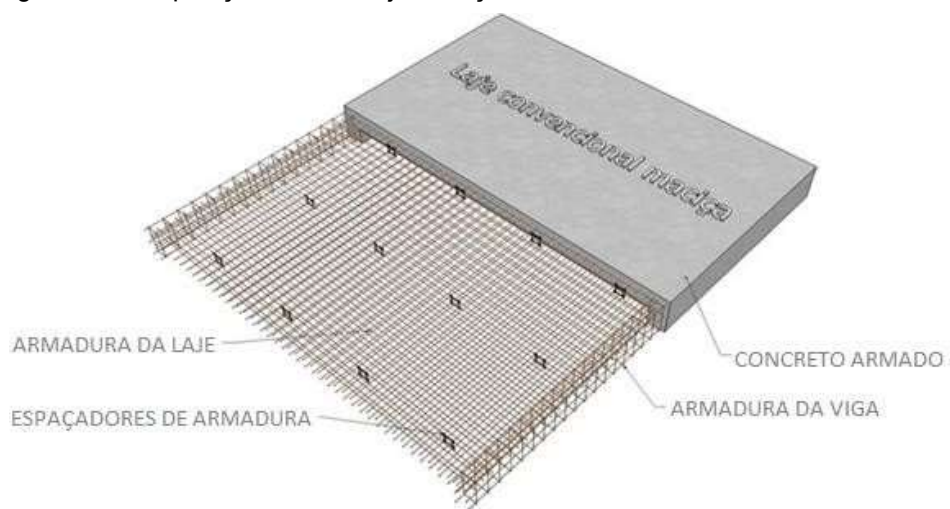
fundações e por fim, ao solo. Bastos (2015), discrimina algumas formas de categorização das lajes maciças e afirma que a de maior adesão por parte da literatura e dos profissionais do mercado é a da categorização quanto a direção da sua armadura.

Carvalho e Figueiredo (2014), apontam que a classificação de laje maciça segundo a direção da armadura (unidirecional ou bidirecional) subordina-se à relação entre os vãos da laje:

$\frac{V\grave{a}o\ maior}{V\grave{a}o\ menor} \leq 2$, o elemento deve ser armado em duas direções, portanto é denominado laje maciça bidirecional de concreto armado;

$\frac{V\grave{a}o\ maior}{V\grave{a}o\ menor} > 2$, o elemento deve ser armado em uma única direção (a do menor vão), portanto é denominado laje maciça unidirecional de concreto armado.

Figura 2 - Composição de uma laje maciça convencional em concreto armado

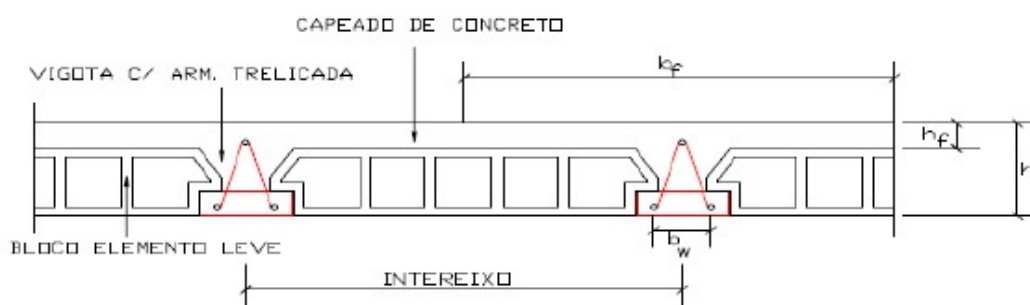


Fonte: CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO (2012)

2.3 Lajes nervuradas

O sistema estrutural composto por lajes do tipo nervurada se caracteriza por um agrupamento de vigas que se encontram unidas pela mesa, podendo ser do tipo unidirecional ou bidirecional, nota-se sua esquematização na figura 3. Lajes nervuradas podem ser moldadas in loco ou pré-moldadas (NBR 6118 – ABNT, 2014, p. 97). Conforme citado por Bastos (2015), lajes nervuradas, sejam pré-fabricadas ou moldadas in loco, são formadas, essencialmente, por nervuras (trilhos ou vigotas) de concreto e armadura, material de enchimento e capa de concreto (capeamento de compressão), em consonância com exposto nas figuras 4 e 5.

Figura 3 – Seção transversal de laje nervurada tipo treliçada

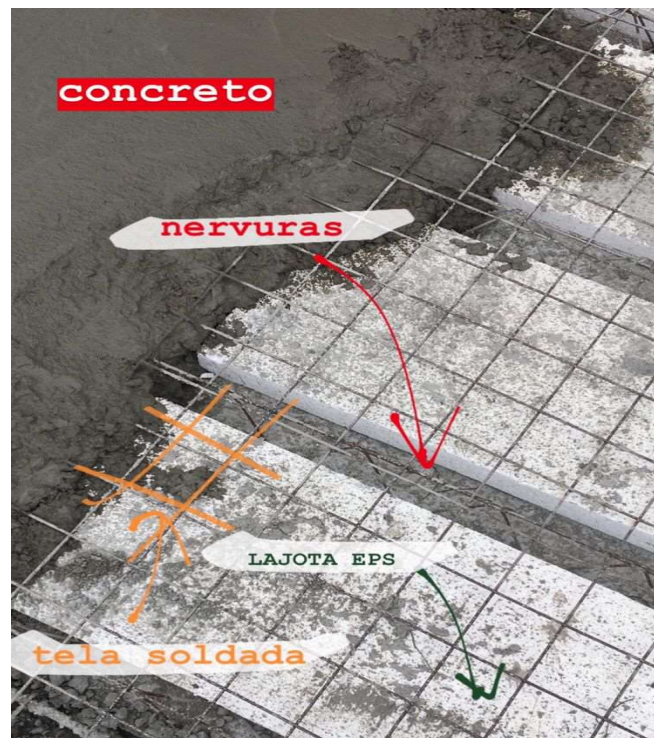


Fonte: ALBUQUERQUE (1999, p. 31)

Tais mesas combinadas configuram um sistema estrutural que busca o afastamento do 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 (CARVALHO & PINHEIRO, 2009, p. 32).

Estudos de Franca e Fusco (1997) apontaram que o uso de lajes nervuradas possibilita um maior ganho econômico em relação da espessura total das lajes, quando comparadas com o uso de lajes maciças. Para além disto, apresentam algumas vantagens em relação às lajes maciças de concreto: como diminuição direta do peso próprio; menor consumo de concreto; redução da necessidade de fôrmas; maior capacidade de vencer vãos; maiores planos lisos (sem vigas).

Figura 4 - Representação real dos elementos de laje treliçada



Fonte: A autora (2020)

Em conformidade com Pinheiro e Razante (2003) as lajes moldadas in loco, diferente das pré-moldadas, são executadas unicamente em campo, fazendo-se necessária a utilização de escoramento, fôrmas e material inerte, afim de preencher os espaços vazios. É possível encontrar essas fôrmas em polipropileno ou em metal com dimensões fixas, o que torna útil o uso de desmoldantes, similarmente ao processo de desforma das lajes maciças.

Figura 5 - Representação real da execução de laje treliçada



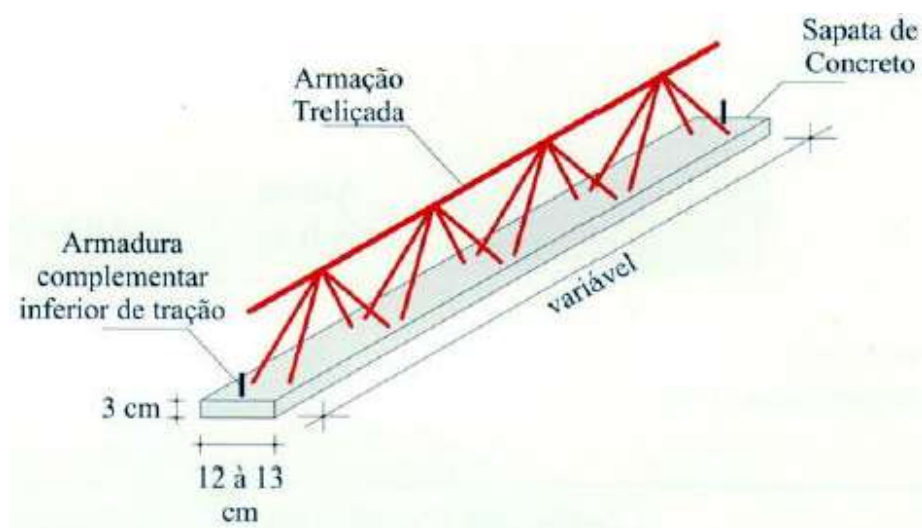
Fonte: A autora (2020)

2.3.1 Laje nervurada do tipo treliçada moldada in loco

Em conformidade com Bastos (2015), o surgimento da laje treliça ou treliçada se deu na Europa, sob o intuito de ser uma opção mais econômica exequível que as lajes maciças de concreto, se difundindo posteriormente em vários outros países.

Na laje treliçada, as nervuras (vigotas ou trilhos) contam com armadura em forma de uma treliça espacial. Como em uma clássica treliça espacial triangular, possui no banzo inferior duas barras e no banzo superior, uma única barra e entre ambos, barras diagonais inclinadas (sinusóide), soldadas pela técnica de eletrofusão. Tal disposição conferem rigidez ao elemento, além de facilitar o transporte e manuseio das peças, além de aumentar a resistência aos esforços cortantes.

Figura 6 - Nervura da laje treliça

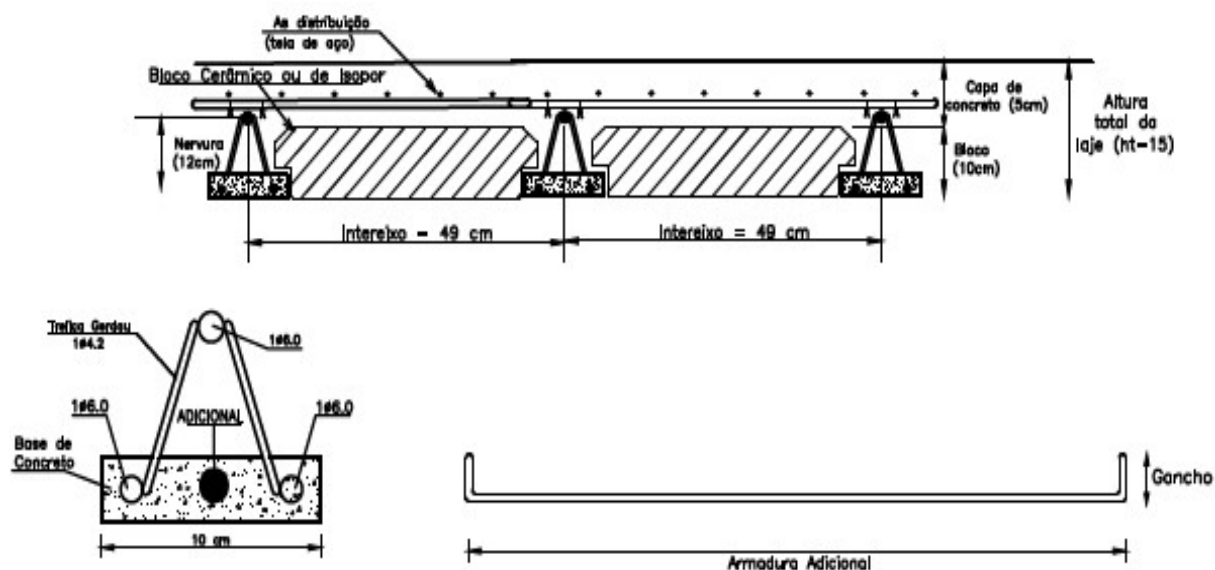


Fonte: BASTOS (2015) apud FAULIM (1998)

A composição da mesa com nervuras, capa de compressão em concreto, concedem a resistência necessária quanto aos esforços fletores e cortantes, à laje. Para além disto, os trilhos servem de apoio a alguns tipos de materiais de enchimento como blocos cerâmicos ou em poliestireno expandido (EPS). No sistema intrínseco à laje treliça, as vigotas treliçadas constituem as nervuras principais (vigas).

Os trilhos podem conter barras adicionais, agregando maior resistência à flexão das peças, o que resulta no vencimento vãos maiores.

Figura 7 – Detalhamento do projeto estrutural de lajes com vigotas treliçadas



Fonte: A autora (2019)

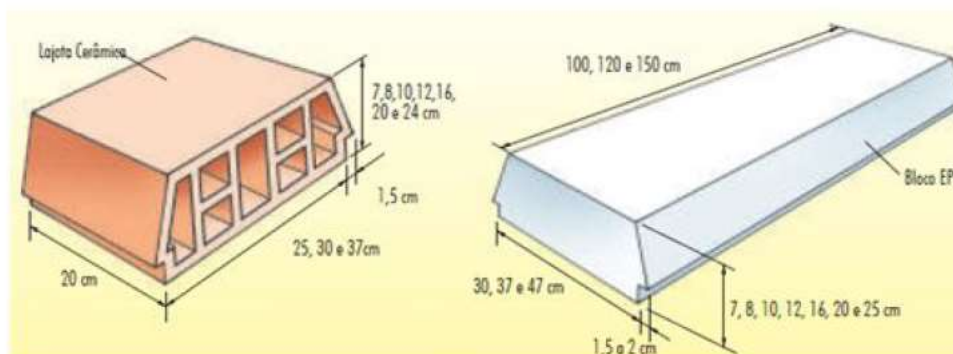
2.3.2 Materiais de enchimento

Conforme prescreve a ABNT NBR 14589-1 (2002), os elementos de enchimento são formantes pré-fabricados de materiais inertes, podendo possuir forma maciça ou vazada. Suas principais funções são de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar. São desconsiderados como colaborantes nos cálculos de resistência e rigidez da laje.

Apesar de não considerados elementos resistentes aos esforços durante os cálculos de resistência e rigidez da laje, a resistência dos elementos de enchimento suportam carga mínima de ruptura de 100 kg (1,0 kN), o suficiente para suportar esforços de trabalho durante a montagem e concretagem da laje.

O tipo de material de enchimento a ser utilizado depende da disponibilidade local, sendo os mais comuns: blocos cerâmicos, blocos de EPS ou blocos de concreto celular. A Figura 8 exemplifica dois tipos mais comumente utilizados, dos elementos de enchimento: bloco cerâmico e bloco de EPS. Suas medidas indicadas são determinadas de acordo com os padrões exigidos pelas normas vigentes e podem variar de acordo com o fabricante.

Figura 8 - Elementos de enchimento



Fonte: Gerdau (2017)

Esses enchimentos possuem dentes de encaixe para garantir o posicionamento de suas bordas nas vigotas treliçadas, garantindo, dessa forma, que não haja vazamento do concreto. A maioria das peças de enchimento possui chanfros na região dos seus vértices superiores, para que seja reforçada a área de concreto, aumentando a resistência das nervuras e, conseqüentemente, da laje.

Alguns benefícios do EPS incentivam a sua aplicação nas obras, dentre eles a sua capacidade anti-chamas e o aumento da segurança em caso de desprendimento durante a montagem das lajes – uma vez que o desprendimento da lajota cerâmica pode ocasionar acidentes graves dentro do canteiro. Além disso, confere-se bom isolamento térmico e acústico à obra, e o EPS é um material totalmente reciclável, favorecendo sua avaliação ambiental

Figura 9 - Bloco cerâmico de enchimento



Fonte: BASTOS (2015) apud FAULIM (1998)

2.4 Composição de custos

É intuitivo a eleição do sistema estrutural que envolve o menor volume de concreto e aço, uma vez que esses são os elementos que detêm o maior custo unitário dentre os empregues. Desta forma, a elaboração de uma análise de custos de forma ágil e segura, a partir do resumo de volume dos insumos envolvidos e a caracterização financeira dos respectivos se torna suficiente.

A análise estrutural no software Eberick permite uma hábil apresentação dos volumes de insumos; a caracterização financeira, por sua vez, pode ser feita em bases orçamentárias ou softwares que apresentam composições de custos completas e atualizadas, otimizando o conjunto da avaliação financeira da técnica para o primeiro momento da escolha.

Afim da simplificação para maior agilidade durante o processo da seleção da técnica, colheu-se o custo unitário de cada insumo em uma das bases legais ORSE ou SINAPI, onde a composição de custos diretos e indiretos é realizada pelas próprias bases com todos os parâmetros característicos equivalentemente considerados, e assim utilizadas por profissionais de todo o país.

Buscando ainda, aprimorar a composição de custos, também foram utilizadas cotações de insumos locais com objetivo de aproximar ao máximo o cenário do orçamento ao executivo.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa realiza um comparativo quantitativo e financeiro acerca de arranjos estruturais com lajes maciças e lajes nervuradas treliçadas moldadas in loco. Preliminarmente, foram escolhidos intuitivamente os sistemas estruturais para investigação. Em seguida, a análise foi realizada tendo-se conhecimento das características do pavimento tipo, isto é, o seu perfil de uso, quantidade de pavimentos.

Inicialmente, procedeu-se a concepção dos respectivos sistemas estruturais por meio do software Eberick V10, objetivando o dimensionamento estrutural. Com base nos resultados obtidos, foi possível o desenvolvimento das tabelas de quantitativos de materiais e custo pertinentes à cada método. Dessa maneira, possibilitou-se optar pela técnica de maior benefício econômico, entre as investigadas.

3.1 Caracterização do edifício modelo

Realizou-se a proposição de projeto estrutural para atendimento ao projeto arquitetônico de um empreendimento comercial real – Edifício Comercial M&A (Figura 10), de quatro pavimentos tipo e um subsolo executados em concreto armado, situado na cidade de Delmiro Gouveia – Alagoas.

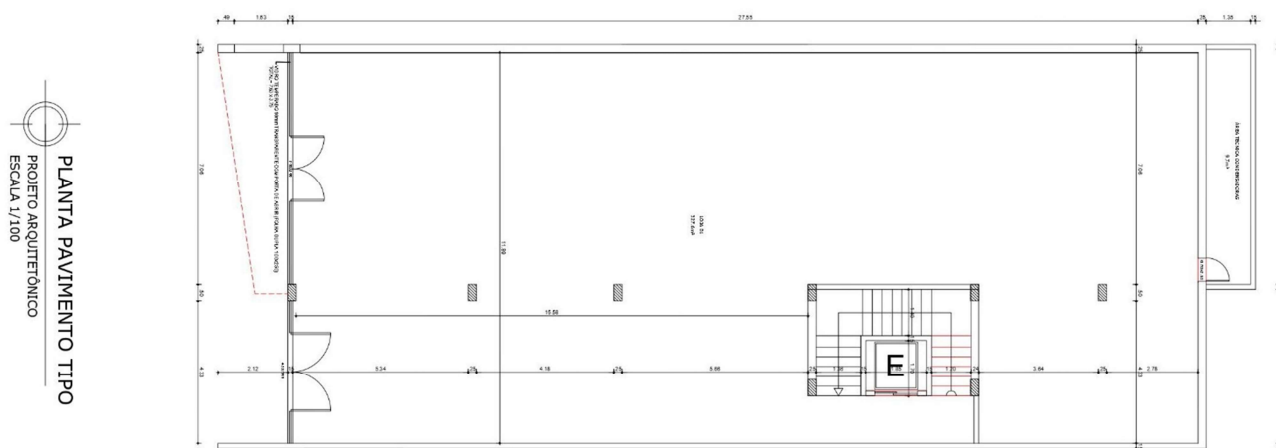
Figura 10 - Maquete eletrônica do Edifício Comercial M&A



Fonte: AJW Consultoria & William Vanderlei Arquitetura (2019)

Neste, cada andar conta com seis salas comerciais, quatro banheiros, e uma despensa, com área total por pavimento de aproximadamente 337 m², como ilustrado na Figura 11. No tangente ao cálculo das lajes, foram investigados os quatro pavimentos tipo, além da laje de piso do subsolo.

Figura 11 - Planta baixa arquitetônica do pavimento tipo do Edifício Comercial M&A

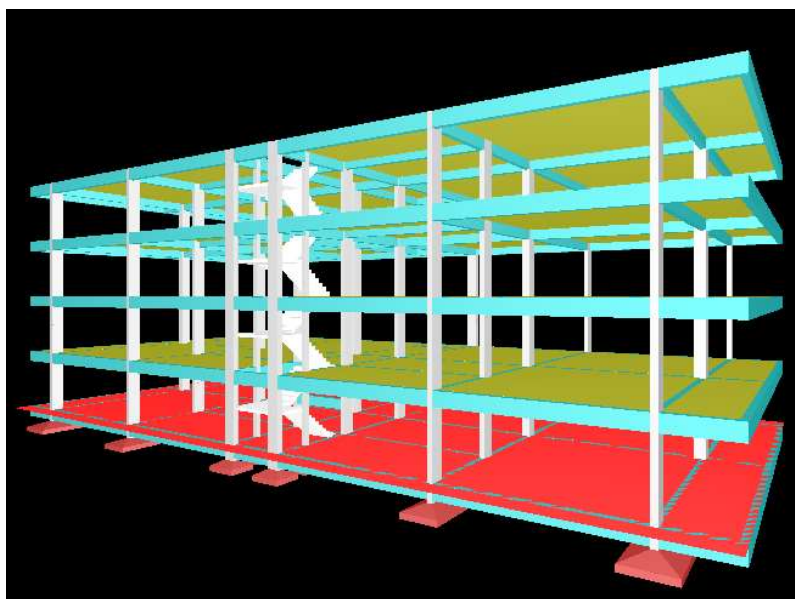


Fonte: William Vanderlei Arquitetura (2019)

3.2 Caracterização dos sistemas estruturais

Os sistemas estruturais analisados nesse estudo são referentes às lajes maciças convencionais bidirecionais e lajes nervuradas bidirecionais com cubetas plásticas, ambas moldadas in loco, construídas em concreto armado (Figura 12).

Figura 12 - Sistema estrutural do edifício de quatro pavimentos tipos



Fonte: A Autora via Eberick V10 (2019).

3.3 Caracterização da tabela de quantitativos e de custos

Para composição da tabela de insumos e serviços, foram estabelecidos os elementos tangentes à cada método construtivo: a - Concreto (kg); b - Aço para armadura (kg); c - Material para enchimento (m³); d - Fôrmas (m²) e - Custo para execução ou mão de obra (R\$/m²).

Em seguida, foram arrecadados os custos de cada material analisado, baseado nas plataformas Sistema de Orçamento De Obras De Sergipe (ORSE) e Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices Da Construção Civil (SINAPI), pertencente ao mês de maio de dois mil e dezenove. Assim sendo, foram construídas as tabelas de composição de custos.

3.4 Dados considerados ao longo do cálculo dos elementos estruturais

O dimensionamento estrutural foi executado através do software Eberick V10, sendo adotados os seguintes critérios para o projeto: a - Classe de agressividade ambiental II; b - Cobrimento nominal igual a 25 mm para as lajes e 30 mm para as demais estruturas; c - Aço utilizado CA-50 e CA-60; d -

Concreto com resistência à compressão de 25 MPa e peso específico de 25 kN.m^{-3} ; e - Paredes com 2,8 m de altura, espessura de 15 cm e peso específico de 13 kN. m^{-3} ; f - Revestimento de $1,5 \text{ kN. m}^{-2}$, conforme NBR 6118:2014; g - Vigas e pilares com seções variadas; h - Cargas acidentais de: $3,0 \text{ kN. m}^{-2}$ para compartimentos destinados a reuniões; $0,5 \text{ kN. m}^{-2}$ para forros não destinados a depósitos; $2,0 \text{ kN. m}^{-2}$ para terraços sem acesso ao público; $3,0 \text{ kN. m}^{-2}$ para corredores com acesso ao público.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Afim de estimar os custos de execução de ambas as soluções para a avaliação financeira realizou-se, logo após dimensionamento dos diferentes tipos de arranjos, a caracterização da tabela de quantitativos de insumos (concreto, fôrma, aço) inerentes à cada método através dos resultados obtidos via dimensionamento elaborado no software Eberick V10. Posteriormente, através da composição de custos para os itens em análise obteve-se os resultados expostos nas tabelas e figuras *a posteriori*.

4.1 Comparação dos quantitativos de insumos para cada método

No que diz respeito ao levantamento quantitativo da estrutura (laje, pilar e vigas) para cada método construtivo, conforme a Tabela 1, observou-se uma redução da quantidade dos materiais e serviços (aço, concreto, fôrmas) da laje nervurada em comparação com a laje maciça. O valor de delta percentual na Tabela 1, expressa a economia alcançada (redução dos custos) entre os sistemas avaliados.

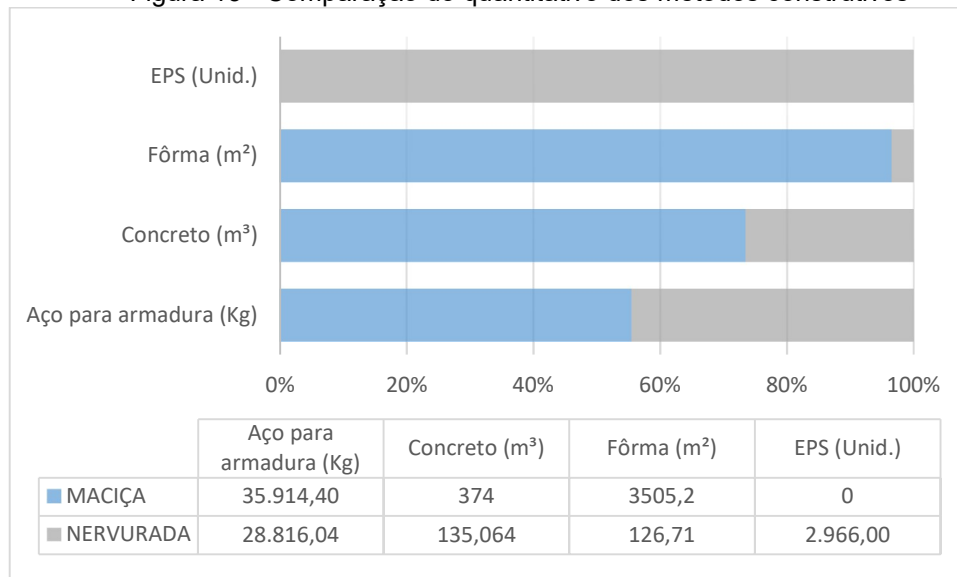
Tabela 1 - Levantamento quantitativo estrutural

DESCRIÇÃO	MACIÇA	NERVURADA	$\Delta\%$
Aço para armadura (kg)	35.914,40	28.816,04	-20%
Concreto (m^3)	374	135,064	-63,9%
Fôrma (m^2)	3505,2	126,71	-96%
EPS (unid.)	0	2.966,00	-

Fonte: A autora (2019).

Desta forma, foi possível notar através de uma avaliação quantitativa dos insumos apresentados na Figura 13, que o sistema estrutural com lajes nervuradas é mais econômico em consumo de materiais, visto que para sua execução se faz necessário a utilização de menor quantidade de insumos.

Figura 13 - Comparação do quantitativo dos métodos construtivos



Fonte: A autora (2019).

4.2 Composição do custo do material

Tendo em vista a composição de custos realizada conforme o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e Orçamento de Obras De Sergipe (ORSE), foi possível obter os valores unitários e totais para os insumos de cada método. Para as estimativas de custos que não são contemplados pelas bases orçamentárias utilizadas, foram realizadas pesquisas no mercado local.

Tabela 2 - Levantamento do custo estrutural da laje maciça

DESCRIÇÃO	U.M. (U)	QTD (U)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/U)	CUSTO TOTAL (R\$/U)
Aço para Armadura*	kg	35.914,40	-	221.270,18
Concreto Usinado (25MPa)	m ³	374	302,21	113.026,54
Fôrma	m ²	3.505,20	51,62	180.938,42
TOTAL (R\$)				R\$515.235,15

*Custo Unitário não consta na tabela devido o uso de diversas bitolas de aço, cada uma obtendo um R\$/Kg diferente.

Fonte: A autora (2019).

Quanto ao custo para execução ou mão de obra (R\$/m²), este não esteve sob análise uma vez que a construtora realiza a capacitação dos seus colaboradores para o início da execução do projeto. Desta forma, tanto para lajes nervuradas treliçadas e maciças, o custo da mão de obra não se torna uma variável visto que é necessária a contratação de uma equipe especializada à execução de cada método, portanto, para fins de simplificação de cálculo esta foi desconsiderada.

Tabela 3 - Levantamento do custo estrutural da laje nervurada

DESCRIÇÃO	U.M. (U)	QTD (U)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/U)	CUSTO TOTAL (R\$/U)
Aço para armadura*	kg	28.816,04	-	126.021,88
Concreto Usinado (25mpa)	m ³	135,064	302,21	40.817,69
Fôrma	m ²	126,71	51,62	6.540,77
EPS	Unid.	2.966,00	8,9	26.397,40
TOTAL (R\$)				R\$199.777,74

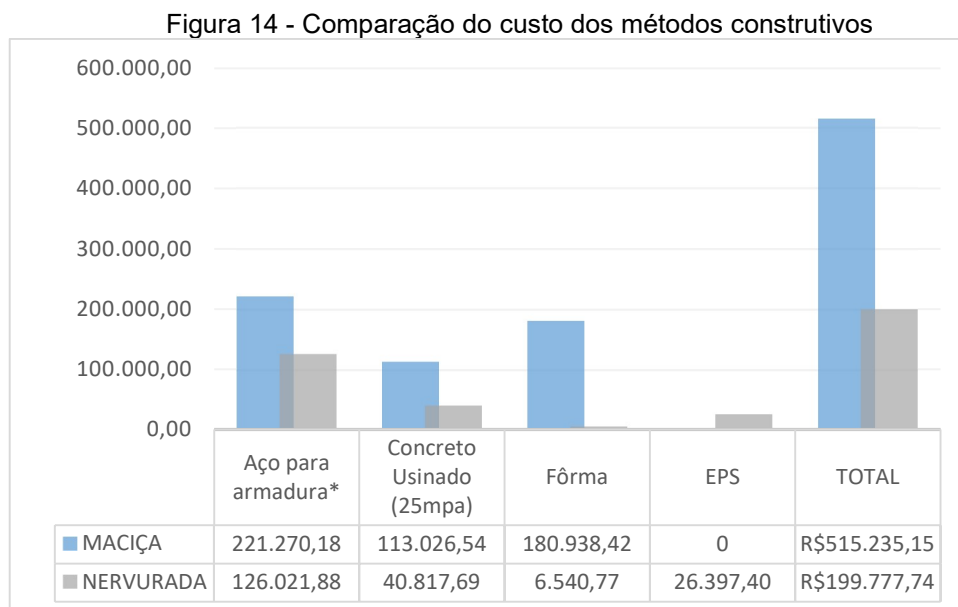
*Custo Unitário não consta na tabela devido o uso de diversas bitolas de aço, cada uma obtendo um R\$/Kg diferente.

Fonte: A autora (2019).

Os resultados da concepção estrutural realizada através do Eberick indicaram a utilização de diversas bitolas de aço para as armaduras. Esse cenário se deu principalmente em virtude dos diferentes carregamentos que cada pavimento suporta

e gerou um quadro orçamentário extenso, considerando para o cálculo do custo total do aço (Tabela 2 e 3: Aço para Armadura*) o valor unitário de cada bitola.. Em consequência das diferentes bitolas de aço envolvidas neste projeto, não foi indicado o valor unitário pelo kg do aço, e sim sua composição final de custo.

Por fim, constatou-se que a laje nervurada apresenta menor custo total, tendo em vista uma avaliação dos resultados expostos via Figura 14. Averiguou-se ainda que o sistema estrutural composto por lajes maciças apresentou um aumento expressivo de materiais e serviços, tais como aço, concreto, fôrmas.



Fonte: A autora (2019).

5 CONCLUSÃO

À vista dos resultados coletados e apresentados neste estudo, averiguou-se que o modelo estrutural de lajes nervuradas possui o melhor custo benefício, dentre as técnicas analisadas. Diante disso, constatou-se, uma diminuição de - 61,23 % sobre o custo integral de execução do prédio, por meio da utilização da técnica economicamente mais viável. Tal cenário seu deu principalmente em virtude da redução do uso de aço e concreto, além da dispensabilidade do uso de fôrmas de madeira, utilizadas em larga escala para as mesas de lajes maciças.

É importante destacar que esse resultado é coerente à localidade, necessidades do projeto, vãos, altura de vigas, altura do pé direito, projeto arquitetônico, tipo de uso e carga aplicada às placas e expectativas do cenário em questão.

Desta forma, ressalta-se a necessidade da avaliação para cada projeto, objetivando a otimização de custos e processos, sem interferir na segurança e a funcionalidade. Conclui-se, por fim, que o sistema convencional constituído por lajes nervuradas treliçadas moldadas in loco, é a técnica construtiva de maior custo benefício para o projeto analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJW CONSULTORIA EIRELLI. **Projetos Executivos do Edifício Comercial M&A.** Setor de Engenharia e Projetos. Alagoas, 2019.

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** São Carlos, 1999. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, p. 84 - 97, 2014.

. NBR 6120: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, p. 1, 1980.

. NBR 8681: Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, p. 5, 2003.

. NBR 14859-1: Laje préfabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais Rio de Janeiro, p. 15, 2002.

BASTOS, P. S. D. S. **Estruturas de Concreto I – Notas de aula: Lajes de Concreto.** Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado.** Editora da Universidade Federal de São Carlos (EdUFSCar), 4.ed. São Carlos – SP, 2014.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado.** São Carlos: PINI Ltda, 2009. v. 2. p. 32.

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.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As Lajes Nervuradas na Moderna Construção de Edifícios**. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.

GALVAMINAS. Disponível em: <<https://www.galvaminas.com.br/blog/tipos-de-laje-e-suas-vantagens/>>. Acesso em 20 de setembro de 2020.

PINHEIRO, L. M.; RAZANTE, J. A. **Estruturas de Concreto – Capítulo 17: Lajes Nervuradas**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

SISTEMA DE ORÇAMENTO DE OBRAS DE SERGIPE - ORSE. Disponível em: <<http://orse.cehop.se.gov.br/>>. Acesso em: 03 de Maio de 2019.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 de Maio de 2019.

SOUZA, M. F. S. M; RODRIGUES, R. B.; MASCIA, N. T. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SPOHR, V. H. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais Convencionais e Estruturas de Lajes Nervuradas**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

WILLIAM VANDERLEI ARQUITETURA. **Projeto Arquitetônico do Edifício Comercial M&A**. Portifólio de projetos. Alagoas, 2019.