

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
AMANDA PEREIRA SOUZA

**ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA LAJES DE EDIFÍCIO
COMERCIAL EM ESTRUTURA METÁLICA, AVALIANDO TRÊS SISTEMAS DE
LAJES: maciça, nervurada e mista (*steel deck*)**

**Varginha
2019**

AMANDA PEREIRA SOUZA

**ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA LAJES DE EDIFÍCIO COMERCIAL
EM ESTRUTURA METÁLICA, AVALIANDO TRÊS SISTEMAS DE LAJES: maciça,
nervurada e mista (*steel deck*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Leopoldo Freire Bueno.

**Varginha
2019**

AMANDA PEREIRA SOUZA

**ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA LAJES DE EDIFÍCIO
COMERCIAL EM ESTRUTURA METÁLICA, AVALIANDO TRÊS SISTEMAS DE
LAJES: maciça, nervurada e mista (*steel deck*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Leopoldo Freire Bueno.

Aprovado em / /

Prof. Leopoldo Freire Bueno (Orientador)

Prof. (Banca Examinadora)

Prof. (Banca Examinadora)

A Deus, por todas as portas que me foram abertas durante a minha trajetória.

Aos meus pais e minha irmã, pelo incentivo e ajuda nos momentos difíceis.

Aos meus tios e tias, primos, que sem o auxílio durante a minha caminhada jamais seria possível à concretização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Sebastião Célio e Marcília de Fátima pelo apoio em todos os momentos, pelos sacrifícios e pela paciência.

Ao meu orientador e Prof. Leopoldo Freire Bueno, pela amizade e grande capacidade e competência de orientação.

Aos professores Matheus Henrique Pereira pelo auxílio no dimensionamento da estrutura metálica deste trabalho e ao Mestre Antônio de Faria (*in memoriam*), pelo auxílio no dimensionamento estrutural das lajes.

Aos professores do curso de Engenharia Civil do Grupo Unis pelo ensinamento recebido.

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, pois Tu estás comigo, Tua vara e teu cajado me protegem.”
Salmos 23:4

RESUMO

Este trabalho tem como proposta analisar os sistemas de lajes maciças, nervuradas e mistas para uso em edifícios de estrutura metálica. Analisam-se suas características, vantagens e desvantagens de seus sistemas estruturais e construtivo visando sua utilização em estrutura metálica. Com uma arquitetura e projetos estruturais previamente definidos será possível a avaliação técnica e metodológica de montagem e execução, comparando custos relacionados aos insumos utilizados para a montagem de cada laje e mão de obra, além do planejamento de execução para cada sistema estrutural de laje em análise, onde os prazos serão obtidos. Busca-se então, uma análise realista do que diz respeito a cada sistema de laje estudado, comparando-os entre si, seu comportamento estrutural, técnicas construtivas, tempo de execução e custo, para que então seja concluído qual o sistema estrutural de laje é viável no que diz respeito a fatores econômicos onde se verifica custos e a avaliação dos prazos onde se verifica quantidade de dias em que a obra estará concluída, aliado a quantidade de homens/hora para realizar cada função, sendo então a laje com menor custo e menor prazo de execução a laje viável para o projeto de análise em estudo, e ou projetos semelhantes.

Palavras-chave: Estruturas de aço. Sistema de lajes. Custo. Prazo.

ABSTRACT

This work aims to analyze the systems of massive, ribbed and mixed slabs for use in buildings of metal structure. Its characteristics, advantages and disadvantages of its structural and constructive systems are analyzed aiming its use in metallic structure. With a previously defined architecture and structural projects, it will be possible to evaluate the technical and methodological assembly and execution, comparing costs related to the inputs used for the assembly of each slab and labor, as well as the execution planning for each structural slab system under analysis. where deadlines will be obtained. We then seek a realistic analysis of each slab system studied, comparing them with each other, their structural behavior, construction techniques, execution time and cost, so that the structural slab system is concluded. feasible with regard to economic factors where costs are verified and the evaluation of the deadlines where the number of days the work will be completed, together with the number of man hours to perform each function, being the slab with lower cost and shorter lead time the viable slab for the analysis project under study, and or similar projects.

Keywords: *Steel structures. Slab system. Cost. Term.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escoramento laje maciça	18
Figura 2 – Umidificação antes da concretagem.....	19
Figura 3 - Concretagem da laje maciça	19
Figura 4 - Cura do concreto.....	20
Figura 5 - Tipos de apoio em vigas metálicas	21
Figura 6 - Enchimento cerâmico	21
Figura 7 - Enchimento EPS	22
Figura 8 - Vigotas treliçadas.....	22
Figura 9 - Capitéis maciços	23
Figura 10 - Vigas faixa	24
Figura 11 - Esquema de laje pré-moldada com nervuras e blocos cerâmicos.....	24
Figura 12 - Variação de altura de lajes nervuradas	25
Figura 13 - Exemplo do transporte das vigotas	26
Figura 14 - Içamento para vãos de até quatro metros.....	26
Figura 15 - Içamento para vãos maiores que quatro metros.....	26
Figura 16 - Escoramento de madeira	27
Figura 17 - Formas para nervuras transversais de travamento	27
Figura 18 - Escoramento metálico.....	28
Figura 19 - Detalhe do escoramento metálico	28
Figura 20 - Nervuras secundárias de travamento	29
Figura 21 - Afastamento dos blocos de enchimento.....	29
Figura 22 - Comprimento de ancoragem	29
Figura 23 - Sequência de montagem dos blocos de enchimento.....	31
Figura 24 - Concretagem da laje nervurada	32
Figura 25 - Forma de aço trapezoidal.....	33
Figura 26 - Forma de aço reentrante.....	34

Figura 27 - Stud bolt.....	36
Figura 28 - Corte esquemático da posição da armadura.....	36
Figura 29 - Detalhe das armaduras em uma laje mista.....	37
Figura 30 - Diagrama de flechas.....	52
Figura 31 - Diagrama de blocos	52
Figura 32 - Planta baixa cobertura.....	54
Figura 33 - Planta baixa pavimento tipo.....	55
Figura 34 - Elevações eixo 3 e 4.....	55
Figura 35 - Elevações eixo 1 e 6.....	56
Figura 36 - Fachada eixos A e D	56
Figura 37 - Planta baixa de vigas e pilares da laje maciça	59
Figura 38 - Esquema de escoramento.....	61
Figura 39 - Planta baixa de vigas e pilares da laje nervurada.....	62
Figura 40 - Forma ATEX	63
Figura 41 - Escoramento da laje nervurada	64
Figura 42 - Planta baixa de vigas e pilares da laje steel deck MF-50.....	66
Figura 43 - Planta baixa de vigas e pilares da laje steel deck MF-75.....	66
Figura 44 - Composição de custo em porcentagem para a laje maciça - Opção construtiva 2	73
Figura 45 - Composição de custo em porcentagem para a laje nervurada	74
Figura 46 - Composição de custo em porcentagem laje steel deck MF-50.....	75
Figura 47 - Composição de custo em porcentagem para a laje steel deck MF-75	76
Figura 48 – Composição de custo e comparação de resultados	76
Figura 49- Composição de custo do aço.....	79
Figura 50 - Composição de custo volume de concreto.....	79
Figura 51 - Composição de custo escoramento	80
Figura 52 - Composição de custo estrutura metálica.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações da treliça	22
Tabela 2 - Comprimento dos ganchos de ancoragem.....	30
Tabela 3 - Sistemas de forma ATEX 900.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Encargos Sociais.....	41
Quadro 2 – Despesas Tributárias.....	46
Quadro 3 - Estrutura analítica do projeto	48
Quadro 4 - Modelo de cronograma de barras	50
Quadro 5 - Modelo de cronograma físico-financeiro	51
Quadro 6 - Ações consideradas	58
Quadro 7 - Esforços nos pilares laje maciça.....	59
Quadro 8 - Momento fletor nas vigas e dimensionamento da laje maciça.....	60
Quadro 9 - Quantitativo de materiais para laje maciça	61
Quadro 10 - Quantitativo de materiais para a laje maciça.....	62
Quadro 11 - Esforços nos pilares da laje nervurada	63
Quadro 12 - Momento fletor nas vigas e dimensionamento da laje nervurada.....	64
Quadro 13 - Quantitativo de materiais para a laje nervurada	65
Quadro 14 - Esforços nos pilares MF-50.....	67
Quadro 15 - Esforços nos pilares MF-75.....	67
Quadro 16 - Momento fletor e dimensionamento MF-50	68
Quadro 17 - Momento fletor e dimensionamento MF-75	68
Quadro 18 - Quantitativo de materiais para steel deck MF-50.....	69
Quadro 19 - Quantitativo de materiais para steel deck MF-75.....	70
Quadro 20 – Comparativo de consumo de materiais das lajes	70
Quadro 21 - Composição de custo para laje maciça - Opção construtiva 1	72
Quadro 22 - Composição de custo para laje maciça - Opção construtiva 2	72
Quadro 23 - Composição de custo para laje nervurada.....	73
Quadro 24 - Composição de custo para laje steel deck MF-50.....	74
Quadro 25 - Composição de custo laje steel deck MF-75.....	75
Quadro 26- Custo geral	77

Quadro 27 - Quadro de duração laje maciça	82
Quadro 28 - Cronograma físico-financeiro laje maciça	82
Quadro 29 - Quadro de duração laje nervurada.....	83
Quadro 30 - Cronograma físico-financeiro laje nervurada.....	83
Quadro 31 - Quadro de duração laje steel deck MF 50	84
Quadro 32 - Cronograma físico-financeiro laje steel deck MF 50	85
Quadro 33 - Quadro de duração laje steel deck MF 75	85
Quadro 34 - Cronograma físico-financeiro laje steel deck MF 75	86

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing Materials

BDI – Benefício e Despesas Indiretas

CD – Custo Direto

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CPMF – Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira

CSLL – Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido

CUB – Custo Unitário Básico

EAP – Estrutura Analítica do Projeto

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPS – Poliestireno Expandido

FCK – Fator de Resistência Característico do Concreto

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

IRPJ - Imposto de Renda - Pessoa Jurídica

ISSQN – Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza

PINI – Portal de Notícias da Construção

PERT/CPM – Program Evaluation and Review Technique/ Critical Path Method

PIS – Programa de Integração Social

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SESI - Serviço Social da Indústria

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamento

TCU - Tribunal de Contas da União

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativas.....	15
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Sistemas de Lajes.....	17
3.2 Laje Maciça.....	17
3.2.1 Procedimento de Montagem da Laje Maciça.....	18
3.3 Laje Nervurada.....	21
3.3.1 Laje Pré-Moldada com Nervuras e Blocos Cerâmicos	24
3.3.1.1 Procedimento de Montagem da Laje Pré-Moldada com Nervuras e Blocos.....	25
3.3.1.1.1 Transporte e Manuseio	25
3.3.1.1.2 Escoramento Madeira	27
3.3.1.1.3 Escoramento Metálico	27
3.3.1.1.4 Nervuras Transversais	28
3.3.1.1.5 Posicionamento das Armaduras em Serviço	29
3.3.1.1.6 Colocação do Elemento de Enchimento (bloco cerâmico ou EPS).....	30
3.3.1.1.7 Armadura Complementar	31
3.3.1.1.8 Concretagem.....	31
3.3.1.1.9 Descimbramento	32
3.4 Laje Mista (<i>steel deck</i>).....	33
3.4.1 Procedimento de montagem da laje mista (<i>steel deck</i>)	34
3.4.1.1 Concretagem.....	34
3.4.1.2 Chapa de Aço	35
3.4.1.3 Conectores de Cisalhamento	35
3.4.1.4 Armaduras	36
3.5 Orçamento de Obra.....	38
3.5.1 Levantamento de Custo Direto (CD)	38
3.5.2 Cálculo do Custo Direto (CD)	38
3.5.3 Custo Unitário	39
3.5.4 Leis Sociais	40
3.5.4.1 Cálculo dos Encargos Complementares	42
3.5.4.2 Cálculo dos Equipamentos de Proteção Individual (<i>EPI</i>)	42
3.5.4.3 Ferramentas Manuais.....	43
3.5.5 Composição do Custo Unitário	44
3.5.6 BDI.....	44
3.5.6.1 Despesas Financeiras	45
3.5.6.2 Lucro.....	45
3.5.6.3 Despesas Tributárias.....	45
3.5.7 Método de Estimativa de Custo Utilizando o Indicador CUB.....	46
3.6 Planejamento da Obra	47
3.6.1 Etapas do Planejamento da Obra.....	47
3.6.2 Identificação das Atividades e a Estrutura Analítica do Projeto (EAP).....	48
3.6.3 Prazos	49
3.6.4 Otimização da Programação	49
3.6.5 Cronograma Físico-Financeiro e Caminho Critico	50

4 MATERIAIS E MÉTODOS	53
4.1 Projeto de Análise.....	54
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	58
5.1 Laje Maciça.....	59
5.2 Laje pré-moldada com nervuras e blocos	62
5.3 Laje mista (<i>steel deck</i>) MF-50 e MF-75	65
5.4 Composição de custo – materiais e mão de obra	71
5.4.1 Composição de custo para laje maciça.....	71
5.4.2 Composição de custo para laje nervurada.....	73
5.4.3 Composição de custo para a laje <i>steel deck</i> – MF50 e MF75	74
5.5 Comparação de resultados de custo.....	76
5.6 Considerações finais dos resultados de custo.....	81
5.7 Planejamento de obra	81
5.7.1 Planejamento de execução de obra - laje maciça	81
5.7.1.1 Quadro de duração laje maciça.....	81
5.7.1.2 Cronograma físico-financeiro laje maciça.....	82
5.7.2 Planejamento de execução de obra - laje nervurada	83
5.7.2.1 Quadro de duração laje nervurada	83
5.7.2.2 Cronograma físico-financeiro laje nervurada	83
5.7.3 Planejamento de execução de obra - <i>Steel deck</i> MF 50 e MF 75.....	84
5.7.3.1 Quadro de duração laje <i>steel deck</i> MF 50.....	84
5.7.3.2 Cronograma físico-financeiro laje <i>steel deck</i> MF 50.....	84
5.7.3.3 Quadro de duração laje <i>steel deck</i> MF 75.....	85
5.7.3.4 Cronograma físico-financeiro laje <i>steel deck</i> MF 75	86
5.8 Comparação dos resultados obtidos no planejamento de execução das lajes.....	86
6 CONCLUSÃO.....	87
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A	91
APÊNDICE B - CRONOGRAMA FISICO DAS LAJES.....	100

1 INTRODUÇÃO

A estrutura metálica basicamente necessita de uma concepção de projeto adequada, avaliando suas interfaces com os complementos que ~~embora nem~~ mesmo não sejam feitos de aço, ~~para que~~ se mantenha a rapidez em seu processo construtivo.

A estrutura metálica permite a padronização dos elementos que constituem a estrutura principal e também a estrutura de fechamento, o que leva a otimização do seu processo construtivo, tornando suas maiores vantagens, ganho de escala, produtividade e entrega rápida.

Atualmente no Brasil, ainda predomina a utilização em larga escala por estruturas em concreto armado, porém, a demanda tem crescido no que diz respeito a estruturas em aço. O aço hoje é viável economicamente para construção de grandes edifícios comerciais, quando alguns requisitos devem ser atendidos, como os grandes vãos no pavimento, flexibilidade no *layout*, repetição de alguns módulos e prazo de entrega reduzido.

A busca por estruturas mais esbeltas e vãos maiores, contribui para a larga utilização de estruturas mistas de aço e concreto. Que são estruturas formadas pela associação de perfis de aço e concreto estrutural, de modo que os materiais trabalhem em conjunto, com intuito de reduzir os esforços solicitantes.

Sendo um edifício em concreto armado ou estrutura metálica, a laje é usualmente feita em concreto, cuja execução utiliza-se formas de madeira e escoramento, processo construtivo artesanal que diminui a velocidade da construção. Portanto, a escolha adequada do tipo de laje a ser empregada em uma estrutura metálica é um fator preponderante para a racionalização da construção e a redução de custos e prazos.

1.1 Justificativas

Atualmente a construção metálica vem se abrangendo no Brasil, principalmente quando se trata de edifícios de múltiplos pavimentos e comerciais, devido à tendência ao uso de processos industrializados e alta tecnologia.

O estudo em questão vem contribuir para com o desenvolvimento e divulgação de sistemas construtivos complementares para pavimentos industrializados.

As análises e discussões sobre os aspectos do comportamento de sistemas estruturais ~~em~~ e a interação com os pavimentos podem contribuir para elaboração de normas técnicas, recomendações e desenvolvimento de novas tecnologias para elaboração de projetos relacionados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral tem como finalidade a análise de custos e prazos para o uso de três sistemas de lajes de edifícios comerciais em estruturas metálicas. Os sistemas avaliados são: lajes maciças, nervuradas e mistas.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Estudar e comparar o desempenho de diferentes sistemas de lajes e sua utilização nos edifícios em aço e explicar as diferenças de cada tipo de laje;
- Para uma arquitetura definida, comparar os custos da estrutura em função dos tipos de lajes utilizadas: lajes maciças, nervuradas e mistas.
- Apresentar e discutir diferentes formas de associação de lajes de concreto e vigas de aço para formar os sistemas mistos de pavimento;
- Levantar dados relacionados a custo, mão de obra e prazo para que então, um comparativo seja elaborado, com intuito de concluir qual sistema de laje é mais viável para o projeto de análise.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Sistemas de Lajes

“As lajes são caracterizadas como estruturas laminares, normalmente planas e horizontais, solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano médio. O seu formato é variável, desenvolve-se sobre elas (exceto em coberturas) as atividades normais do edifício” (NAPPI, 1993, p. 13).

O comportamento de chapa é fundamental para a estabilidade global da estrutura. É por meio da laje que os pilares contraventados se apoiam nos elementos de contraventamento, garantindo a estabilidade da estrutura em relação as suas laterais.

Segundo BEZERRA (1995), ao considerar as lajes como estrutura de contraventamento, verificou que a rigidez desses elementos na estrutura de edifícios altos reduz significativamente os deslocamentos horizontais.

As lajes nas estruturas de concreto ou nas estruturas metálicas possuem a mesma função de garantir que não haja deslocamentos horizontais, portanto, nas estruturas mistas de aço e concreto é necessário que haja uma solidarização do conjunto (viga-laje), para que a estrutura passe a ter o mesmo comportamento de uma estrutura em concreto, permitindo então que a laje forme um diagrama contínuo.

A escolha da laje para uma estrutura metálica deve ser uma decisão pautada na logística de execução da obra, nas ações que deverá suportar e no que diz respeito à dimensão dos vãos. Avaliam-se também a funcionalidade, eficácia, durabilidade, resistência, agilidade de execução e custos.

A estrutura metálica é um sistema racionalizado e industrializado em que a modulação se dá desde o início no projeto arquitetônico, onde é otimizada no que diz respeito à execução no canteiro de obras e reduzindo custos indiretos e desperdícios, portanto, cabe avaliar um sistema de laje que condiz com a natureza de um sistema estrutural metálico.

Nos próximos tópicos serão discutidas as técnicas construtivas e características de cada tipo de laje que serão abordadas neste trabalho: lajes maciças, nervuradas e mistas (*steel deck*).

3.2 Laje Maciça

Lajes maciças são elementos estruturais planos onde toda a espessura é composta por concreto, armaduras de flexão longitudinais e eventualmente transversais de distribuição de tensões (em lajes unidirecionais). Tem a função básica de receber as cargas de utilização das

edificações, aplicadas no piso, e distribuir suas reações em todas as paredes ou vigas ao longo de suas bordas (sistema convencional). Segundo Carvalho (2014), desta forma ocorre um melhor aproveitamento da estrutura de apoio do pavimento, pois dependendo apenas dos vãos da laje e condições de apoio, podem ter cargas da mesma ordem de grandeza resultando em tamanhos de vigas mais uniformes, assim possivelmente diminuindo o pé direito de uma residência.

Segundo a ABNT NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) a desvantagem da laje maciça quando se trata de grandes vãos é que seu uso não é viável devido ao seu próprio elevado. A prática usual para lajes maciças é adotar vãos entre 3,5 m e 5 m, o que é chamado de vão médio econômico.

A ABNT NBR 6118:2014 prescreve ainda que, os limites mínimos para espessura são:

- 5 cm para lajes de cobertura;
- 7 cm para lajes de piso;
- 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;

3.2.1 Procedimento de Montagem da Laje Maciça

Os procedimentos descritos a seguir não são rígidos, podendo existir alternativas diferentes de sequência dos trabalhos, sem que, obrigatoriamente, ocasionem perda de qualidade dos serviços. A descrição do procedimento de montagem da laje maciça parte do princípio de que as fôrmas dos pilares e das vigas já estejam devidamente alinhadas, aprumadas e niveladas.

A confecção das lajes inicia-se pela fixação das longarinas nas respectivas escoras devidamente apoiada no terreno, como na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Escoramento laje maciça



Fonte: (JR Construção, 22 de Abril de 2019)

Prega-se o assoalho nas longarinas, marcando, posteriormente, sobre ele com um giz, a posição correta das barras de aço. Posicionam-se estas barras, juntamente com os eletrodutos e caixas de passagem de acordo com os respectivos projetos. Após molharem-se as formas, inicia-se a concretagem, sempre pelo lado oposto a entrada de pessoal, como nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Umidificação antes da concretagem



Fonte: (JR Construção, 22 de Abril de 2019)

Figura 3 - Concretagem da laje maciça



Fonte: (JR Construção, 22 de Abril de 2019)

São colocadas guias de madeira com a mesma altura que deve ter a laje. Após o lançamento do concreto, o que exceder a esta altura é retirado através de uma régua apoiada sobre as referidas guias. E então o concreto inicia-se o seu processo de cura (Figura 4), que leva em média de sete dias, e após vinte e um dias todas as escoras podem ser retiradas.

Figura 4 - Cura do concreto



Fonte: (JR Construção, 23 de Abril de 2019)

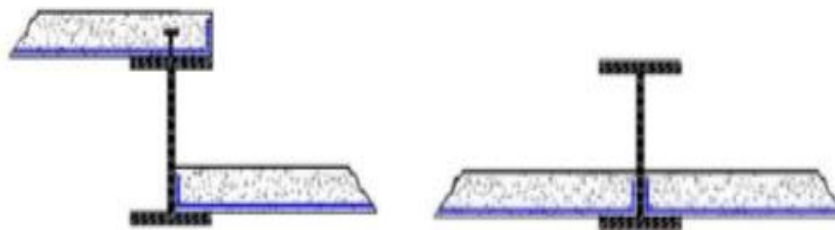
Dentre as desvantagens desse sistema Carvalho e Pinheiro (2009, p.28) dizem que, é importante ressaltar que o projeto pode abranger uma quantidade maior de vigas devido aos limites mínimos impostos pela norma, o que deixa a forma do pavimento muito recortada o que diminui a produtividade da construção. Portanto, o consumo de aço, concreto e formas para este tipo de laje é elevado.

Carvalho e Pinheiro (2009, p. 28) citam como vantagens das lajes maciças a sua execução simples e rápida e o fato de apresentar pouca deformação e esforços relativamente pequenos. Além disso, “[...] para pequenos vãos, pelo menos no estado limite último, boa parte do concreto da laje maciça pouco contribui na resistência à flexão, pois geralmente a linha neutra tem pequena profundidade, resultando em uma grande quantidade de concreto tracionado”.

As lajes maciças quando utilizadas em estruturas metálicas, necessitam de conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça (*stud bolt*), para que exista uma eficiência entre o aço e concreto. As lajes maciças não são viáveis para vãos maiores que 6 metros, onde a altura da laje se torna elevada, consecutivamente aumentando o consumo de volume de concreto.

Algumas vezes as lajes maciças utilizadas em estrutura metálica, podem ser apoiadas na aba inferior da viga de aço. Como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Tipos de apoio em vigas metálicas



Fonte: (Estruturas metálicas ligações. UFPR, 2015.)

Para edifícios de poucos pavimentos a laje maciça vem se mostrando menos econômica em relação à laje pré-fabricada. Em contrapartida, para edifícios de múltiplos pavimentos o custo final da laje maciça pode ser reduzido devido ao fato da reutilização das formas.

Porém, a utilização das formas e escoramento contraria a ideia da estrutura metálica que é a busca de elementos industrializados.

3.3 Laje Nervurada

As lajes nervuradas são definidas da seguinte forma: “Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.” (ABNT NBR 6118, 2014, p. 86).

As lajes nervuradas têm duas partes principais, a mesa de concreto comprimida e as nervuras onde estão localizadas as armaduras de tração e cisalhamento.

Este sistema pode ser moldado *in loco*, utilizando formas, escoramento e material de enchimento como sendo EPS ou blocos cerâmicos, como mostram as Figuras 6 e 7, ou com nervuras pré-moldadas que são constituídas de vigotas, como na Figura 8, dispensando o uso de tabuleiro utilizado de forma convencional. (ABNT NBR 6118, 2014, p. 86).

Figura 6 - Enchimento cerâmico



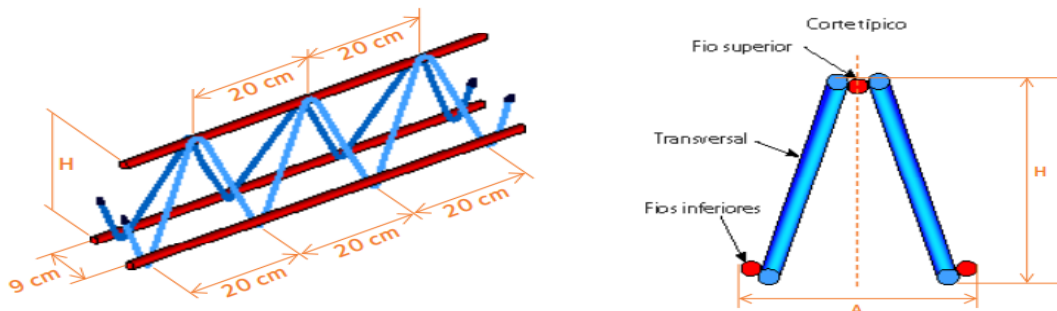
Fonte: (Manual técnico treliças)

Figura 7 - Enchimento EPS



Fonte: (Manual técnico treliças)

Figura 8 - Vigotas treliçadas



Fonte: (Manual técnico treliças)

Segundo a ABNT NBR 14862:2002 as treliças podem ser padronizadas como segue na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Especificações da treliça

Especificações do produto						
Modelo	Designação	Altura (h) (mm)	Composição/Fios			Peso linear (kg/m)
			Superior (Ø S)	Diagonal (Ø D)	Inferior (ØI)	
TB 8L	TR 8644	80	6	4,2	4,2	0,735
TB 8M	TR 8645	80	6	4,2	5	0,825
TB 12M	TR 12645	120	6	4,2	5	0,886
TB 12R	TR 12646	120	6	4,2	6	1,016
TB 16L	TR 16745	160	7	4,2	5	1,032
TB 16R	TR 16746	160	7	4,2	6	1,128
TB 20L	TR 20745	200	7	4,2	5	1,111
TB 20R	TR 20756	200	7	5	6	1,446
TB 25M	TR 25856	250	8	5	6	1,686
TB 25R	TR 25858	250	8	5	8	2,024
TB 30M	TR 30856	300	8	5	6	1,823
TR 30R	TR 30858	300	8	5	8	2,168

Fonte: (Manual técnico treliça)

“A primeira coluna mostra os modelos diferenciados pela altura (h) da treliça e suas linhas: leve (L), média (M), reforçada (R) e pesada (P). Exemplo: TB 8M – Treliça Belgo com 8 cm de altura, linha média. A segunda coluna especifica a treliça (TR) discriminando novamente sua altura e, na sequência, o diâmetro dos seus fios. Exemplo: TR 8645 – treliça com 8,0 cm de altura, fio superior $\varnothing = 6,0$ mm, diagonais $\varnothing = 4,2$ mm e fios inferiores $\varnothing = 5,0$ mm” (ABNT NBR 14862, 2002).

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p. 14) as lajes nervuradas apresentam algumas vantagens tais como sintetizadas abaixo:

- Permitem vencer grandes vãos, liberando-se espaços o que é vantajoso em locais como garagens onde os pilares podem prejudicar o tráfego dos carros no local;
- Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregada nas lajes maciças;
- São lajes versáteis em sua aplicação, podendo ser empregadas em edifícios residenciais, comerciais, educacionais, hospitalares, entre outras;
- Se gasta menos concreto e aço que as lajes maciças, diminuindo o peso próprio final e assim aliviando o peso sob as fundações;
- São mais adequadas para suportar grandes cargas;

Embora as vantagens sejam muitas, as lajes nervuradas apresentam também desvantagens, tais como segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p. 14) são “[...] a dificuldade na passagem de tubulações e a demanda por alturas maiores do edifício e de cada andar.”.

Contudo, a utilização das lajes nervuradas em estruturas metálicas torna-se uma alternativa interessante, quando se avalia o processo construtivo, trazendo maior agilidade à fase de obra. Pode se dispensar o uso de vigas, sendo assim, a laje se apoia sob os pilares, com o uso de capitéis maciços ou com vigas faixa, como mostrado nas Figuras 9 e 10 a seguir.

Figura 9 - Capitéis maciços



Fonte: (www.atex.com.br)

Figura 10 - Vigas faixa



Fonte: (www.atex.com.br)

Dentre as alternativas de lajes nervuradas o enfoque deste trabalho em relação a este sistema de laje será a laje pré-moldada com nervuras e blocos cerâmicos.

3.3.1 Laje Pré-Moldada com Nervuras e Blocos Cerâmicos

Este sistema de laje origina-se das lajes nervuradas e lajes nervuradas mistas, onde seu componente de enchimento pode ser blocos cerâmicos ou EPS, além do concreto, capa de concreto. Essa laje conta com um processo de solidarização dos elementos, além de resistir aos esforços de compressão, oriundos da flexão. Na Figura 11 há um exemplo de laje pré-moldada com nervuras e blocos cerâmicos.

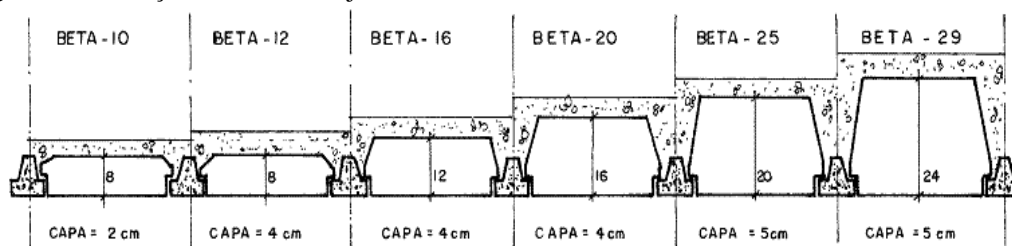
Figura 11 - Esquema de laje pré-moldada com nervuras e blocos cerâmicos



Fonte: (Mãos a Obra – ABCP)

Os resultados das variadas alturas de lajes se dão devido as diferentes alturas dos blocos de enchimento em conjunto à espessura da capa de concreto. As diferentes larguras dos blocos de enchimento proporcionam variados intereixos das vigotas, sendo as mais usuais $\beta 10$ para forros, $\beta 12$ para pisos (MILITO, 2009, p. 95), como mostra a Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Variação de altura de lajes nervuradas



Fonte: (MILITO, 2009, p. 95)

Milito (2009, p. 95) descreve ainda que “[...] este tipo de laje é composto por vigotas e blocos cerâmicos e contam com uma solidarização de uma capa de concreto de 4 cm de espessura”.

A vantagem deste tipo de laje é a rapidez na execução e a dispensa de formas. Com vãos variando entre 4 a 8 metros, podendo chegar a 15 metros, (MILITO, 2009, p. 99).

Contudo pode-se distinguir que a desvantagem deste tipo de laje é o material de preenchimento cerâmico ou EPS, que devido a sua fragilidade pode se quebrar no transporte, na colocação ou no lançamento do concreto.

Portanto, os sistemas de lajes pré-fabricadas quando aplicados em estruturas metálicas, tornam-se sistemas competitivos, pois ambos os processos são industrializados, o que dinamiza a execução da obra, retornando ao empreendedor um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e rapidez no retorno do capital investido.

3.3.1.1 Procedimento de Montagem da Laje Pré-Moldada com Nervuras e Blocos

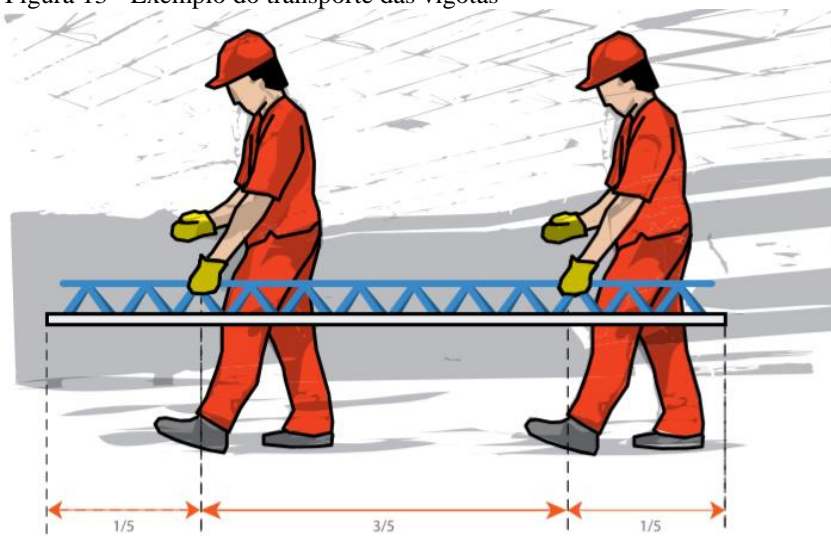
Segundo a ABNT NBR 6118:2014 e o Manual Técnico de Lajes Treliçadas, o procedimento de montagem pode ser como descrito nos tópicos abaixo.

3.3.1.1.1 Transporte e Manuseio

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, o transporte e o posicionamento dos pontos de içamento (Figuras 14 e 15) das vigotas são fundamentais para garantir a integridade dos fios superiores, pois são eles que irão garantir a integridade ao sistema. É, portanto, desaconselhável transportar as vigotas pela extremidade.

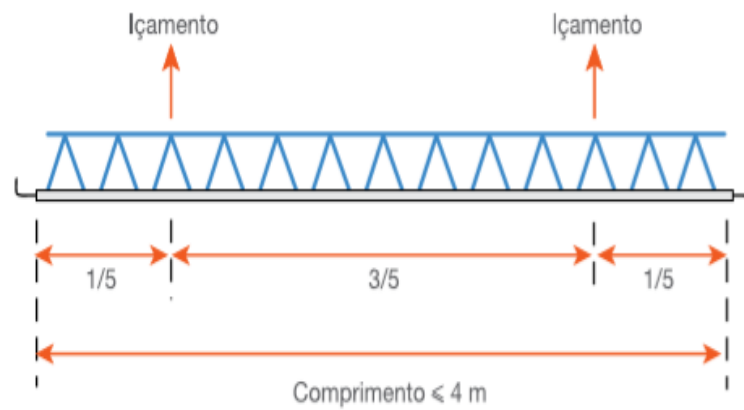
O ideal é transportá-las de maneira que o içamento seja feito em dois pontos a 1/5 do vão a partir da extremidade, ou em três pontos, sendo um no meio do vão e outros dois também a 1/5 do vão, a partir da extremidade, assim como mostra a Figura 13 abaixo.

Figura 13 - Exemplo do transporte das vigotas



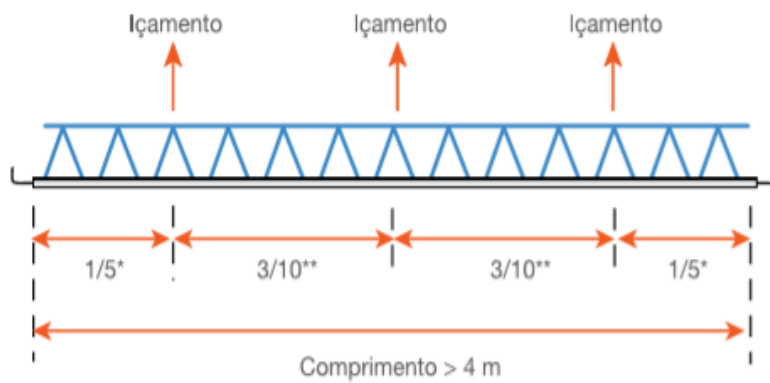
Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Figura 14 - Içamento para vãos de até quatro metros



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Figura 15 - Içamento para vãos maiores que quatro metros

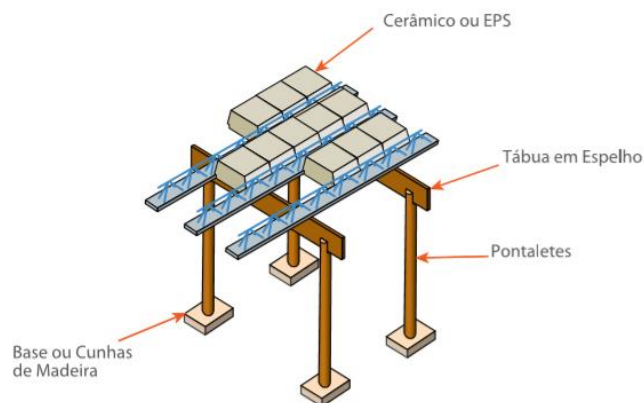


Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.2 Escoramento Madeira

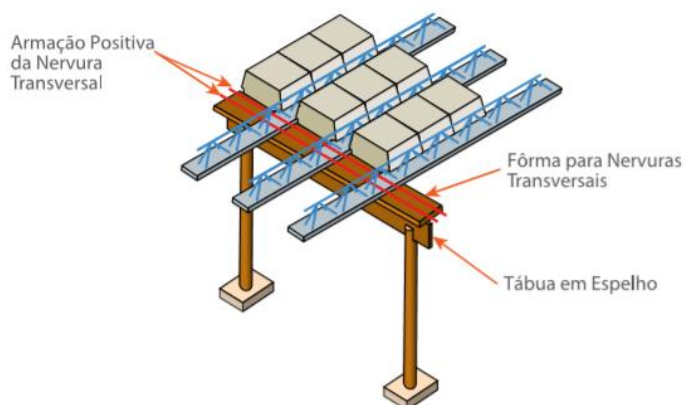
Segundo a ABNT NBR 6118:2014, antes da colocação das vigotas ou pré-lajes é necessário o correto posicionamento das linhas de escoras e formas para as nervuras transversais (se for o caso) às vigotas, de acordo com os detalhes das Figuras 16 e 17 abaixo.

Figura 16 - Escoramento de madeira



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Figura 17 - Formas para nervuras transversais de travamento

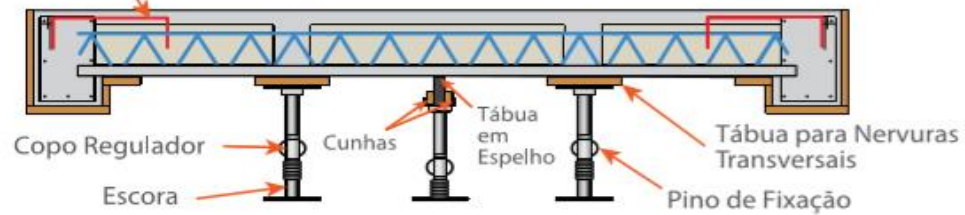


Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.3 Escoramento Metálico

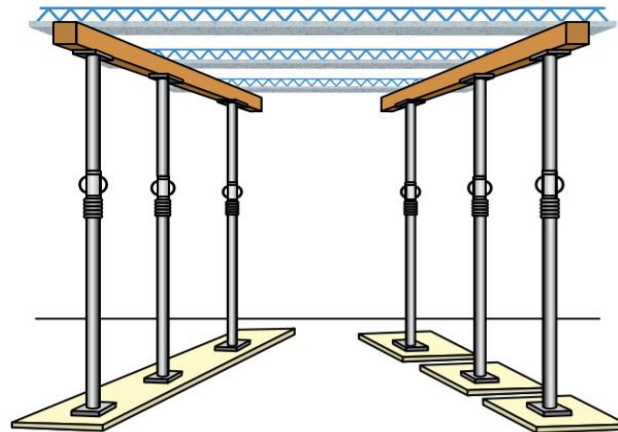
O escoramento com formas metálicas deve ser feito como mostram os detalhes das Figuras 18 e 19 abaixo, segundo o Manual Técnico de Lajes Treliçadas e a ABNT NBR 6118:2014.

Figura 18 - Escoramento metálico
Ferro Negativo



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Figura 19 - Detalhe do escoramento metálico



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

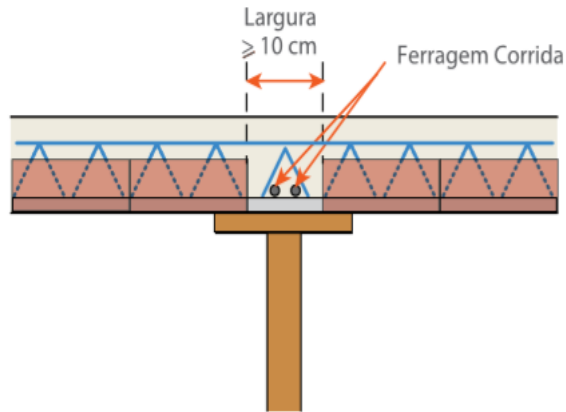
Para todo tipo de escoramento deve-se certificar de que ele esteja apoiado sobre uma base firme e tenha a altura necessária para possibilitar a contraflecha da laje treliçada regulada através do copo regulador ou cunhas de madeira.

3.3.1.1.4 Nervuras Transversais

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, no caso de lajes armadas em uma direção adota-se a colocação de nervuras secundárias de travamento, ortogonais às nervuras principais, quando o vão teórico for superior a 4 metros, e exigindo, no mínimo, duas nervuras se esse vão ultrapassar 6 metros, como mostram as Figuras 20 e 21 abaixo.

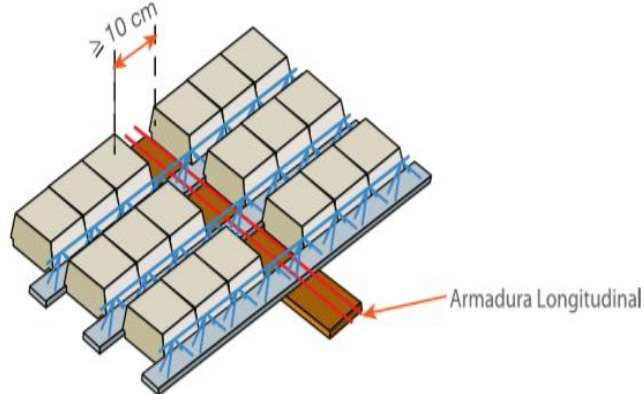
Para solução em lajes nervuradas em duas direções, será definido pelo cálculo o espaçamento entre as nervuras principais e as secundárias.

Figura 20 - Nervuras secundárias de travamento



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Figura 21 - Afastamento dos blocos de enchimento

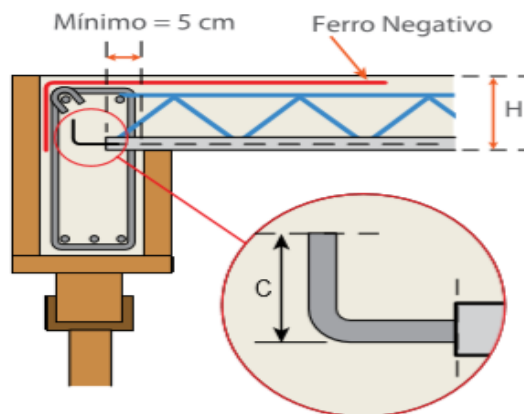


Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.5 Posicionamento das Armaduras em Serviço

Devem ser observadas as condições de apoio das vigotas obedecendo às dimensões mínimas que deverão ter nos apoios, bem como o comprimento de ancoragem da armação adicional, como na Figura 22 e Tabela 02 abaixo.

Figura 22 - Comprimento de ancoragem



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

Devem-se utilizar ganchos se não houver espaço para ancoragem da armação adicional reta dentro da viga. Para a realização das dobras dos ganchos devem-se utilizar pinos para o dobramento adequado de acordo com as recomendações da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 2 - Comprimento dos ganchos de ancoragem

Ø Diâmetro da armação adicional (mm)	Comprimento vertical do gancho (cm)
4,2	5
5	6
6	8
7	9
8	10
10	12
12,5	14
16	18

Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.6 Colocação do Elemento de Enchimento (bloco cerâmico ou EPS)

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, devem ser observadas as dimensões mínimas dos seus apoios nas vigotas e nas extremidades (primeira linha de enchimento apoiando um lado nas cintas de amarração ou nas vigas).

A sequência dos elementos de enchimento, como mostra a Figura 23 abaixo, deve ser da seguinte forma:

- Executar fileiras ortogonais ao sentido das vigotas, iniciando-se pelas duas fileiras mais externas e caminhando para o meio da laje.
- Deve-se tomar cuidado para manter o esquadro e evitar folgas entre os enchimentos.

Esse procedimento é essencial para a uniformidade da seção das nervuras e principalmente para o posicionamento das nervuras de travamento.

Figura 23 - Sequência de montagem dos blocos de enchimento



Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.7 Armadura Complementar

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, na fase de projeto devem ser detalhadas as armaduras negativas que irão reforçar as regiões de momento negativo, como é feito normalmente nas lajes maciças. O posicionamento dessas armaduras deve ser sempre na região das vigotas.

A armadura de distribuição deve ser colocada na capa da laje, pois ela será responsável pelo controle da fissuração na retração do concreto e pelo reforço na distribuição das cargas pontuais. A armadura de distribuição não deve ser amarrada no fio superior da treliça; o seu posicionamento correto deve ser no meio da capa (ABNT NBR 6118:2014).

3.3.1.1.8 Concretagem

A resistência (f_{ck}) do concreto deve ser maior ou igual ao indicado no projeto.

Para caminhar sobre a laje recém-concretada deve-se utilizar tábuas. Durante os três primeiros dias após o lançamento do concreto, a superfície da laje deve ser umedecida para que inicie o processo de cura do concreto (ABNT NBR 6118:2014). A Figura 24 abaixo demonstra como deve ser feito o procedimento de concretagem.

Figura 24 - Concretagem da laje nervurada



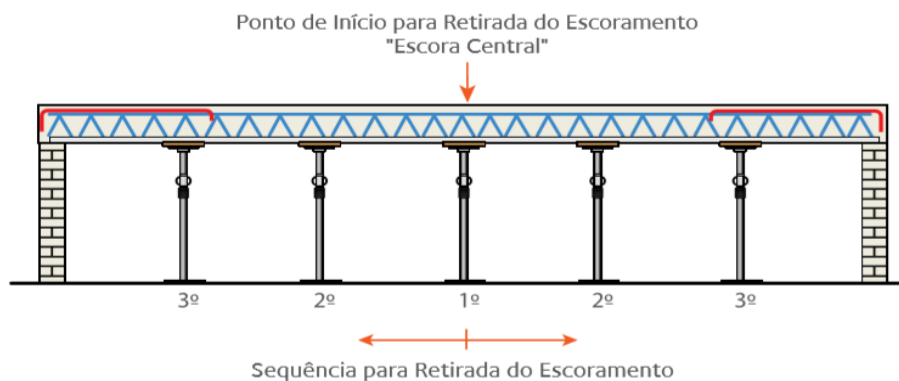
Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.3.1.1.9 Descimbramento

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a desforma não deve ser feita antes de 18 dias da concretagem. Em edifícios de múltiplos pisos não deve ser retirado o escoramento do piso inferior antes de terminar a execução da laje imediatamente superior, e nas lajes treliçadas de forro não deve ser retirada o escoramento antes de o carpinteiro terminar o serviço de cobertura do telhado. O escoramento deve ser retirado sempre do centro para as extremidades.

A Figura 25 abaixo mostra como deve ser a sequência de retirada do escoramento para lajes biapoiadas.

Figura 25 - Retirada do escoramento em lajes biapoiadas

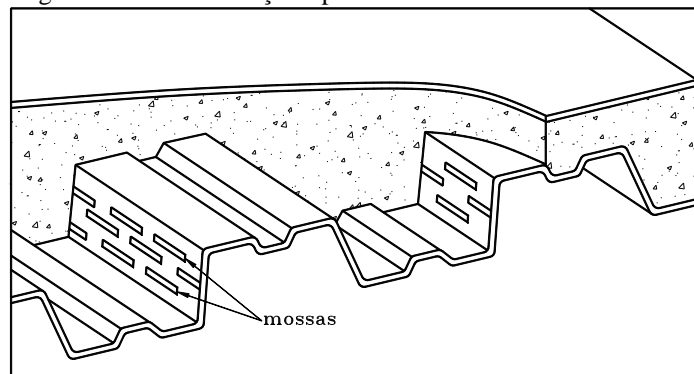


Fonte: (Manual técnico de lajes treliçadas)

3.4 Laje Mista (*steel deck*)

A laje mista ou laje com forma de aço incorporada é um sistema composto por uma forma de aço galvanizado e uma camada de concreto, conforme a Figura 26. Segundo a ABNT NBR 8800:2008 o aço é um excelente material para se trabalhar a tração, e é utilizado no formato trapezoidal que serve como forma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço.

Figura 25 - Forma de aço trapezoidal



Fonte: (ABNT NBR 8800, 2008, p. 211)

A capacidade deste sistema de laje é influenciada principalmente pela geometria da forma metálica e pela sua transferência mecânica ao cisalhamento com o concreto.

Conforme Brendolan (2007), o sistema de lajes mistas apresentam algumas vantagens, dentre elas podem se destacar:

- Para vãos entre 3 metros, dispensa-se o uso de escoramento;
- Redução de desperdício de material;
- Facilidade de execução e velocidade no processo de instalação;
- Facilidade de passagem de dutos e fixação de forros;
- Redução da armadura de tração na região de momentos positivos.

Em vista disso, por todas as vantagens já citadas, o sistema de lajes mistas *steel deck* resulta em construções mais eficientes, baratas e seguras, através da agilidade na execução, da diminuição do desperdício de materiais e da melhoria da organização no canteiro de obras. Portanto, o lucro proporcionado pelo empreendimento pode ser aumentado em grande escala, com isso tornou-se um sistema muito utilizado na construção civil dos Estados Unidos e da Europa (SANTOS, 2009).

No entanto algumas desvantagens ainda podem ser citadas, como:

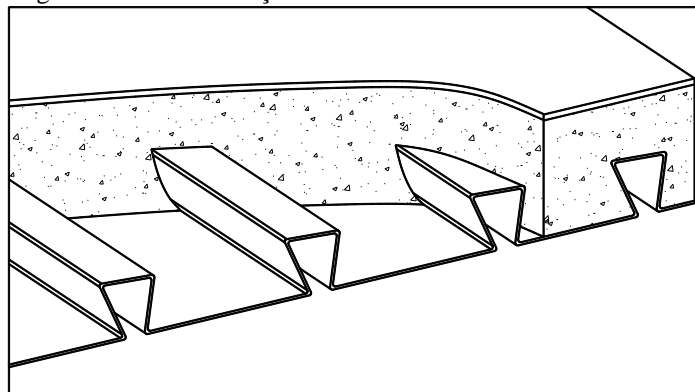
- Necessidade de forros suspensos por uma questão estética, de forma que evite a mostrar a chapa metálica;

- Maior quantidade de vigas secundárias, caso não seja utilizado o sistema escorado ou formas de grande altura, devido as limitações do vão no processo de cura do concreto.

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, p. 211, atualmente, o mecanismo mais usual para obter a transferência mecânica é o emprego de saliências ou mossas, estampadas nas partes inclinadas ou planas da forma metálica, como mostrado na Figura 26 acima. As características das saliências, tais como, a geometria e profundidade, influem na resistência ao cisalhamento horizontal do sistema de lajes mistas.

Outra forma adotada para se obter a transferência mecânica é aumentando a resistência do entrelaçamento do aço e concreto nas corrugações existentes na chapa metálica, por meio do confinamento do concreto nessa região, Figura 26.

Figura 26 - Forma de aço reentrante



Fonte: (ABNT NBR 8800,2008, p. 211)

No caso de uma laje mista *steel deck*, a combinação da chapa de aço e do concreto aproveita cada uma das vantagens desses materiais. Com a introdução dos conectores de cisalhamento, que são elementos de custo relativamente baixo, e das armaduras, pode-se considerar que o conjunto formado por esses elementos trabalha com grande eficiência. A seguir, o concreto, a chapa de aço, os conectores de cisalhamento e as armaduras, que compõem as partes constituintes do sistema, são descritas.

3.4.1 Procedimento de montagem da laje mista (*steel deck*)

O procedimento de montagem para este tipo de laje pode ser dividido em tópicos, conforme segue abaixo, devido à suas características construtivas apresentarem particulares em relação às lajes maciças e nervuradas.

3.4.1.1 Concretagem

As principais propriedades do concreto, utilizado em lajes mistas *steel deck*, segundo Deliberato (2006, p. 23-24) são:

- Massa específica igual a 25 kN/m³ (podendo diminuir até 17 kN/m³ quando se utiliza agregados leves);
- Coeficiente de dilatação térmica à temperatura ambiente igual a 10⁻⁵m/m/°C;
- Resistência característica à compressão (f_{ck}) na faixa usual de 20 a 40 Mpa;
- Para evitar agressão à chapa de aço, não deve conter aditivos à base de cloretos na sua dosagem;
- Coeficiente de Poisson nominal igual a 0,2, mas caso seja admitido que o concreto tracionado esteja fissurado, o valor considerado é igual a 0.

O concreto utilizado em lajes mistas *steel deck* é moldado in loco, podendo ser armado ou não. Conforme a ABNT NBR 8800:2008, p. 220, a espessura do concreto sobre a fôrma deve ser de no mínimo 50 mm e a dimensão máxima característica dos agregados graúdos utilizados nesse tipo de laje não deve exceder aos valores descritos nessa Norma.

3.4.1.2 Chapa de Aço

Conforme descreve Deliberato (2006, p. 21), as chapas de aço são constituídas principalmente por uma liga ferro-carbono e outros elementos adicionais. No caso dos perfis e chapas das fôrmas metálicas, o aço é laminado; para os parafusos e conectores, o aço é tratado termicamente; e para barras e fios, o aço pode ser laminado ou trefilado.

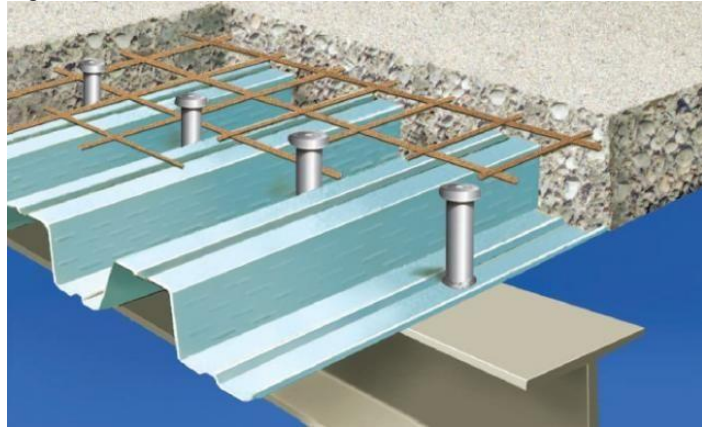
As chapas utilizadas em estruturas como o *steel deck* são muito finas, com espessuras que variam de 0,80 mm a 1,25 mm, (DELIBERATO, 2006, p. 22). Essas chapas, que funcionam também como fôrma metálica das lajes mistas, possuem saliências e reentrâncias, mais conhecidas como mossas (Figura 26), com a finalidade de obter maior aderência entre o aço e o concreto. A resistência ao cisalhamento horizontal é influenciada pelas características, tais como geometria e profundidade, das mossas, e cada fabricante de fôrma desenvolve um padrão conveniente, que deve ter sua eficiência comprovada (CAMPOS, 2001, p. 2).

3.4.1.3 Conectores de Cisalhamento

Os conectores de cisalhamento são aplicados nas vigas suporte. Se bem dimensionados, eles garantem a absorção do cisalhamento nas duas direções e impedem o afastamento vertical entre a laje e a viga de aço, pois promovem a ligação entre estes elementos. Os mais utilizados em lajes mistas são os flexíveis do tipo pino com cabeça (*stud bolt*), pois são de simples fabricação (processo de soldagem semiautomático) e

apresentam a mesma resistência em todas as direções (ALVA, 2000). Segundo Saúde et al (2006, p. 3-4), os conectores *stud bolt* são soldados através de uma pistola automática, e se inicia o processo quando a base do pino encosta na mesa superior do perfil, quando então se aperta o gatilho da pistola, fazendo assim a ligação entre a laje e a viga (Figura 27).

Figura 27 - Stud bolt



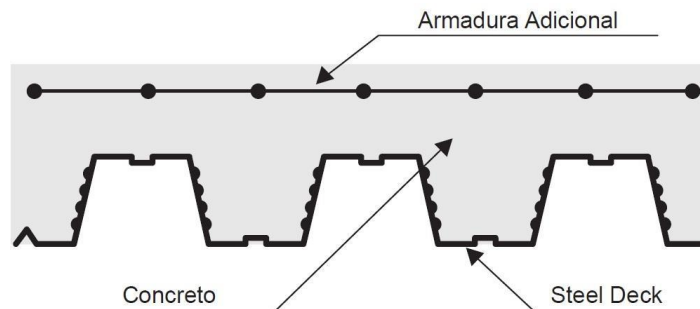
Fonte: (studbolt.com.br)

Deliberato (2006, p. 25) afirma que dependendo dos custos relativos à aquisição, instalação e movimentação dos equipamentos, o uso dos conectores de cisalhamento é determinado ou não, principalmente em obras de pequeno porte, podendo ser substituído pela simples soldagem entre as chapas adjacentes.

3.4.1.4 Armaduras

Conforme Deliberato (2006, p. 24), “[...] são empregadas telas de aço soldadas, na parte superior da capa de concreto, visando controlar o aparecimento de fissuras provocadas por variação térmica e por retração no concreto. Essas telas são denominadas de armadura complementar [...]”, como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Corte esquemático da posição da armadura



Fonte: (GRUPO ZÊNITE, 2011)

Segundo Saúde et al (2006, p. 5-6), essa armadura complementar normalmente é do

tipo em malha em forma quadrada e de pequeno diâmetro (Figura 29), que atua principalmente na direção normal das vigas e cumpre as finalidades de:

- Atuar como uma armadura transversal, para evitar a fissuração ao longo do alinhamento de conectores;
- Obter uma resistência à flexão nos apoios da laje, no caso da ocorrência de fogo;
- Ajudar na redução da fissuração nos apoios;
- Controlar a fissuração sobre as vigas e apoios da laje, no caso de ambientes agressivos.

Os mesmos autores recomendam que:

[...] devem ser colocadas armaduras superiores em lajes de espessura reduzida a uma distância de 20 mm, suportadas sobre a superfície superior da chapa. Na prática, tendo em conta as sobreposições, a malha deve situar-se entre os 20 e os 45 mm da face superior da chapa. A sobreposição deve ser no mínimo de 300 mm no caso de malha leve e 400 mm para malha pesada.

Figura 29 - Detalhe das armaduras em uma laje mista



Fonte: (METFORM SA, 2010)

Segundo ABNT NBR 8800:2008, p. 219:

Para lajes calculadas como simplesmente apoiadas, deve-se colocar armadura para combater os efeitos de retração e temperatura com área não menor que 0,1 % da área de concreto acima da face superior da fôrma. Essa armadura deve ser colocada preferencialmente a 20 mm abaixo do topo da laje. Atenção especial deve ser dada a possibilidade de fissuração da laje nos locais onde possa haver tendência de continuidade dos elementos estruturais, como por exemplo, nas ligações de vigas secundárias com vigas principais e em relação a pilares.

3.5 Orçamento de Obra

3.5.1 Levantamento de Custo Direto (CD)

Segundo Tisaka (2006) são chamados de custos diretos todos os custos relacionados diretamente na produção da obra, que são os insumos constituídos por mão de obra, equipamentos e materiais, somada toda a infraestrutura de apoio. Todo o custo levantado pode ser apresentado em uma planilha de custos diretos, em que fazem parte os quantitativos de todos os serviços e respectivos custos, custos de preparação do canteiro de obras, contendo mobilização e desmobilização e custo de administração local. É a primeira parte a ser considerada no orçamento de uma obra, sendo as despesas ou custos diretos (CD).

Estes custos são representados em planilha, na qual fazem parte os seguintes itens:

- Quantitativos de todos os serviços e respectivos custos obtidos através da composição de custos unitários;
- Custo de preparação do canteiro de obras, sua mobilização e desmobilização;
- Custos da administração local com previsão de gastos com o pessoal técnico (encarregado, mestre, engenheiro, etc), administrativos (encarregado do escritório, de higiene e segurança, apontador, escriturário, motorista, vigia, porteiro, etc.) e de apoio (almojarife, mecânico de manutenção, enfermeiro, etc).

Para o cálculo dos custos de mão-de-obra é necessário acrescentar aos salários todos os encargos sociais, básicos, incidentes e reincidentes e complementares (alimentação, transportes, EPI e ferramentas), que são encargos obrigatórios que incidem sobre os trabalhadores e determinados pela legislação trabalhista específica.

3.5.2 Cálculo do Custo Direto (CD)

Segundo Tisaka (2006, p. 39), custo direto de uma obra é a somatória de todos os custos dos materiais, equipamentos e mão-de-obra aplicados diretamente em cada um dos serviços na produção de uma obra ou edificação qualquer, incluindo-se todas as despesas de infraestrutura necessárias para a execução da obra.

O cálculo do custo direto deve seguir algumas etapas fundamentais, tais como segue abaixo:

- Ter em mãos o projeto básico ou executivo, assim como o projeto complementar como os de instalações elétrica e hidráulica, além do memorial descritivo;

- Listar todos os serviços envolvidos e coloca-los em grupos seguindo uma ordem lógica;
- Colocar dados em planilha, itemizando cada serviço, criando colunas onde conste o item, discriminação, quantidade, unidade, preço unitário, preço do item e subtotal;
- Levantamento de quantitativo de cada serviço e suas respectivas unidades de medida;
- Calcular os custos unitários de cada serviço;
- Listar todos os materiais que constam na composição de custos unitários da TCPO e cotar seus preços de mercado;
- Determinar o valor do salário de cada trabalhador, visando sua especialidade;
- Definir a taxa de leis sociais, calculando os encargos complementares através das formulas para alimentação, transporte, e definir o custo horário para cada trabalhador;
- Cotar os preços de aluguel dos equipamentos;
- Com esses dados, calcular os custos unitários dos serviços através da utilização da composição de custos unitários;
- Obter o custo de cada serviço através de planilha;

Assim, somados todos os custos diretos dos serviços, obtém-se o custo direto da obra (CD).

3.5.3 Custo Unitário

É a quantidade de material, de horas de equipamento e o número de horas de pessoal gastos para a execução de cada unidade desses serviços, multiplicados respectivamente pelo custo dos materiais, do aluguel horário dos equipamentos e pelo salário-hora dos trabalhadores, devidamente acrescidos dos encargos sociais, (TISAKA, 2006, p.39).

- Materiais: aqueles utilizados para a composição dos custos unitários podem se apresentar de forma natural, como areia a granel, semi processadas como brita e madeira, industrializados como cimento, aço de construção, fios elétricos, cerâmicas, produtos acabados para instalações hidráulicas e elétricas, (TISAKA, 2006, p. 39).

Esses materiais podem ser representados por unidades de medida, em volumes, em áreas, em comprimentos, em pesos e em sacos. O custo dos materiais deve ser considerado "posto obra", isto é, com o frete incluído, se o fornecedor não entregar na obra sob suas expensas, e levados em conta todos os impostos e taxas que incidirem sobre o produto.

- Equipamentos: o custo horário do transporte e movimentação dos materiais e pessoas dentro da obra, tais como elevadores, guias, caminhões, escavadeiras, tratores, podem ser de propriedade do construtor ou alugado no mercado e geralmente incluem o custo horário dos operadores (TISAKA, 2006, p. 40).

Quando os equipamentos são de propriedade do construtor, são considerados a depreciação dos mesmos, juros do capital investido na compra, óleo, combustível e os custos de manutenção com reposição de peças e outras despesas eventuais.

- Mão-de-Obra: O custo deste item é representado pelo salário dos trabalhadores que manuseiam os materiais, acrescidos dos encargos sociais e outras despesas que envolvem a participação dos trabalhadores na obra (TISAKA, 2006, p. 40).

Os operários da produção são em geral remunerados pelas horas trabalhadas em função das características do trabalho que muitas vezes exigem um prolongamento ou redução na carga de trabalho.

$$\text{Custo de mão-de-obra} = \text{salário} + \text{encargos sociais}$$

Nos custos de mão-de-obra, além das Leis Sociais, devem também ser computados os encargos referentes às despesas de alimentação, transporte, EPI (equipamento de proteção individual) e ferramentas de uso pessoal.

3.5.4 Leis Sociais

Durante a orçamentação de um serviço, cabe ao construtor atribuir à hora de cada insumo de mão de obra o custo que ele realmente representa para a empresa. O custo de um operário para o empregador não se confunde com o valor das horas trabalhadas. É um valor bastante superior. Isso porque não é só o salário que constitui o ônus do empregador - este arca com diversos encargos sociais e trabalhistas impostos pela legislação e pelas convenções do trabalho, que se somam ao salário-base ao qual o funcionário faz jus. (MATTOS, 2006).

Os encargos sociais são calculados em função do regime de trabalho, sendo mensalista ou horista. (ÁVILA e JUNGLES, 2006).

No Quadro 1 abaixo se pode observar os valores para regime de trabalho mensal ou por hora trabalhada, segundo Tisaka (2006, p. 40-41-42).

Quadro 1 – Encargos Sociais

QUADRO DE ENCARGOS SOCIAIS				
ENCARGOS SOCIAIS E TRABALHISTAS	MENSALISTA		HORISTA	
	sem desoneração	com desoneração	sem desoneração	com desoneração
COMPONENTES	%	%	%	%
GRUPO A	31,20	11,20	31,20	11,20
A1 - Previdência Social - INSS	20,00	0,00	20,00	0,00
A2 - Fundo Garantia por Tempo Serviço - FGTS	8,00	8,00	8,00	8,00
A3 - Salário educação	2,50	2,50	2,50	2,50
A4 - SESI	1,50	1,50	1,50	1,50
A5 - SENAI	1,00	1,00	1,00	1,00
A6 - SEBRAE	0,60	0,60	0,60	0,60
A7 - INCRA	0,20	0,20	0,20	0,20
A4 - Seguro contra acidente trabalho (INSS)	3,00	3,00	3,00	3,00
A5 - Serviços Social da Indústria da Construção	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPO B	8,22	8,22	39,17	39,17
B5 - Repouso semanal e férias	0,00	0,00	22,90	22,90
B6 - Auxílio enfermidade	0,00	0,00	0,79	0,79
B7 - Licença paternidade	0,00	0,00	0,34	0,34
B8 - 13.º Sálario	8,22	8,22	10,57	10,57
B9 - Dias chuvas/falta justificada obra/outras dificuldades/ac. Trabalho	0,00	0,00	4,57	4,57
GRUPO C	25,45	25,45	32,74	32,74
C - Depósito por despedida injunta 50 % sobre ((A2+(A2xB))	4,32	4,32	5,56	5,56
C2 - Férias (indenizadas)	10,93	10,93	14,06	14,06
C3 - Aviso-prévio (indenizado)	10,20	10,20	13,12	13,12
INCIDÊNCIAS CUMULATIVAS D:	6,86	6,86	19,64	19,64
D13 - Reincidência de A sobre B	3,11	3,11	14,81	14,81
D14 - Reincidência de (A-INCRA) sobre C3	3,75	3,75	4,83	4,83
GRUPO E				
E15 - Vale transporte				
E16 - Refeição (Cesta básica)				
E17 - EPI's (Equipamento Proteção Individual)				
T O T A L	71,73	51,73	122,75	102,75

Fonte: (TISAKA, 2006, p. 40-41-42)

Notas:

- Vale-Transporte: considerada redução de 6% sobre o salário/mês, pois os empregadores obrigam-se a custear apenas o seu excedente.
- Refeição mínima: considerada dedução de 1% sobre o salário/hora por dia útil trabalhado, relativo ao custeio da refeição mínima por parte do trabalhador.

- Refeições: considerado um limite mínimo de 95% para os custos subsidiados pelos empregadores.
- Dias úteis: foram considerados 22 dias úteis por mês.

Observações:

- As taxas de Leis Sociais e Riscos do Trabalho para horistas estão consideradas e calculadas de modo a exprimir as incidências e reincidências dos encargos sociais, e a percentagem total é a adotada nas Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) da PINI, ou seja, é a taxa que incide sobre as horas normais trabalhadas (de produção).
- As taxas de Leis Sociais e Riscos do Trabalho para mensalistas estão consideradas e calculadas de modo a exprimir as incidências e reincidências dos encargos sociais e a percentagem total adotada incide sobre a folha de pagamento.

3.5.4.1 Cálculo dos Encargos Complementares

Segundo Tisaka (2006, p. 42), tem-se:

$$\text{Vale Transporte: } VT = \left[\frac{2 \times C1 \times N - (S \times 0,006)}{S} \right] \times 100$$

$$\text{Vale Café da Manhã: } VC = \left[\frac{C2 \times N - (0,033 \times S + 22) \times 0,01}{S} \right] \times 100$$

$$\text{Vale Almoço ou Jantar: } VR = \left[\frac{C3 \times N \times 0,95}{S} \right] \times 100$$

Sendo:

C1 = tarifa de transporte urbano;

C2 = custo do café da manhã;

C3 = Vale-Refeição - definido em Acordo Sindical;

N = número de dias trabalhados no mês;

S = salário médio mensal dos trabalhadores.

3.5.4.2 Cálculo dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Segundo Tisaka (2006, p. 43), tem-se:

$$EPI = \left[\frac{\sum_1^n P1 \times F1 + P2 \times F2 + P3 \times F3 + \dots PN \times FN}{\frac{N}{S}} \right]$$

De acordo com o Art. 166 da CLT, o NR-6 e o NR-18 da Lei nº 6.514/77, a empresa está obrigada a fornecer EPI aos empregados. Aplicando-se a fórmula considerando custo médio mensal por operário de R\$ 30,00, chega-se à taxa de EPI = 5,00%.

3.5.4.3 Ferramentas Manuais

Segundo Tisaka (2006, p. 43), tem-se:

$$FM = \left[\frac{\sum_1^n P1 \times F1 + P2 \times F2 + P3 \times F3 + \dots PN \times FN}{\frac{N}{S}} \right] \times 100$$

A empresa obriga-se a fornecer as ferramentas manuais necessárias para a execução dos serviços. Aplicar a fórmula considerando o custo médio mensal por operário de R\$ 12,00: S = R\$ 600,00; taxa de FM = 2,0%.

Sendo:

N = número de trabalhadores na obra;

S = salário médio mensal;

P1, P2, P3,..Pn = Custo de cada um dos EPI ou de ferramentas manuais;

F1, F2, F3,..Fn = Fator de utilização do EPI ou de ferramentas manuais, dado pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{t}{12 \times VU}$$

Sendo:

t = tempo de permanência do EPI ou da Ferramenta à disposição da obra;

VU = Vida útil do EPI ou Ferramenta manual em meses.

3.5.5 Composição do Custo Unitário

Como já mencionado anteriormente, os custos diretos de uma determinada obra são a somatória dos custos unitários de todos os serviços específicos, multiplicados pelas suas respectivas quantidades.

Para o cálculo dos custos unitários é necessário que conheçamos a sua composição, isto é, quanto de material vai ser utilizado, número de horas de pessoal qualificado e não qualificado e o número de horas de equipamento a ser utilizado, por unidade desses serviços (TISAKA, 2006, p. 43).

A literatura mais conhecida é a TCPO-Tabela de Composição de Preços da PINI, onde podem ser encontrados os parâmetros de quantitativos e horas necessárias para as composições dos principais serviços utilizados na construção civil e predial.

3.5.6 BDI

O Benefício de Despesas Indiretas, ou BDI, tem como objetivo calcular, de forma expedita, o preço de uma obra ou serviço, em função dos custos diretos orçados, de forma a garantir a margem de lucro desejado (MUTTI, 2008).

Segundo Ávila e Jungles, é importante lembrar que o BDI é composto também pelos custos administrativos e financeiros da empresa em questão, do lucro desejado, do risco do empreendimento e dos tributos ao qual o processo está sujeito, concluindo que cada empresa deve ter seu próprio BDI, considerando suas particularidades.

O BDI é aplicado no custo direto, para a obtenção do preço final de venda. Pode ser calculado através da fórmula do Acórdão do TCU nº 2622/2013, como segue:

$$BDI = \frac{(1 + AC + S + R + G)x(1 + DF)x(1 + L)}{1 - I} - 1$$

Onde:

- AC: Taxa da administração central = Custo mensal ou anual da sede dividido pelo Custo total mensal ou anual da empresa;
- S: Taxa de seguros = é função do contrato e varia de engenheiro para engenheiro. Costuma adotar-se 1%;
- R: Taxa de riscos = Projeto executivo: 5%, projeto básico: 10% - 15%, viabilidade: 25% - 30% , ordem de grandeza: 35%;

- G: Taxa de garantias = para o caso de obras públicas é dada uma carta caução no valor de 0,3% à 0,5% do valor do contrato. Adota-se 1%;
- DF: Taxa de despesas financeiras;
- L: Taxa de lucro;
- I: Taxa de incidência de impostos (despesas tributárias).

3.5.6.1 Despesas Financeiras

Pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$DF = \left[\left(\frac{1 + T}{100} \right)^{\frac{n}{30}} - 1 \right] \times 100$$

Onde:

T: taxa de juros de mercado, ao mês;

n: número de dias entre o desembolso e o efetivo recebimento (entre 40 e 45 dias geralmente).

3.5.6.2 Lucro

Deve-se considerar o lucro bruto, o qual pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$LB = LL + IRPJ + CSLL$$

Onde:

- LL: Lucro líquido = O TCU estipula valores que variam entre 6,91% e 8,93%;
- IRPJ: Considerar 1,2% para lucro presumido e 1,2% a 2% para lucro real, variando conforme o lucro anual;
- CSLL: Considerar 1,08% para material e mão-de-obra e 2,88% para mão-de-obra.

3.5.6.3 Despesas Tributárias

Como toda atividade produtiva, a construção é onerada por impostos, que são vários. A administração federal, estadual e municipal - têm seus impostos que incidem sobre a obra (MATTOS, 2006).

Havendo inabilidade gerencial na avaliação da incidência dos tributos sobre o faturamento e sobre o lucro, poderá ocorrer o pagamento de tributos em valor superior ao

efetivamente devido ou previsto, bem como o recebimento de importâncias inferiores às esperadas, dado a incidência de recolhimento na fonte (MUTTI, 2008).

O Quadro 2 retrata onde cada imposto incide na construção.

Quadro 2 – Despesas Tributárias

IMPOSTO	COMPETENCIA	REGIME DE TRIBUTAÇÃO	
		LUCRO REAL	LUCRO PRESUMIDO
COFINS	FEDERAL	3,0% sobre o preço de venda	3,0% sobre o preço de venda
PIS	FEDERAL	0,65% sobre o preço de venda	0,65% sobre o preço de venda
CPMF	FEDERAL	0,38% sobre o preço de venda	0,38% sobre o preço de venda
ISSQN	MUNICIPAL	Alíquota municipal	Alíquota municipal
IRPJ	FEDERAL	15% sobre o lucro real (se < R\$ 20.000,00 por mês). 25% sobre o lucro real (se > R\$ 20.000,00 por mês)	1,2% sobre o preço de venda
CSLL	FEDERAL	9,0% sobre o lucro real	1,08% sobre o preço de venda

Fonte: (MATTOS, 2006)

3.5.7 Método de Estimativa de Custo Utilizando o Indicador CUB

O CUB (Custo unitário básico) é o custo por metro quadrado de construção do projeto padrão considerado, calculado de acordo com a metodologia estabelecida pela ABNT NBR 12721 (ABNT, 2006), pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil (Sinduscon) em atendimento a Lei 4591 (Brasil, 1968), e que serve de base para a avaliação de parte dos custos de construção de edificações. Está baseado no conceito de projetos padrões para os quais são calculados mensalmente os custos pelos Sinduscons e o custo do projeto a ser executado se dá pela multiplicação da área do empreendimento pelo referido CUB de mesmo padrão publicado pelo Sinduscon.

Knolseisen (2003) afirma que grande parte das empresas da construção civil utiliza o CUB como unidade de referência, pelo fato de ser um índice que reflete a variação mensal dos custos da construção civil, esse indexador também é utilizado para o reajuste das prestações dos contratos de compra e venda de imóveis, lançados na planta ou em construção, até a entrega das chaves.

Para Mutti (2008), CUB constitui-se talvez dos parâmetros mais importantes derivados dos orçamentos, pois são os principais elementos de custo para embasar as avaliações.

3.6 Planejamento da Obra

Planejamento, segundo Ávila e Jungles (2006), é o processo que, utilizando técnicas científicas, tem por objetivo aumentar a eficiência, a racionalidade e a segurança dos projetos, através de previsões, programações, coordenação e controle dos resultados, a fim de atingir o objetivo.

Planejamento é um processo dinâmico e contínuo e envolve um conjunto de ações intencionais, voltadas para tornar realidade um objetivo futuro, de tal forma que possibilite a tomada de decisões antecipadas. Tais ações devem ser executadas considerando aspectos relativos a prazo, custo, desempenho, segurança e qualidade (ESCRIVÃO FILHO, 1998).

A programação de obras carece de um tratamento tão ou mais cuidadoso que o orçamento, pois são necessários conhecimentos profundos sobre o projeto, recursos financeiros disponíveis, prazos de compra e entrega de materiais, situação do mercado, disponibilidade de mão-de-obra, prazo global para o fim da obra e muitas outras informações.

De acordo com Assumpção (2003), o planejamento se divide em duas partes: a programação (elaborada geralmente com auxílio de softwares) e o controle, que é o levantamento em obra dos indicadores reais de produtividades e formação de equipes, de modo a retroalimentar a programação. Ao conjunto destes dois processos, dá-se o nome de planejamento.

3.6.1 Etapas do Planejamento da Obra

O planejamento de uma obra segue passos bem definidos. Em cada passo, coletam-se elementos dos passos anteriores e a eles se agrega algo (MATTOS, 2010).

As etapas de um planejamento podem ser sintetizadas da seguinte forma:

- Identificação das atividades;
- Definição das durações (prazos);
- Definição da precedência (otimização da programação);
- Montagem do diagrama de rede;
- Identificação do caminho crítico;
- Geração do cronograma.

3.6.2 Identificação das Atividades e a Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

Para se planejar uma obra é preciso subdividi-la em partes menores. Esse processo é chamado de decomposição. Por meio da decomposição, o todo - que é a obra em seu escopo integral - é progressivamente desmembrado em unidades menores e mais simples de manejar. Os grandes blocos são sucessivamente esmiuçados, destrinchados na forma de pacotes de trabalho menores, até que se chegue a um grau de detalhe que facilite o planejamento. (...) A estrutura hierarquizada que a decomposição gera é chamada de Estrutura Analítica do Projeto (Mattos, 2010).

Para a elaboração da EAP, é necessário que todas as atividades sejam identificadas. O Quadro 3 apresenta um exemplo de EAP.

Quadro 3 - Estrutura analítica do projeto

Etapa	Descrição da Etapa	Início da Etapa	Término da Etapa	Duração (Dias)
1	Serviços Preliminares	25-jul-19	8-ago-19	14
2	Alvenaria	11-ago-19	7-nov-19	88
3	Revestimento	12-nov-19	21-dez-19	39
4	Pintura	7-jan-20	28-jan-20	21
5	Instalações Hidráulicas	2-fev-20	19-fev-20	17
6	Instalações Sanitárias	23-fev-20	14-mar-20	19
7	Instalações Elétricas	19-mar-20	15-abr-20	27
8	Cobertura	25-mai-20	30-jun-20	36
9	Acabamentos	2-jul-20	25-ago-20	54

Fonte: (Adaptado de www.sienge.com.br)

3.6.3 Prazos

Após a identificação das atividades, deve-se definir a duração de cada uma delas. A definição da duração é de grande importância, pois a partir dela será definido o cronograma, obtendo assim as datas e os prazos do projeto.

Vale ressaltar que por maior que seja o esforço e o conhecimento do planejador, a duração das atividades é uma estimativa, devido a isso está sujeita a uma margem de erro, pois pode ser menor para as atividades repetidas, ou maiores para serviços novos (MATTOS, 2010).

O real valor de um planejamento e a confiança em que se pode depositar nele reside basicamente em dois parâmetros: duração e lógica (interdependência entre atividades) (MATTOS, 2010).

A duração é definida como a quantidade de tempo necessária para executar um determinado serviço ou tarefa, em minutos, horas, dias, semanas ou meses, sendo contabilizados somente os horários de trabalho de dias úteis. Para o planejamento de obras, as unidades de tempo mais comumente utilizadas são os dias, podendo-se utilizar semanas para obras muito longas, ou horas para obras mais curtas.

3.6.4 Otimização da Programação

Também após a definição das atividades, torna-se necessário estabelecer uma sequência lógica entre as mesmas, baseada na ordem em que elas ocorrem e qual a relação entre elas. A sequência gerada a partir destes critérios chama-se precedência.

Esse passo precisa ser bem executado, pois afeta profundamente o cronograma. Amarrar uma atividade a outra é uma das operações mais relevantes do planejamento. De nada vale uma EAP criteriosa se o planejador não definir uma sequência plausível e executável (MATTOS, 2010).

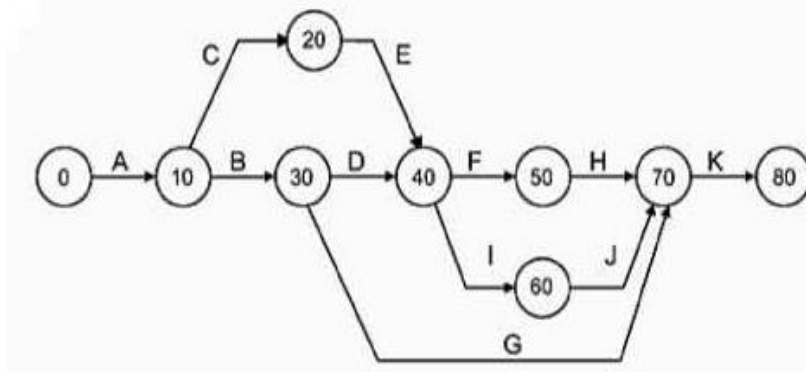
A lógica utilizada para dependências pode ser definida pelos seguintes fatores (ESCRIVÃO FILHO, 1998):

- Processo tecnológico (método, processo, fabricação e montagem);
- Relação de precedência preestabelecida empiricamente (experiência, costume, etc).

Segundo Mattos (2010), as dependências podem ser:

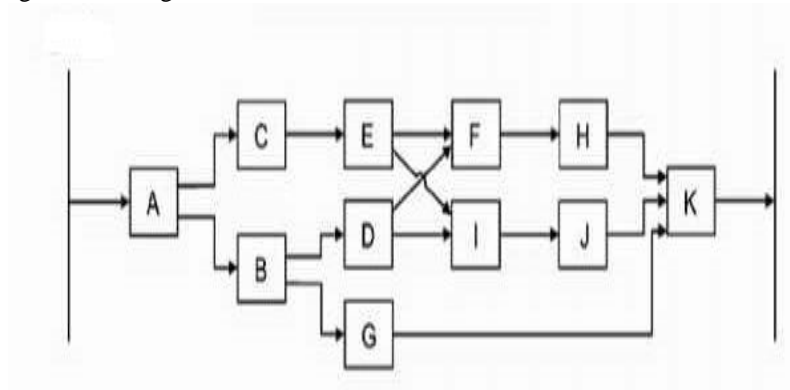
- Mandatória ou de lógica rígida: chamada assim quando uma atividade necessariamente tem de vir antes da outra;

Figura 30 - Diagrama de flechas



Fonte: (MATTOS, 2010)

Figura 31 - Diagrama de blocos



Fonte: (MATTOS, 2010)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos neste trabalho, as atividades podem ser sintetizadas como segue abaixo:

- Revisão Bibliográfica: realizada com o objetivo de compreender e levantar dados existentes do comportamento de diversos tipos de pavimentos para estruturas metálicas, analisando as características técnicas das lajes em estudo e o processo de execução. Em função da revisão bibliográfica, foram escolhidos três tipos de lajes para estudo comparativo. São elas: laje maciça, laje nervurada e laje mista com forma de aço incorporada (*steel deck*).
- Simulação numérica: para analisar e projetar as estruturas, serão utilizadas as seguintes ferramentas: software CAD-TQS (estrutura de concreto, avaliação estrutural), e Excel para levantamento quantitativo e orçamentário.

Os elementos de aço e misto de aço e concreto serão dimensionados segundo a ABNT NBR 8800:2008. As lajes em concreto e pré-moldadas serão dimensionadas segundo a ABNT NBR 6118:2014.

- Estudo comparativo e análise de resultados: a partir de um edifício-exemplo, foram concebidas diversas opções para o projeto estrutural, entre as quais: estrutura metálica com laje maciça; laje nervurada; laje mista tipo *steel deck*. Cada alternativa foi analisada e dimensionada, considerando lajes, vigas, pilares.

Foram abordados fatores econômicos em função dos consumos de cada sistema de laje, o custo será composto considerando-se: mão de obra, material, tempo de execução e recursos necessários à execução. Pretende-se elaborar uma comparação de quantitativos, custos, e prazos referente aos modelos de lajes em estudo, sendo elas, laje maciça, laje pré-moldada com nervuras e blocos e lajes mistas (*steel deck*), com intuito de servir de referência aos projetistas, ao elaborar um anteprojeto para um edifício em estrutura metálica. Com base nas análises e estudos comparativos desenvolvidos neste item, serão elaboradas as conclusões possíveis e pertinentes ao assunto em questão.

O conhecimento do custo é um fator importante para a tomada de decisão na escolha do tipo de laje a ser adotada em um empreendimento.

Adotaremos o orçamento de obras, realizando-se composições genéricas para a obtenção dos preços unitários dos serviços, índices de consumo de materiais e mão de obra, baseados na TCPO-12 Tabela de composições de preços para orçamento da

Editora Pini. Esta comparação permitirá uma tomada de decisão com relação ao custo, e os prazos que será dado através do cronograma-físico.

Foram consideradas para análise do custo apenas as diferentes lajes e a sequência dos diferentes serviços que entram na composição do orçamento e que podem ocorrer em função da escolha do tipo de laje adotada.

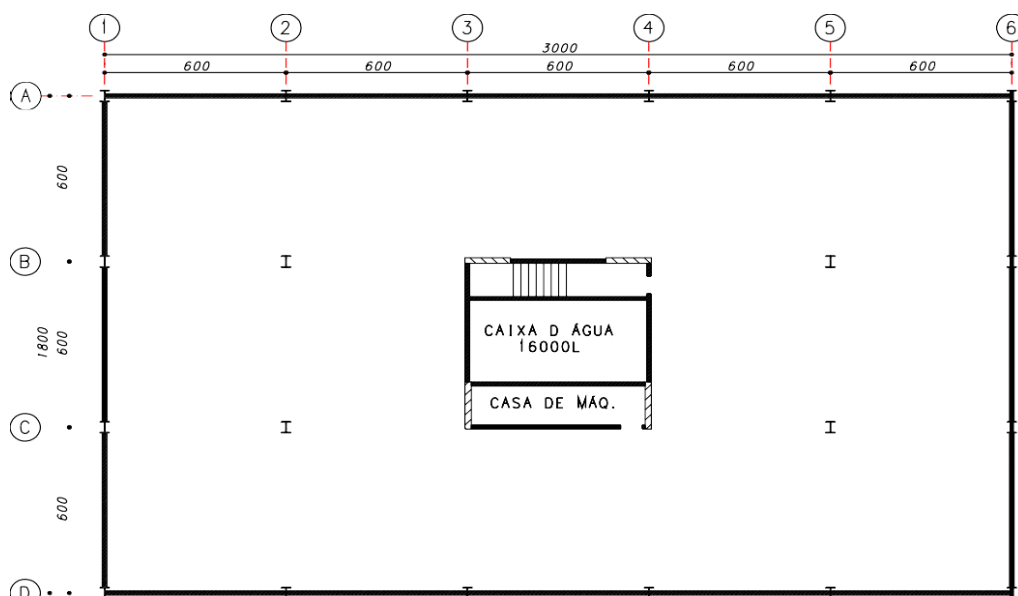
O objetivo é sistematizar o roteiro para a execução do orçamento, de modo a não omitir nenhum serviço necessário à execução da laje. Após análise da forma e levantamento quantitativo, realizou-se a composição dos custos unitários de cada serviço especificado. Cada serviço é diferenciado por meio das composições de serviços, compondo seus insumos: natureza, quantidade, unidade e preço unitário, permitindo obter o custo de serviço.

A metodologia proposta foi inicialmente avaliada em um projeto de análise. O qual é constituído por um edifício comercial em aço, de múltiplos pavimentos que foi dimensionado e levantado os custos para diferentes soluções de laje.

4.1 Projeto de Análise

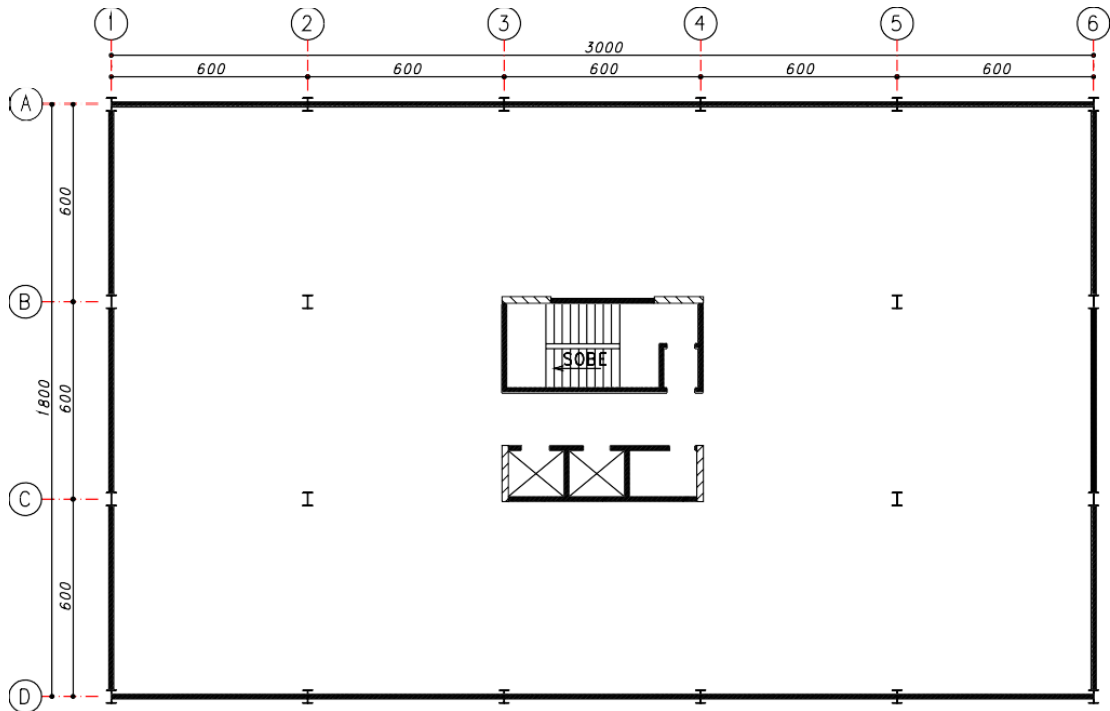
Trata-se de um edifício de 8 lajes, com área total de 4320 m², com pé direito de 3 metros, e espaçamento entre pilares de 6 metros, conforme arquitetura apresentada da Figura 32 à Figura 36. Trata-se de uma arquitetura bastante compatível com o que é utilizado nas construções de edifícios comerciais em aço.

Figura 32 - Planta baixa cobertura



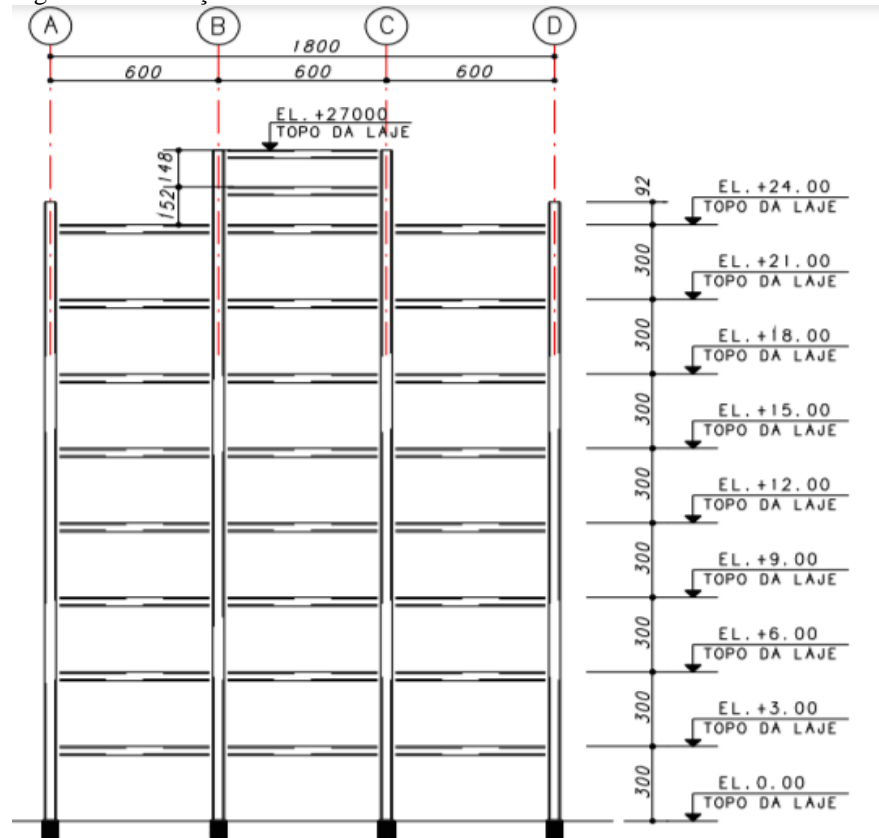
Fonte: (Bellei, 2008)

Figura 33 - Planta baixa pavimento tipo



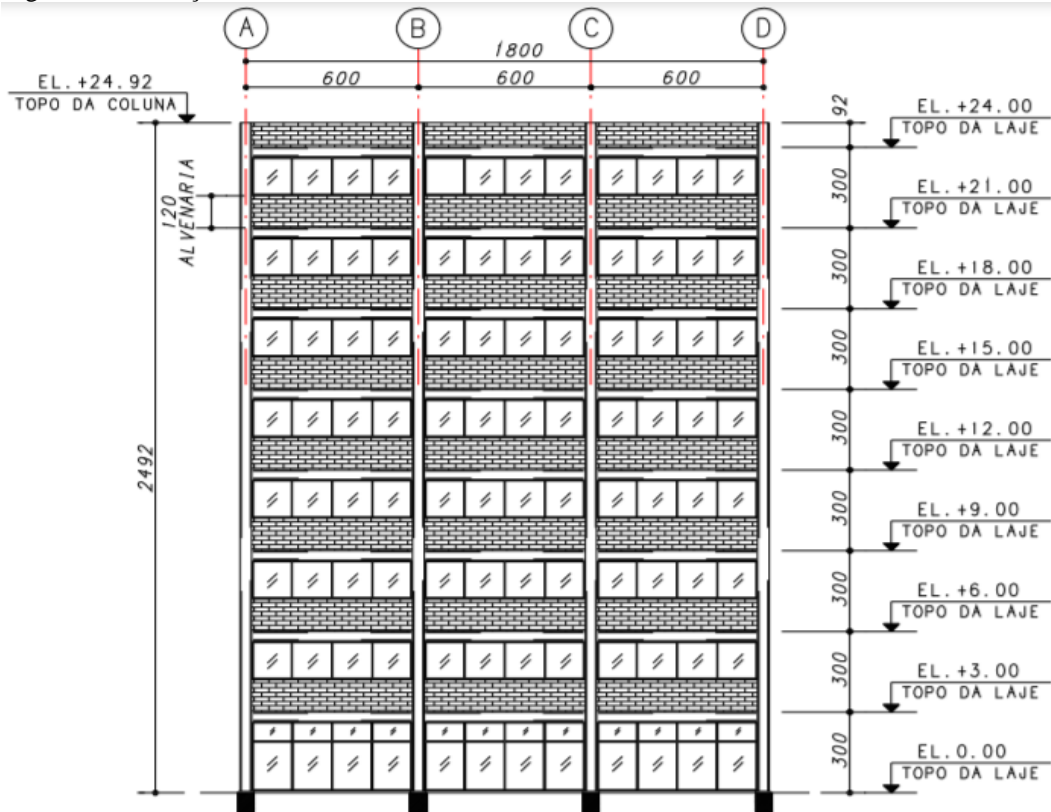
Fonte: (Bellei, 2008)

Figura 34 - Elevações eixo 3 e 4



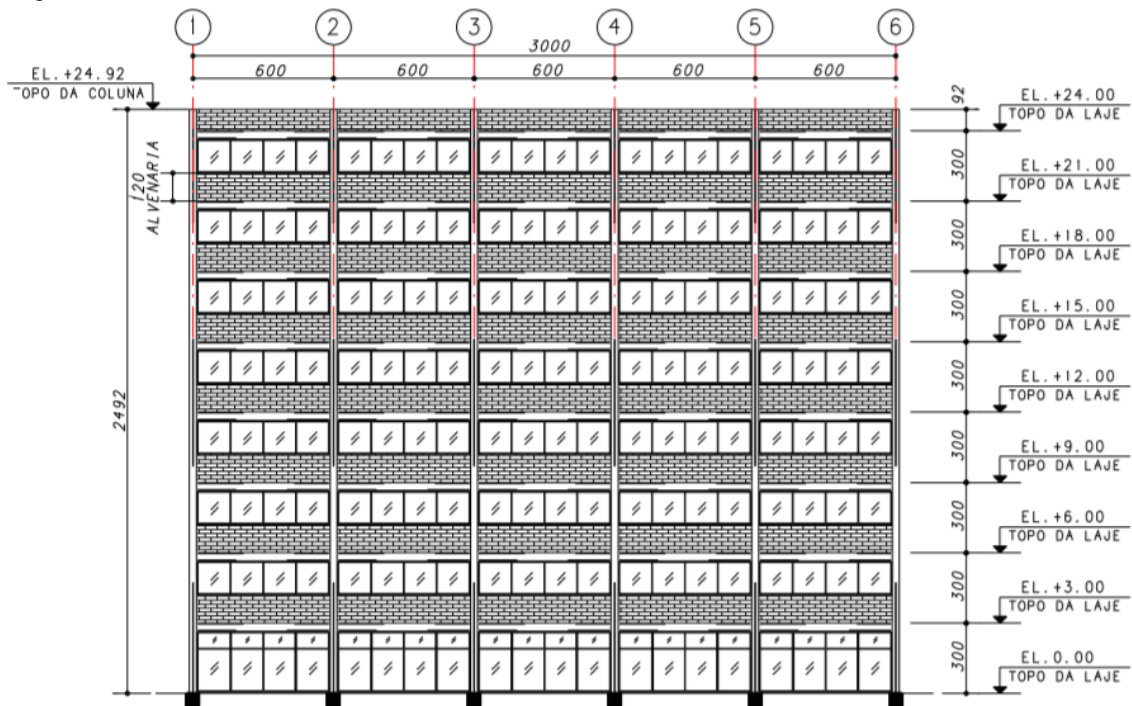
Fonte: (Bellei, 2008)

Figura 35 - Elevações eixo 1 e 6



Fonte: (Bellei, 2008)

Figura 36 - Fachada eixos A e D



Fonte: (Bellei, 2008)

O edifício que constitui o estudo de caso foi adaptado do exemplo apresentado por Bellei (2008).

Com o objetivo de comparar comportamento estrutural e custos, o edifício foi totalmente calculado utilizando diferentes soluções para os sistemas de lajes.

Os sistemas de lajes escolhidos para a análise são lajes maciças, lajes pré-moldadas com nervuras e blocos e lajes mista (*steel deck*).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para cada tipo de laje, foi lançada uma distribuição de vigas diferentes e adequadas para o sistema de laje em análise.

Para todas as soluções do sistema de laje, a estabilidade lateral do edifício é garantida por um núcleo rígido de concreto.

As estruturas foram analisadas no *software* CAD-TQS com um modelo de pórtico espacial. O *software* CAD-TQS também foi utilizado para o dimensionamento das lajes, exceto a laje mista aço-concreto. As lajes em concreto foram dimensionadas de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, já as lajes mistas de acordo com a ABNT NBR 8800:2008.

Para a parte metálica relacionada ao edifício foi adotado aço do tipo ASTM A36 utilizando seções tipo I soldadas e /ou laminadas. As seções foram dimensionadas segundo os procedimentos da ABNT NBR 8800:2008, utilizando o memorial de cálculo apresentado no Apêndice A.

As ações adotadas para a análise estrutural são as indicadas no Quadro 6.

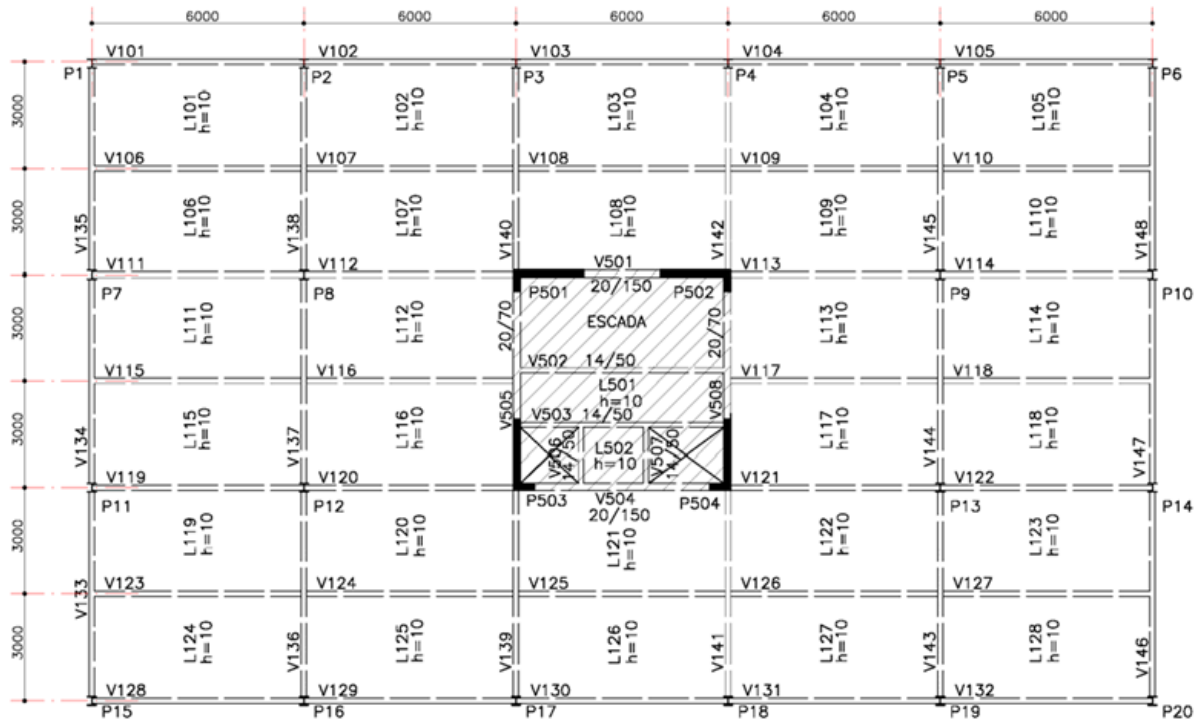
Quadro 6 - Ações consideradas

Ações Consideradas	
Ações permanentes	peso próprio → indicado em cada tipo de laje
	piso + revestimento = 1,5 kN/m ²
	paredes: não serão consideradas paredes sobre as lajes
Ações variáveis	Sobrecarga de utilização: 5,0 kN/m ²
Ação do vento	Considerada segundo as prescrições na NBR 6123:1986.

Fonte: (O Autor)

5.1 Laje Maciça

Figura 37 - Planta baixa de vigas e pilares da laje maciça



Fonte: (O Autor)

Na Figura 37, é apresentado o plano de viga para alternativa estrutural em laje maciça. O dimensionamento das lajes maciças segue as diretrizes da ABNT NBR – 6118:2014, onde foi adotada a classe de agressividade ambiental II (moderada – Urbana), concreto C 25 , cobrimento nominal da laje = 2,5 cm. Massa específica para o concreto armado de 2.500 kg/m³. E para as armaduras foi adotado aço CA-50.

O Quadro 7 apresenta os esforços nos pilares, obtidos da análise estrutural, e as seções finais dimensionadas. Como foi utilizado somente o núcleo rígido como sistema resistente às ações laterais, os pilares estão submetidos à compressão simples e para o seu dimensionamento podem ser considerados bi rotulados.

Quadro 7 - Esforços nos pilares laje maciça

Pilares P1=P6=P15=P20 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1030	910	770	630	490	350	210	80
Perfil	CS 250x52							
Pilares P2=P3=P4=P5=P16=P17=P18=P19 (8x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1690	1500	1280	1050	820	590	360	140

Perfil	CS 250x76				CS 250x52			
Pilares P7=P10=P11=P14 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1600	1420	1210	990	780	560	350	130
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					
Pilares P8=P9=P12=P13 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	2630	2370	2010	1660	1310	950	600	250
Perfil	CS 350x112		CS 300x62		CS 250x52			

Fonte: (O Autor)

No Quadro 8, são apresentados os momentos de cálculo nas vigas e as seções dimensionadas. Todas as ligações viga-pilar são flexíveis e conseqüentemente todas as vigas são bi rotuladas. Para o sistema de laje maciça, é natural dimensionar as vigas como mistas de aço-concreto. Esse dimensionamento foi feito segundo os procedimentos da ABNT NBR 8800:2008 com o auxílio do memorial de cálculo do Apêndice A.

Quadro 8 - Momento fletor nas vigas e dimensionamento da laje maciça

Viga Logitudinal de BORDA 10x	V101=V102=V103=V104=V105=V128=V129 =V130 =V131 =V132						
	Md (kNcm)	6970	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logitudinal INTERNA 12x	V106=V107=V108=V109=V110=V115=V118 =V123 =V124=V125=V126 =V127						
	Md (kNcm)	9290	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logitudinal INTERNA 4x	V111=V114=V119=V122						
	Md (kNcm)	11090	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logitudinal INTERNA 4x	V112=V113=V120=V121						
	Md (kNcm)	10630	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logitudinal INTERNA 2x	V116=V117						
	Md (kNcm)	8030	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Transversal BORDA 6x	V133=V134=V135=V146=V147=V148						
	Md (kNcm)	11100	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	20	16 mm
Viga Transversal INTERNA 6x	V136=V137=V138=V143=V144=V145						
	Md (kNcm)	15800	Perfil	VS 250x28	N.Conectores	26	16 mm
Viga Transversal INTERNA 4x	V139=V140=V141=V142						
	Md (kNcm)	15520	Perfil	VS 250x28	N.Conectores	26	16 mm

Fonte: (O Autor)

Como base no dimensionamento, foram levantados os custos de materiais para a laje maciça. Para o levantamento destes custos, foi considerada a concretagem de uma laje a cada 28 dias, utilizando apenas um jogo de formas para as oito lajes do edifício. O Quadro 9 apresenta o custo total da estrutura para a solução laje maciça sendo a primeira opção construtiva.

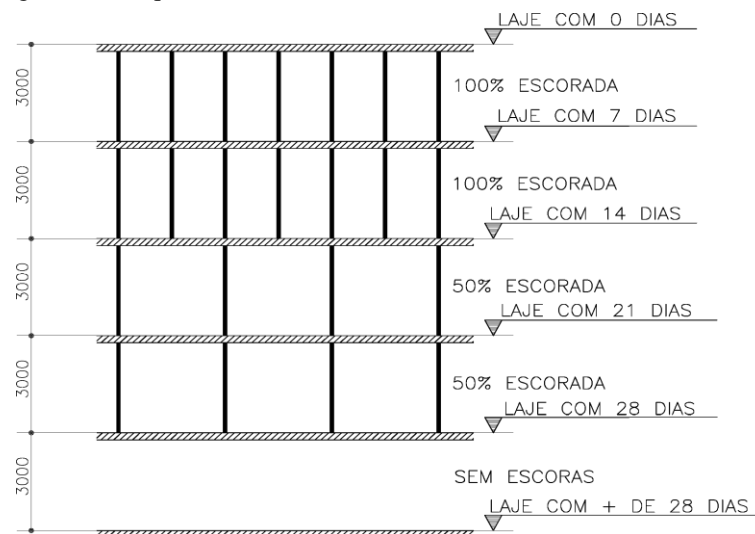
Quadro 9 - Quantitativo de materiais para laje maciça

Item	Descrição	Und.	Quantidade
1.	Forma chapa resinada 12mm	m2	4.032,00
2.	Armação Aço CA-50	kg	24.000,00
3.	Concreto Usinado C25	m3	408
4.	Escoramento	m2	4.032,00
5.	Pilares Metálicos	Kg	29.520,00
6.	Vigas metálicas	kg	52.560,00

Fonte: (O Autor)

Em alternativa para a composição de custo apresentada no Quadro 10, considerou-se a concretagem de uma laje a cada sete dias, utilizando três jogos de forma, dois jogos que serão utilizados até a laje completar 14 dias (100% de laje escorada) e $\frac{1}{2}$ jogo para a laje com 21 dias (50% de laje escorada) e mais $\frac{1}{2}$ jogo para a laje com 28 dias (50% de laje escorada). Na Figura 38, apresenta-se o esquema de escoramento das lajes maciças para a opção construtiva 2.

Figura 38 - Esquema de escoramento



Fonte: (O Autor)

Quadro 10 - Quantitativo de materiais para a laje maciça

Item	Descrição	Und	Quantidade
1.	Forma chapa resinada 12mm (reutilização)	m2	4.032,00
2.	Armação Aço CA-50	kg	24.000,00
3.	Concreto Usinado C25	m3	408
4.	Escoramento	m2	4.032,00
5.	Pilares Metálicos	Kg	29.520,00
6.	Vigas metálicas	kg	52.560,00

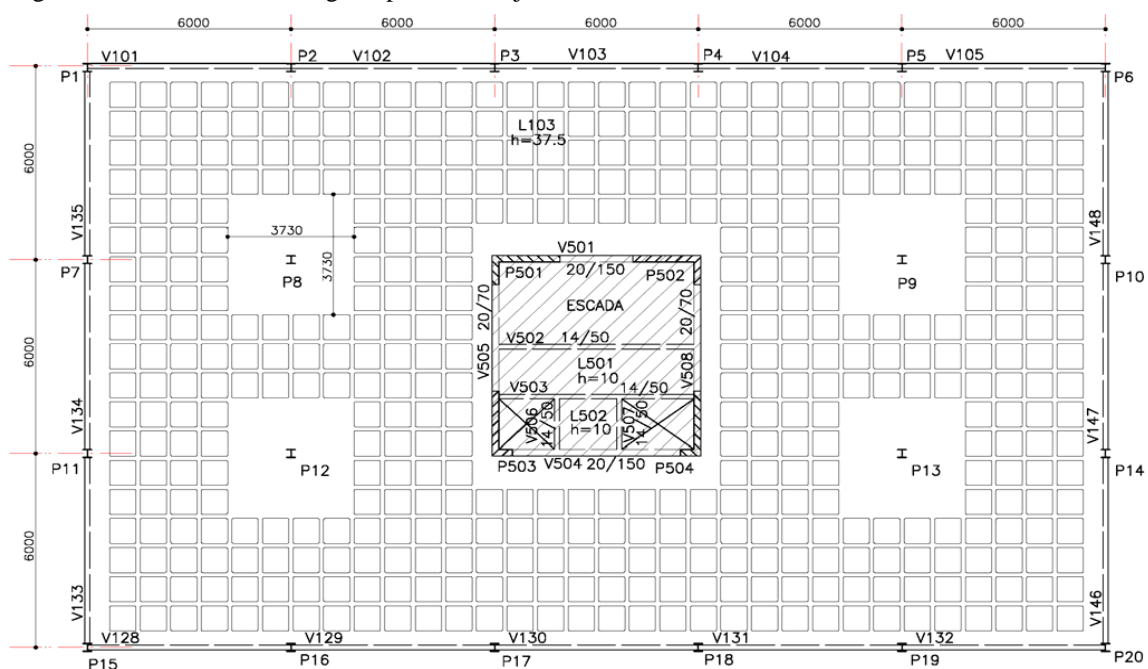
Fonte: (O Autor)

Deve-se levar em consideração que, no caso em estudo, as vigas e pilares são metálicos e, portanto, não há formas para esses elementos.

5.2 Laje pré-moldada com nervuras e blocos

Na Figura 39, é apresentado o plano de viga para alternativa de laje nervurada. O estudo para as lajes nervuradas segue as diretrizes da ABNT NBR – 6118/2014, onde a classe de agressividade ambiental adotada foi classe II (moderada – Urbana). Classe do concreto – C 25, e cobrimento nominal: laje = 2,5 cm. Massa específica para o concreto armado de 2.500 kg/m³. Para as armaduras, foi adotado aço CA-50.

Figura 39 - Planta baixa de vigas e pilares da laje nervurada



Fonte: (O Autor)

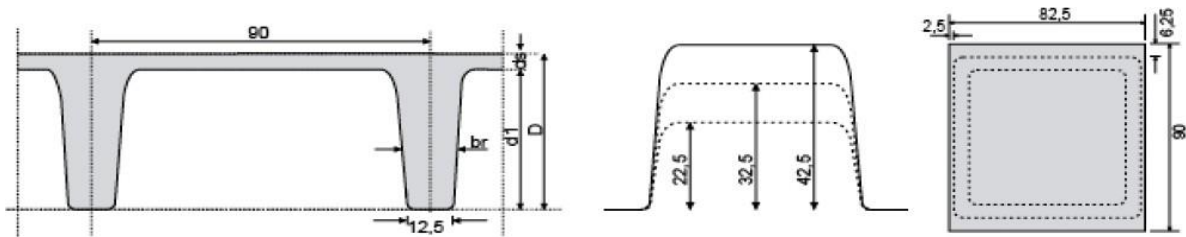
Carregamento adotado conforme o Quadro 6. Utilizou-se a forma da Atex (Tabela 3), com altura da forma de 32,5 cm, capa de concreto de 5 cm, portanto uma altura total de 37,5 cm, compondo um peso próprio de 4,33 kN/m². Na Figura 40, são apresentadas as dimensões das formas da Atex.

Tabela 3 - Sistemas de forma ATEX 900

Altura da Forma	Espessura da Lâmina	Altura Total	Largura da Nervura			Área da Seção	Distância do CGA		Inércia	Módulo de Fluxão		Volume do Vazio		Peso Próprio	Volume Concreto
			Inferior	Superior	Média		Superior	Inferior		WS	Wi	M3	M3/M2		
CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM ²	CM	CM	CM ⁴	CM ³	CM ³	M3	M3/M2	KN/M2	M3/M2
22,5	5,0	27,5				816	8,3	19,2	49561	5971	2581			3,30	0,132
	7,5	30,0	12,5	21,5	17,0	1040	8,7	21,3	65670	7548	3083	0,116	0,143	3,93	0,157
	10,0	32,5				1266	9,5	23,0	84158	8859	3659			4,55	0,182
32,5	5,0	37,5				1043	12,2	25,3	125718	10305	4969			4,33	0,73
	7,5	40,0	12,5	25,5	19,0	1268	12,3	27,7	159245	12947	5749	0,163	0,202	4,95	0,198
	10,0	42,5				1493	12,8	29,7	194449	15191	6547			0,558	0,223
42,5	5,0	47,5				1310	16,5	31,0	255029	15456	8227			5,63	0,225
	7,5	50,0	12,5	29,5	21,0	1536	16,3	33,7	314390	19288	9329	0,202	0,250	6,25	0,250
	10,0	52,5				1761	16,5	36,0	374573	22701	10405			6,88	0,275
d1	ds	D	bi	bs	br	A	rs	rl	I	Ws	Wi	v/v		Concreto 25 KN/M3	

Fonte: (www.atex.com.br)

Figura 40 - Forma ATEX



Fonte: (www.atex.com.br)

Para resistir aos esforços laterais, considerou-se o núcleo rígido como único sistema resistente, tornando-se possível o dimensionamento dos pilares como bi rotulado à compressão simples. No Quadro 11, são apresentados os principais esforços nos pilares. Os pilares foram dimensionados segundo a ABNT NBR 8800:2008 com o auxílio do memorial de cálculo do Apêndice A.

Quadro 11 - Esforços nos pilares da laje nervurada

Pilares P1=P6=P15=P20 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1000	870	740	620	490	370	240	120
Perfil	CS 250x52							
Pilares P2=P3=P4=P5=P16=P17=P18=P19 (8x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1900	1660	1420	1190	950	710	470	230
Perfil	CS 250x76				CS 250x52			
Pilares P7=P10=P11=P14 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8

Normal (kN)	1540	1340	1150	960	770	580	390	200
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					
Pilares P8=P9=P12=P13 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	3870	3400	2920	2430	1950	1470	980	510
Perfil	CS 450x154			CS 400x106		CS 250x76		

Fonte: (O Autor)

No Quadro 12, são apresentados os momentos de cálculo das vigas. As vigas foram dimensionadas como vigas isoladas, segundo a NBR 8800:2008 com o auxílio do memorial de cálculo do Apêndice 1. As vigas foram dimensionadas como viga de aço isolada, pois se trata apenas de vigas de borda que irão contribuir para o travamento da estrutura e recebem pouco carregamento da laje.

Quadro 12 - Momento fletor nas vigas e dimensionamento da laje nervurada

Viga Logitudinal de BORDA 10x	V101=V102=V103=V104=V105=V128=V129 =V130 =V131 =V132						
	Md (kNcm)	6700	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	X	16 mm
Viga Transversal INTERNA 6x	V133=V134=V135=V146=V147=V148						
	Md (kNcm)	8600	Perfil	VS 250x21	N.Conectores	X	16 mm

Fonte: (O Autor)

Após a colocação das vigas metálicas, monta-se o escoramento, conforme Figura 41, onde as formas plásticas são apoiadas diretamente sobre o escoramento, após a montagem de todas as formas plásticas, colocam-se as armações positivas nas nervuras, por fim utiliza-se uma malha de distribuição Q-138, e faz-se a concretagem da capa de concreto com espessura de 5 cm. Para levantamento de custo, foi considerada a concretagem da mesma forma da laje maciça, ou seja, concreta-se uma laje a cada sete dias. No Quadro 13, apresenta-se a planilha de custo para opção com laje nervurada.

Figura 41 - Escoramento da laje nervurada



Fonte: (www.atex.com.br)

Quadro 13 - Quantitativo de materiais para a laje nervurada

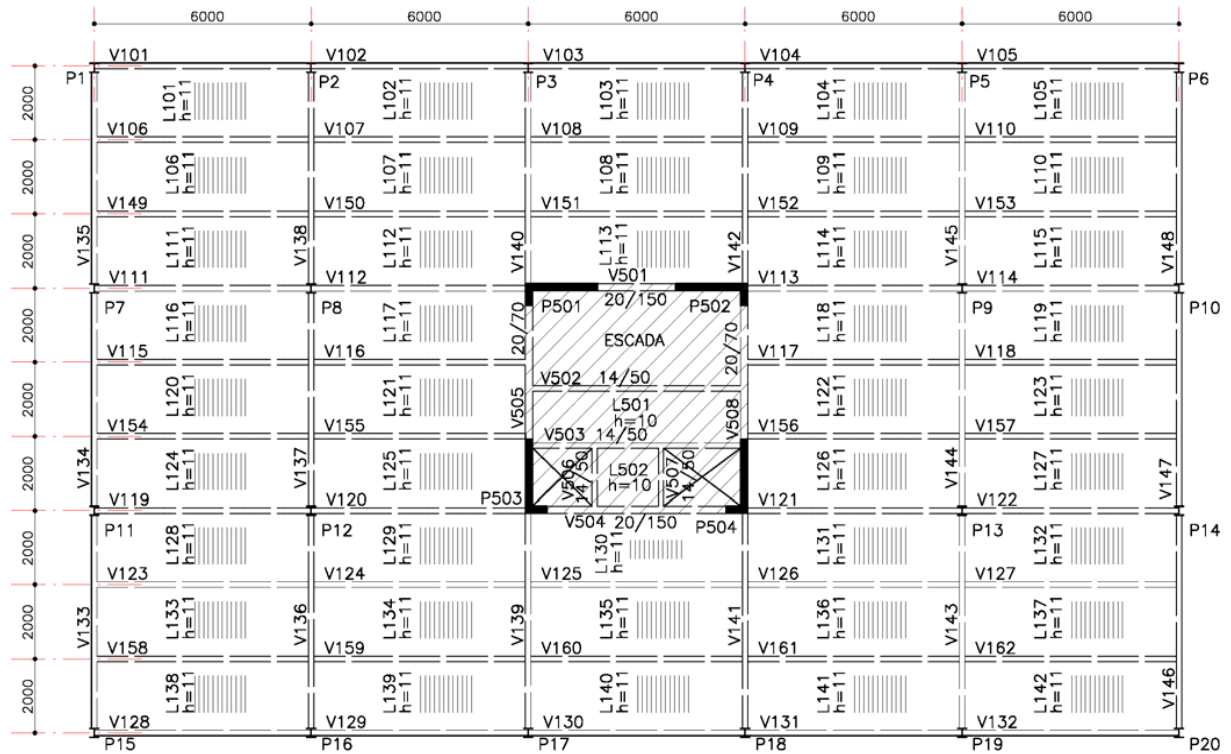
Item	Descrição	Un	Quant.
1.	Forma 1 - Caçambas (472unX7dias/lajeX8lajes)	un.	26.432,00
2.	Forma chapa resinada 12mm	m2	850
3.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138)	m2	4.032,00
4.	Concreto Usinado C25	m3	752
5.	Armação Aço CA-50	kg	59.608,00
6.	Escoramento	m2	4.032,00
7.	Pilares metálicos	kg	33.096,00
8.	Vigas metálicas	kg	16.128,00

Fonte: (O Autor)

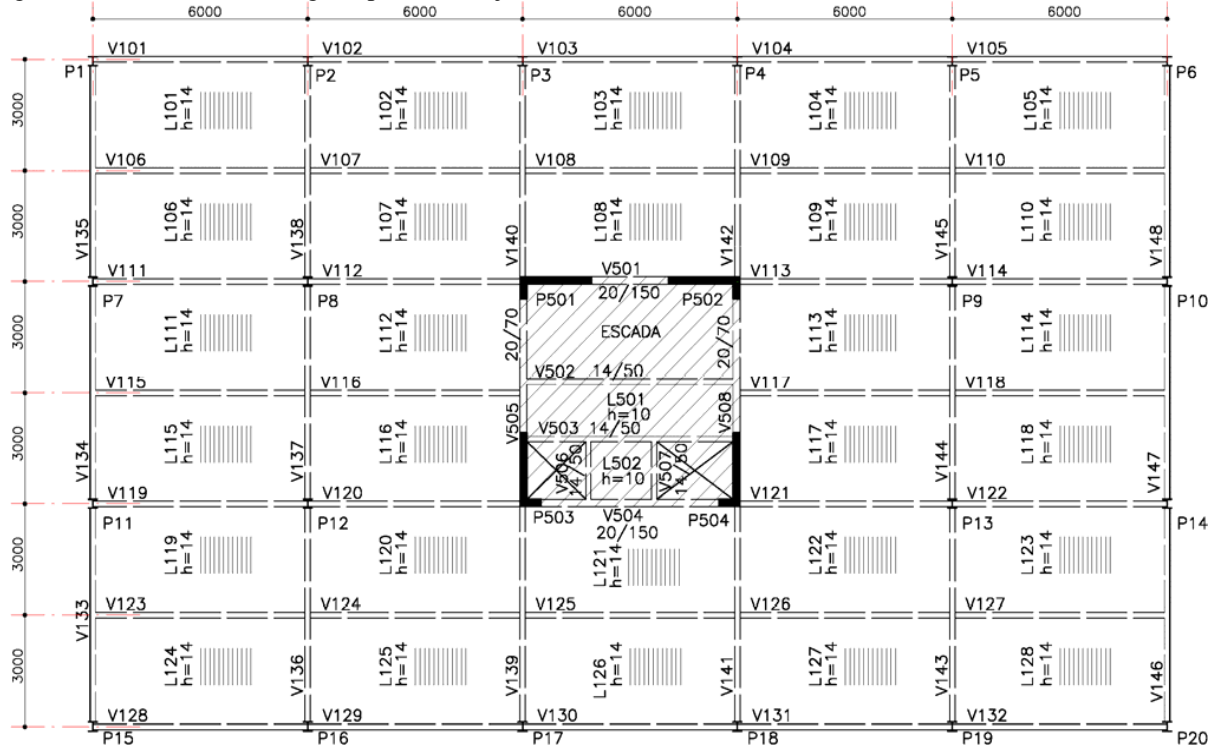
Obviamente o consumo da estrutura de aço representa um percentual pequeno, quando comparado às demais soluções estruturais. Os quantitativos com a laje aumentaram devido à quantidade formas para as lajes nervuradas ser maior em relação às lajes maciças.

5.3 Laje mista (*steel deck*) MF-50 e MF-75

Na Figura 42 e Figura 43, é apresentado respectivamente o plano de viga para alternativa estrutural com laje mista, utilizando as formas da Metform, o *steel deck* MF-50 e o *steel deck* MF-75. O *steel deck* MF-50 conta com a largura útil de 915 mm e com peso próprio de 2,08 KN/m², o *steel deck* MF-75 conta com a largura útil de 820 mm, e com peso próprio de 2,79 KN/m², ambos os produtos são fabricados com o aço especial galvanizado ASTM A653 grau 40.

Figura 42 - Planta baixa de vigas e pilares da laje *steel deck* MF-50

Fonte: (O Autor)

Figura 43 - Planta baixa de vigas e pilares da laje *steel deck* MF-75

Fonte: (O Autor)

Nota-se que, para o plano de vigas do *steel deck* MF-50, foram necessárias mais vigas para dispensar a utilização de escoramento na laje, e apenas as vigas metálicas foram escoradas.

Como premissa foi utilizado o núcleo rígido como sistema resistente às ações laterais. Os pilares são submetidos apenas à compressão simples e são bi rotulados, os esforços e dimensionamento estão apresentados, no Quadro 14, para o *steel deck* MF-50 e, no Quadro 15 os resultados para o *steel deck* MF-75.

Quadro 14 - Esforços nos pilares MF-50

Pilares P1=P6=P15=P20 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	860	750	640	540	430	320	210	110
Perfil	CS 250x52							
Pilares P2=P3=P4=P5=P16=P17=P18=P19 (8x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1510	1320	1130	940	750	560	380	190
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					
Pilares P7=P10=P11=P14 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1410	1240	1060	880	700	530	350	180
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					
Pilares P8=P9=P12=P13 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	2290	2000	1710	1430	1140	860	570	290
Perfil	CS 300x76		CS 250x76		CS 250x52			

Fonte: (O Autor)

Quadro 15 - Esforços nos pilares MF-75

Pilares P1=P6=P15=P20 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	870	760	650	540	430	320	210	110
Perfil	CS 250x52							
Pilares P2=P3=P4=P5=P16=P17=P18=P19 (8x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1630	1430	1220	1020	820	610	410	200
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					
Pilares P7=P10=P11=P14 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (kN)	1510	1320	1130	940	760	570	380	190
Perfil	CS 250x76		CS 250x52					

Pilares P8=P9=P12=P13 (4x)								
Pav.	1	2	3	4	5	6	7	8
Pilares P7=P10=P11=P14 (4x)	2490	2180	1870	1110	1250	940	620	310
Perfil	CS 300x76			CS 250x52				

Fonte: (O Autor)

As ligações entre viga-pilar foram consideradas flexíveis, permitindo o dimensionamento de vigas simplesmente apoiadas. Para o sistema de laje mista, adotou-se o procedimento de construção escorada, o elemento estrutural entra em serviço somente após a cura do concreto (resistência superior a 75% de f_{ck}), ou seja, após a retirada do escoramento das vigas e o desenvolvimento da ação conjunta, quando todas as cargas são suportadas pela seção mista.

No Quadro 16 e Quadro 17, são apresentados os momentos de cálculo nas vigas e as seções dimensionadas, para as duas opções de laje mista. O dimensionamento das vigas foi feito segundo o procedimento da NBR 8800:2008 com o auxílio do memorial de cálculo do Apêndice A.

Quadro 16 - Momento fletor e dimensionamento MF-50

Viga Logintudinal de BORDA 10x	V101=V102=V103=V104=V105=V128=V129 =V130 =V131 =V132						
	Md (kNcm)	6310	Perfil	W 150x13	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logintudinal INTERNA 36x	V106=V107=V108=V109=V110=V111=V112=V113=V114=V115=V116=V117						
	Md (kNcm)	7000	Perfil	W 150x13	N.Conectores	20	16 mm
Viga Transversal BORDA 6x	V133=V134=V135=V146=V147=V148						
	Md (kNcm)	10480	Perfil	W 200x15	N.Conectores	16	16 mm
Viga Transversal INTERNA 10x	V136=V137=V138=V139=V140=V141=V142= V143=V144=V145						
	Md (kNcm)	16160	Perfil	W 310x21	N.Conectores	28	16 mm

Fonte: (O Autor)

Quadro 17 - Momento fletor e dimensionamento MF-75

Viga Logintudinal de BORDA 10x	V101=V102=V103=V104=V105=V128=V129 =V130 =V131 =V132						
	Md (kNcm)	8160	Perfil	W 200x15	N.Conectores	20	16 mm
Viga Logintudinal INTERNA 22x	V106=V107=V108=V109=V110=V111=V112=V113=V114=V115=V116=V117						
	Md (kNcm)	9670	Perfil	W 200x15	N.Conectores	20	16 mm

Viga Transversal BORDA 6x	V133=V134=V135=V146=V147=V148						
	Md (kNcm)	11560	Perfil	W 310x21	N.Conectores	28	16 mm
Viga Transversal INTERNA 10x	V136=V137=V138=V139=V140=V141=V142= V143=V144=V145						
	Md (kNcm)	18020	Perfil	W 310x21	N.Conectores	28	16mm

Fonte: (O Autor)

O processo de montagem da laje *steel deck* inicia-se após a montagem das vigas metálicas, os fardos são içados e os painéis retirados manualmente e posicionados sobre as vigas, conforme o projeto de paginação, tomando o cuidado para não montá-lo invertido. Os recortes no contorno dos pilares são feitos mediante o uso de máquinas com disco para corte de metal. A fixação dos painéis é garantida com a solda do *stud bolts*. Posicionam-se as telas Q-75 na parte superior da laje e faz-se a concretagem com cautela, evitando o acúmulo de materiais e profissionais sobre os painéis.

Nos Quadros 18 e 19, são apresentadas respectivamente as planilhas de quantitativo para o *steel deck* MF-50 e para o *steel deck* MF-75.

Quadro 18 - Quantitativo de materiais para *steel deck* MF-50

Item	Descrição	Un	Quant.
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00
2.	Concreto Usinado C25	m3	344
3.	Escoramento das vigas	un.	62
4.	<i>Steel deck</i>	m2	4.032,00
5.	Pilares metálicos	kg	27.840,00
6.	Vigas metálicas	kg	44.140,00
7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00

Fonte: (O Autor)

A laje mista *steel deck* MF-50, devido a quantidade maior de vigas, para eliminar o escoramento da laje, ainda assim apresentou um quantitativo inferior às demais lajes utilizadas.

Quadro 19 - Quantitativo de materiais para *steel deck* MF-75

Item	Descrição	Un	Quant.
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00
2.	Concreto Usinado C25	m3	416
3.	Escoramento das vigas	un.	44
4.	<i>Steel deck</i>	m2	4.032,00
5.	Pilares metálicos	kg	27.552,00
6.	Vigas metálicas	kg	40.038,00
7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00

Fonte: (O Autor)

Dentre todos os sistemas de laje apresentados, a solução com *steel deck* MF-75 apresentou o menor quantitativo total, pode-se afirmar que as duas opções de laje com *steel deck* obtiveram o mesmo resultado, o *steel deck* MF-50 teve um quantitativo total de 0,03% maior que o *steel deck* MF-75, como se pode perceber através do Quadro 20 onde todos os sistemas construtivos em estudo foram expostos a fim de comparar os resultados com base nos quantitativos.

Quadro 20 – Comparativo de consumo de materiais das lajes

Laje Maciça 2 - Superestrutura			Laje Nervurada - Superestrutura		
Forma chapa resinada 12mm	m2	4.032,00	Forma 1 - Caçambas (472unX7dias/lajeX8lajes)	un.	26.432,00
Armação Aço CA-50	kg	24.000,00	Forma chapa resinada 12mm	m2	850
Concreto Usinado C25	m3	408	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138)	m2	4.032,00
Escoramento	m2	4.032,00	Concreto Usinado C25	m3	752
Pilares Metálicos	Kg	29.520,00	Armação Aço CA-50	kg	59.608,00
Vigas metálicas	kg	52.560,00	Escoramento	m2	4.032,00
Acréscimo de forma para acompanhar steel Deck	Kg	4.032,00	Pilares metálicos	kg	33.096,00
			Vigas metálicas	kg	16.128,00

Laje mista MF-50 - Superestrutura			Laje mista MF-75 - Superestrutura		
Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00
Concreto Usinado C25	m3	344	Concreto Usinado C25	m3	416
Escoramento das vigas	un.	62	Escoramento das vigas	un.	44
<i>Steel Deck</i>	m2	4.032,00	<i>Steel Deck</i>	m2	4.032,00
Pilares metálicos	kg	27.840,00	Pilares metálicos	kg	27.552,00
Vigas metálicas	kg	44.140,00	Vigas metálicas	kg	40.038,00
Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1
Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1
Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00

Fonte: (O Autor)

O que nos faz perceber que em uma premissa inicial relacionada à viabilidade técnica, todos os sistemas construtivos de lajes atendem, sendo apenas as lajes maciças menos viáveis no que diz respeito às dimensões dos vãos do projeto de análise ser superiores a permitida pela ABNT NBR 6118:2014, porém, no que diz respeito ao consumo de material as lajes em *steel deck* seriam as mais viáveis, pois uma laje com menor consumo de material nos trás a ideia de que será economicamente viável.

5.4 Composição de custo – materiais e mão de obra

Os dados utilizados para a composição de custo são referentes à Agosto de 2019 da região do Sul de Minas Gerais, os resultados refletem uma situação momentânea que pode ser alterada devido à economia do país.

5.4.1 Composição de custo para laje maciça

Como base no dimensionamento, foram levantados os custos de materiais e mão de obra. Para o levantamento destes custos, foram considerados a concretagem de uma laje a cada 28 dias, utilizando apenas um jogo de formas para as oito lajes do edifício. O Quadro 21 apresenta o custo total da estrutura para a solução laje maciça opção construtiva 1.

Quadro 21 - Composição de custo para laje maciça - Opção construtiva 1

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total		Total	%
				Material	M. Obra	Material	M.Obra		
1A	Laje Maciça 1 - Superestrutura					780.066,48	399.552,00	1.179.618,48	100
1.	Forma chapa resinada 12mm	m2	4.032,00	15,26	20	61.528,32	80.640,00	142.168,32	12,05
2.	Armação Aco CA-50	kg	24.000,00	4,1	1	98.400,00	24.000,00	122.400,00	10,38
3.	Concreto Usinado C25	m3	408	257,25	60	104.958,00	24.480,00	129.438,00	10,97
4.	Escoramento	m2	4.032,00	5,63	6	22.700,16	24.192,00	46.892,16	3,98
5.	Pilares Metálicos	Kg	29.520,00	6	3	177.120,00	88.560,00	265.680,00	22,52
6.	Vigas metálicas	kg	52.560,00	6	3	315.360,00	157.680,00	473.040,00	40,1

Fonte: (O Autor)

Em alternativa para a composição de custo apresentada no Quadro 22, considerou-se a concretagem de uma laje a cada sete dias, utilizando três jogos de forma, dois jogos que serão utilizados até a laje completar 14 dias (100% de laje escorada) e ½ jogo para a laje com 21 dias (50% de laje escorada) e mais ½ jogo para a laje com 28 dias.

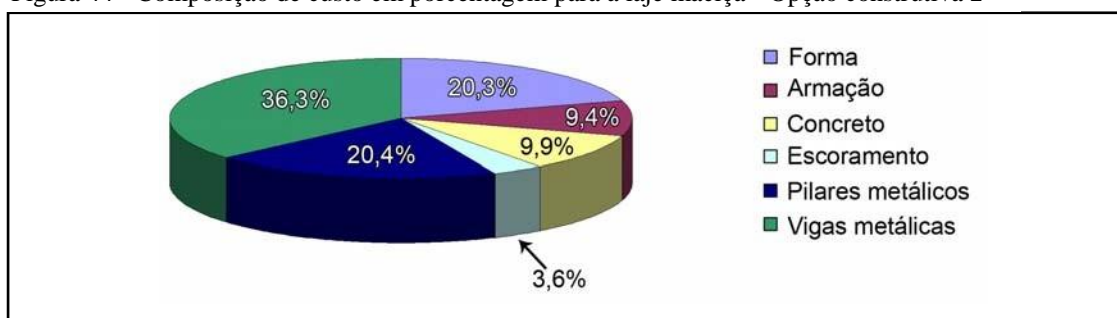
Quadro 22 - Composição de custo para laje maciça - Opção construtiva 2

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total		Total	%
				Material	M. Obra	Material	M.Obra		
1B	Laje Maciça 2					903.123,12	399.552,00	1.302.675,12	100
1.	Forma chapa resinada 12mm (reutilização)	m2	4.032,00	45,78	20	184.584,96	80.640,00	265.224,96	20,36
2.	Armação Aco CA-50	kg	24.000,00	4,1	1	98.400,00	24.000,00	122.400,00	9,4
3.	Concreto Usinado C25	m3	408	257,25	60	104.958,00	24.480,00	129.438,00	9,94
4.	Escoramento	m2	4.032,00	5,63	6	22.700,16	24.192,00	46.892,16	3,6
5.	Pilares Metálicos	Kg	29.520,00	6	3	177.120,00	88.560,00	265.680,00	20,39
6.	Vigas metálicas	kg	52.560,00	6	3	315.360,00	157.680,00	473.040,00	36,31

Fonte: (O Autor)

A distribuição dos custos para a estrutura com solução em laje maciça pode ser visualizada no gráfico da Figura 44.

Figura 44 - Composição de custo em porcentagem para a laje maciça - Opção construtiva 2



Fonte: (O Autor)

O percentual de custos com forma é compatível com o que se obtém em uma estrutura de concreto convencional, levando-se em consideração que, no caso em estudo, as vigas e pilares são metálicos e, portanto, não há formas para esses elementos.

Como se pode observar, a estrutura metálica representa 56% do custo total, enquanto formas representam cerca de 20% deste custo que é bastante elevado.

5.4.2 Composição de custo para laje nervurada

Para levantamento de custo da laje nervurada, foi considerada a concretagem da mesma forma da laje maciça, isso é concreta-se uma laje a cada sete dias.

No Quadro 23, apresenta-se a planilha de custo para opção com laje nervurada.

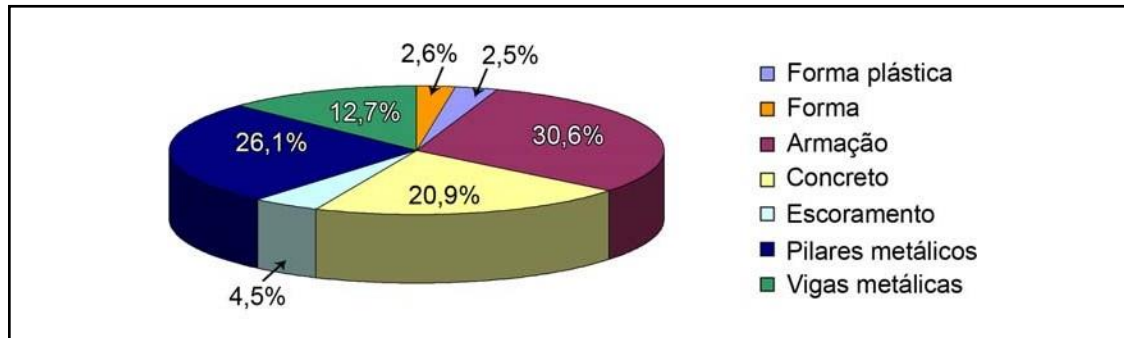
Quadro 23 - Composição de custo para laje nervurada

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total			%
				Material	Mão Obra	Material	M.Obra	Total	
2	Laje Nervurada - Superestrutura					835.930,04	305.553,60	1.141.483,64	100
1.	Forma 1 - Caçambas (472unX7dias/lajeX8lajes)	un.	26.432,00	0,8	0,3	21.145,60	7.929,60	29.075,20	2,55
2.	Forma chapa resinada 12mm	m2	850	15,26	20	12.971,00	17.000,00	29.971,00	2,63
3.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138)	m2	4.032,00	10,14	1	40.884,48	4.032,00	44.916,48	3,93
4.	Concreto Usinado C25	m3	752	257,25	60	193.452,00	45.120,00	238.572,00	20,9
5.	Armação Aço CA-50	kg	59.608,00	4,1	1	244.392,80	59.608,00	304.000,80	26,63
6.	Escoramento	m2	4.032,00	6,88	6	27.740,16	24.192,00	51.932,16	4,55
7.	Pilares metálicos	kg	33.096,00	6	3	198.576,00	99.288,00	297.864,00	26,09
8.	Vigas metálicas	kg	16.128,00	6	3	96.768,00	48.384,00	145.152,00	12,72

Fonte: (O Autor)

Para melhor visualização da composição do custo, apresenta-se o gráfico da Figura 45.

Figura 45 - Composição de custo em porcentagem para laje nervurada



Fonte: (O Autor)

O custo da estrutura de aço representa um percentual pequeno, quando comparado às demais soluções estruturais. Os custos com a laje aumentaram, mas o custo total desta solução ainda resultou inferior aos custos das soluções com laje maciça.

5.4.3 Composição de custo para laje *steel deck* – MF50 e MF75

Nos Quadros 24 e 25, são apresentados respectivamente os custos de materiais e mão de obra para o *steel deck* MF-50 e para o *steel deck* MF-75.

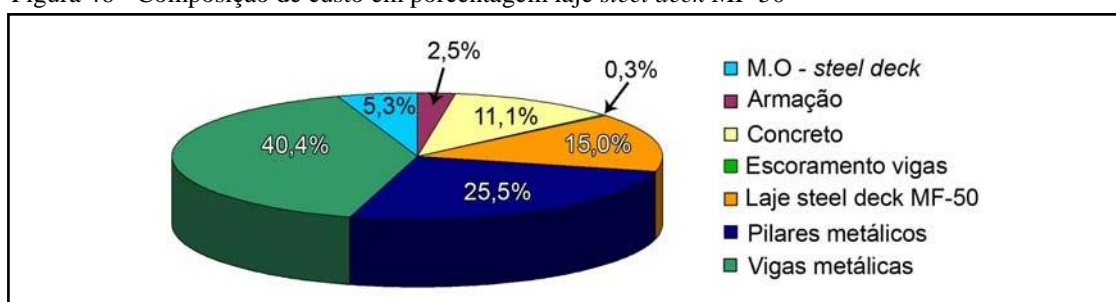
Quadro 24 - Composição de custo para laje *steel deck* MF-50

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total			%
				Material	Mão Obra	Material	M.Obra	Total	
3	Laje mista MF-50 - Superestrutura					694.488,90	288.561,60	983.050,50	100
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00	5,03	1	20.280,96	4.032,00	24.312,96	2,47
2.	Concreto Usinado C25	m3	344	257,25	60	88.494,00	20.640,00	109.134,00	11,1
3.	Escoramento das vigas	un.	62	33,27	6	2.062,74	372	2.434,74	0,25
4.	<i>Steel deck</i>	m2	4.032,00	36,6		147.571,20	-	147.571,20	15,01
5.	Pilares metálicos	kg	27.840,00	6	3	167.040,00	83.520,00	250.560,00	25,49
6.	Vigas metálicas	kg	44.140,00	6	3	264.840,00	132.420,00	397.260,00	40,41
7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1	1.900,00		1.900,00	-	1.900,00	0,19
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1	2.300,00		2.300,00	-	2.300,00	0,23
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00		11,8	-	47.577,60	47.577,60	4,84

Fonte: (O Autor)

O gráfico da Figura 46 apresenta a composição de custo em porcentagem para a laje *steel deck* com MF-50.

Figura 46 - Composição de custo em porcentagem laje *steel deck* MF-50



Fonte: (O Autor)

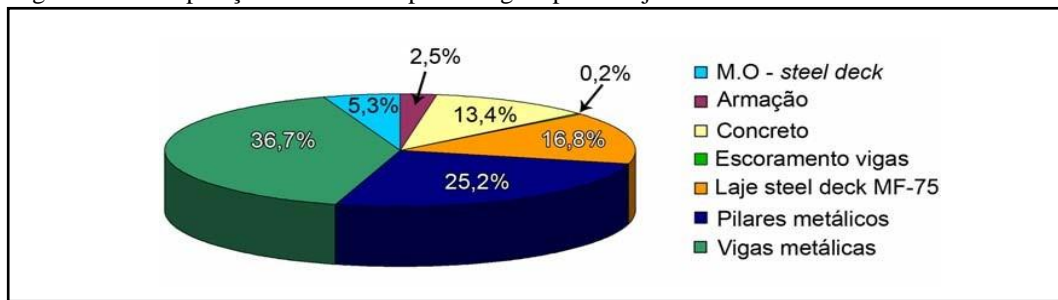
A laje mista *steel deck* MF-50, apesar de ter um número maior de vigas, para eliminar o escoramento da laje, assim mesmo apresentou um custo inferior às demais lajes utilizadas.

Quadro 25 - Composição de custo laje *steel deck* MF-75

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total			%
				Material	Mão Obra	Material	M.Obra	Total	
6	Laje mista MF-75 - Superestrutura					703.197,48	279.603,60	982.801,08	100
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00	5,03	1	20.280,96	4.032,00	24.312,96	2,47
2.	Concreto Usinado C25	m3	416	257,25	60	107.016,00	24.960,00	131.976,00	13,43
3.	Escoramento das vigas	un.	44	33,03	6	1.453,32	264	1.717,32	0,17
4.	<i>Steel deck</i>	m2	4.032,00	40,85		164.707,20	-	164.707,20	16,76
5.	Pilares metálicos	kg	27.552,00	6	3	165.312,00	82.656,00	247.968,00	25,23
6.	Vigas metálicas	kg	40.038,00	6	3	240.228,00	120.114,00	360.342,00	36,66
7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1	1.900,00		1.900,00	-	1.900,00	0,19
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1	2.300,00		2.300,00	-	2.300,00	0,23
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00		11,8	-	47.577,60	47.577,60	4,84

Fonte: (O Autor)

O gráfico da Figura 47 apresenta a composição de custo em porcentagem para a laje *steel deck* com MF-75.

Figura 47 - Composição de custo em porcentagem para a laje *steel deck* MF-75

Fonte: (O Autor)

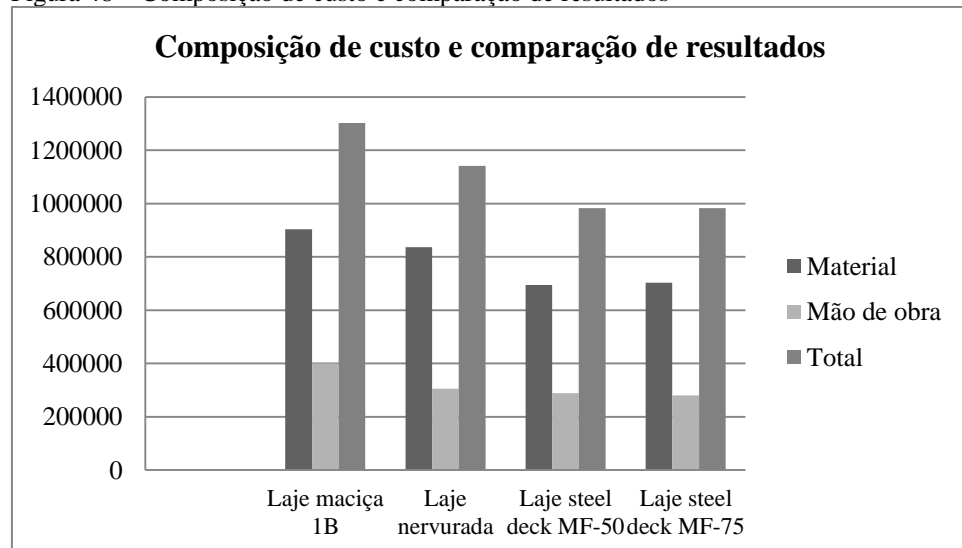
Dentre todos os sistemas de laje apresentados, a solução com *steel deck* MF-75 apresentou o menor custo total, em percentuais pode-se afirmar que as duas opções de laje com *steel deck* obtiveram o mesmo resultado, o *steel deck* MF-50 teve um custo total de 0,03% maior que o *steel deck* MF-75.

5.5 Comparação de resultados de custo

Neste item são analisados, de forma comparativa, os resultados de custos obtidos para cada uma das soluções estruturais adotadas para o projeto de análise. Os dados utilizados para a composição de custo são referentes à Agosto de 2019 da região do Sul de Minas Gerais.

No gráfico da Figura 48, são apresentados os custos de mão de obra, de materiais e custo total, para as soluções estudadas.

Figura 48 – Composição de custo e comparação de resultados



Fonte: (O Autor)

No Quadro 26, podem ser verificadas numericamente as diferenças de custos para as soluções estruturais adotadas.

Quadro 26- Custo geral

Item	Descrição	Un	Quant. material	Custo Unitário		Custo Total		Total	%	custo por m2
				Material	Mão Obra	Material	M.Obra			
1B	Laje Maciça 2 - Superestrutura					903.123,12	399.552,00	1.302.675,12	100	301,55
1.	Forma chapa resinada 12mm	m2	4.032,00	15,26	20	61.528,32	80.640,00	142.168,32	10,91	
2.	Armação Aco CA-50	kg	24.000,00	4,1	1	98.400,00	24.000,00	122.400,00	9,4	
3.	Concreto Usinado C25	m3	408	257,25	60	104.958,00	24.480,00	129.438,00	9,94	
4.	Escoramento	m2	4.032,00	5,63	6	22.700,16	24.192,00	46.892,16	3,6	
5.	Pilares Metálicos	Kg	29.520,00	6	3	177.120,00	88.560,00	265.680,00	20,39	
6.	Vigas metálicas	kg	52.560,00	6	3	315.360,00	157.680,00	473.040,00	36,31	
7.	Acréscimo de forma para acompanhar <i>steel Deck</i>	Kg	4.032,00	30,52		123.056,64	-	123.056,64	9,45	
2	Laje Nervurada - Superestrutura					835.930,04	305.553,60	1.141.483,64	100	264,23
1.	Forma 1 - Caçambas (472unX7dias/lajeX8lajes)	un.	26.432,00	0,8	0,3	21.145,60	7.929,60	29.075,20	2,55	
2.	Forma chapa resinada 12mm	m2	850	15,26	20	12.971,00	17.000,00	29.971,00	2,63	
3.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138)	m2	4.032,00	10,14	1	40.884,48	4.032,00	44.916,48	3,93	
4.	Concreto Usinado C25	m3	752	257,25	60	193.452,00	45.120,00	238.572,00	20,9	
5.	Armação Aco CA-50	kg	59.608,00	4,1	1	244.392,80	59.608,00	304.000,80	26,63	
6.	Escoramento	m2	4.032,00	6,88	6	27.740,16	24.192,00	51.932,16	4,55	
7.	Pilares metálicos	kg	33.096,00	6	3	198.576,00	99.288,00	297.864,00	26,09	
8.	Vigas metálicas	kg	16.128,00	6	3	96.768,00	48.384,00	145.152,00	12,72	
3	Laje mista MF-50 - Superestrutura					694.488,90	288.561,60	983.050,50	100	227,56
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00	5,03	1	20.280,96	4.032,00	24.312,96	2,47	
2.	Concreto Usinado C25	m3	344	257,25	60	88.494,00	20.640,00	109.134,00	11,1	
3.	Escoramento das vigas	un.	62	33,27	6	2.062,74	372	2.434,74	0,25	
4.	Steel Deck	m2	4.032,00	36,6		147.571,20	-	147.571,20	15,01	
5.	Pilares metálicos	kg	27.840,00	6	3	167.040,00	83.520,00	250.560,00	25,49	
6.	Vigas metálicas	kg	44.140,00	6	3	264.840,00	132.420,00	397.260,00	40,41	

7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1	1.900,00		1.900,00	-	1.900,00	0,19	227,5
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1	2.300,00		2.300,00	-	2.300,00	0,23	
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00		11,8	-	47.577,60	47.577,60	4,84	
4	Laje mista MF-75 - Superestrutura					703.197,48	279.603,60	982.801,08	100	
1.	Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75)	m2	4.032,00	5,03	1	20.280,96	4.032,00	24.312,96	2,47	
2.	Concreto Usinado C25	m3	416	257,25	60	107.016,00	24.960,00	131.976,00	13,43	
3.	Escoramento das vigas	un.	44	33,03	6	1.453,32	264	1.717,32	0,17	
4.	Steel Deck	m2	4.032,00	40,85		164.707,20	-	164.707,20	16,76	
5.	Pilares metálicos	kg	27.552,00	6	3	165.312,00	82.656,00	247.968,00	25,23	
6.	Vigas metálicas	kg	40.038,00	6	3	240.228,00	120.114,00	360.342,00	36,66	
7.	Mobilização montagem do <i>steel deck</i>	vb	1	1.900,00		1.900,00	-	1.900,00	0,19	
8.	Mobilização máquina <i>stud bolt</i>	vb	1	2.300,00		2.300,00	-	2.300,00	0,23	
9.	Mão de obra de montagem do <i>steel deck</i>	m2	4.032,00		11,8	-	47.577,60	47.577,60	4,84	

Fonte: (O Autor)

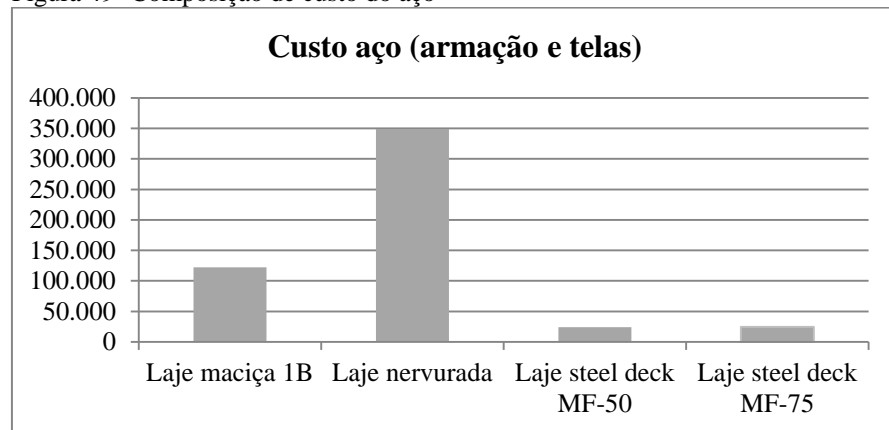
Como se pode perceber a solução de menor custo foi com a laje mista *steel deck* MF-75 que apresentou custo praticamente igual à solução com lajes mistas *steel deck* MF-50.

A laje nervurada apresentou a terceira solução com menor custo, reduzindo significativamente o percentual com estrutura metálica em relação ao *steel deck*.

Pode-se avaliar que a laje maciça, estrutura mais convencional, tem o segundo custo maior com mão de obra, em relação à laje *steel deck* MF-75 o custo da mão de obra está 42% maior.

Nos gráficos das figuras subsequentes, é analisada a composição de custos dos itens isolados. Na Figura 49, são apresentados os gráficos para os custos do aço, envolvendo mão de obra com a montagem das armações e colocação das telas e o custo do material.

Figura 49- Composição de custo do aço

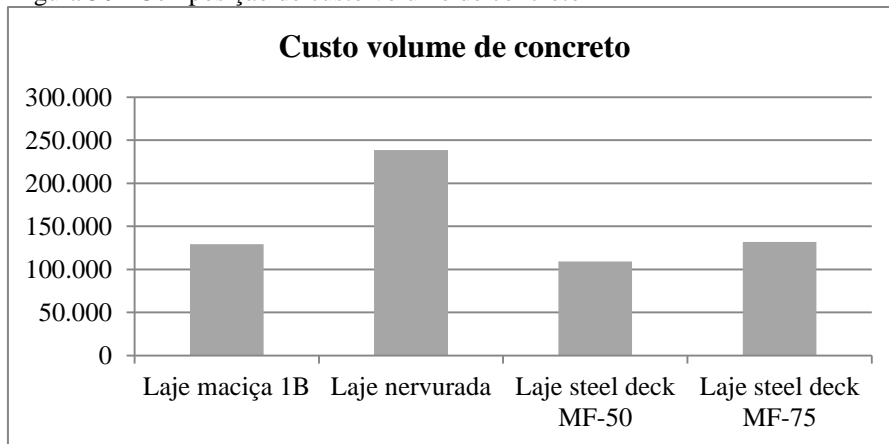


Fonte: (O Autor)

Na Figura 49, o custo com armação é predominante na solução com laje nervurada, opção onde a estrutura metálica foi reduzida, trabalhando-se apenas com vigas nas bordas. A laje maciça também apresentou elevado custo em relação às outras soluções, pelo fato das outras opções trabalharem apenas com telas para a concretagem do capeamento.

No gráfico da Figura 50, são apresentados os custos do volume de concreto para cada tipo de laje.

Figura 50 - Composição de custo volume de concreto

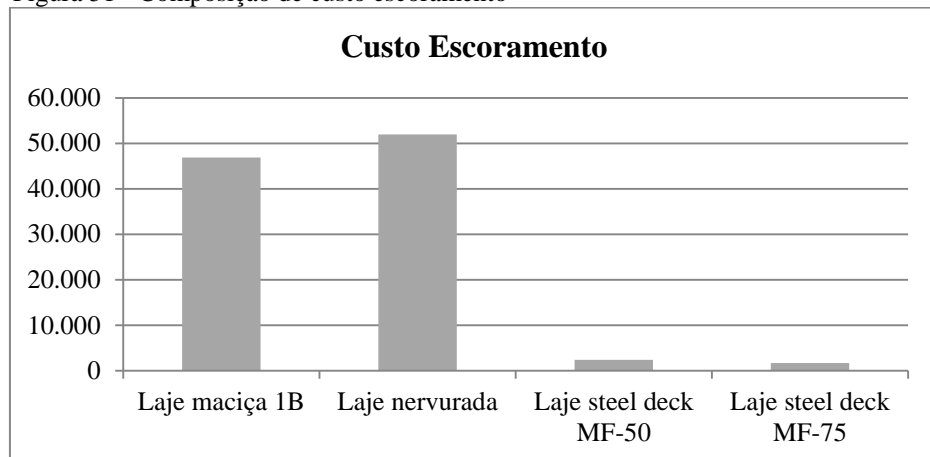


Fonte: (O Autor)

O custo com o volume de concreto foi mais significativo na laje nervurada, isso aconteceu devido à redução de vigas e à espessura maior da laje, a solução com *steel deck* MF-75 que apresentou o menor custo total tem o segundo maior custo de volume de concreto.

No gráfico da Figura 51, são apresentados os custos com escoramento.

Figura 51 - Composição de custo escoramento

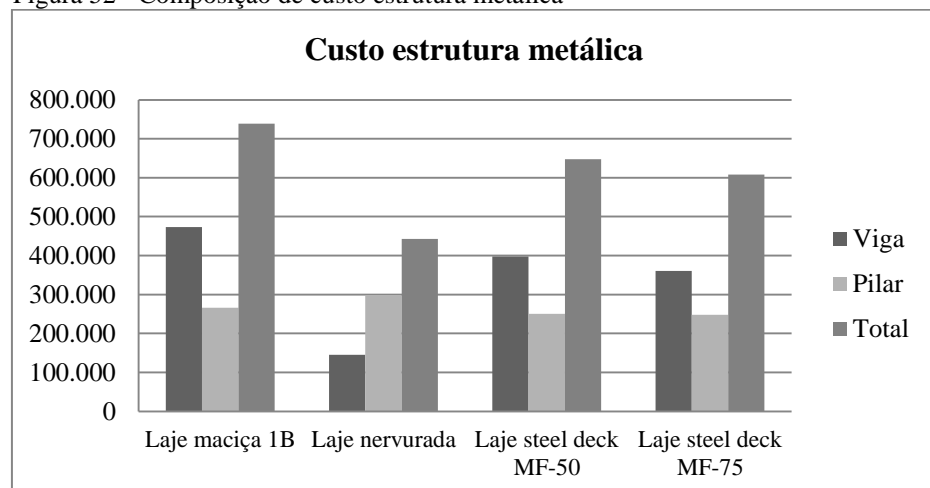


Fonte: (O Autor)

A laje nervurada apresenta, no gráfico da Figura 51, o maior custo com escoramento, seguido da laje maciça com uma diferença de quase 11%. Na solução com *steel deck*, o custo com escoramento foi muito baixo, somente as vigas foram escoradas, pois foi considerada para dimensionamento construção escorada, isto é, as mesmas só podem ser solicitadas como vigas mistas após a cura da laje.

No gráfico da Figura 52 é apresentada a composição de custo para a estrutura metálica.

Figura 52 - Composição de custo estrutura metálica



Fonte: (O Autor)

Conforme mostra na Figura 52, o sistema que teve o menor custo com a estrutura metálica foi a laje *steel deck* MF-75, porém analisando as lajes onde foram consideradas vigas mistas (laje maciça, *steel deck* MF-50 e *steel deck* MF-75) percebe-se que o custo da estrutura metálica não varia significativamente.

5.6 Considerações finais dos resultados de custo

Analisaram-se quatro sistemas de laje, as que precisaram de escoramento, como a laje maciça e nervurada que além de escoramentos necessitou de formas adicionais para acompanhar o ritmo de montagem e concretagem das demais lajes.

A avaliação, mostrou que a laje mista com *steel deck* MF-75 apresentou o menor custo total, o dimensionamento dessa estrutura contou com a utilização eficiente dos materiais estruturais, aço e concreto. Esta associação entre o perfil de aço e a estrutura de concreto, denominada estrutura mista, apresentou uma vantagem econômica substancial em relação a outros sistemas de laje.

Portanto, conclui-se que a combinação aço-concreto nas vigas mistas apresentou vantagens em relação ao dimensionamento das vigas de aço isolada, e a opção por sistemas de lajes mista sem forma e sem escoramento apresentou o melhor custo.

5.7 Planejamento de obra

Neste tópico os processos construtivos para cada sistema de laje será analisado individualmente a fim de concluir através do planejamento da obra, tendo como foco apenas a execução das lajes, qual o sistema viável em relação a prazo, visando o menor tempo de execução, e por fim, analisar o prazo aliado com o custo já apresentado no tópico anterior.

Partindo do princípio de que os serviços preliminares e fundação da edificação já estejam preparados, o planejamento se dará através de uma análise individual por pavimento para cada tipo de laje analisada. Nesta análise será considerada a montagem da estrutura metálica (pilares e vigas) por pavimento.

Para efeito de cálculo das durações das atividades serão usados índices de produção com base nas informações na TCPO-12 da Pini e eventualmente em outras fontes de dados. As quantidades de insumos utilizadas para o cálculo da duração será por pavimento.

Para todas as lajes será considerada como data inicial a partir do primeiro dia útil de setembro de 2019, referido como Mês 1 no cronograma de barras, onde a partir dessa data serão calculadas as durações das atividades pertinentes a cada tipo de laje e com isso obtendo o prazo total de projeto para cada laje.

5.7.1 Planejamento de execução de obra - laje maciça

5.7.1.1 Quadro de duração laje maciça

Quadro 27 - Quadro de duração laje maciça

QUADRO DE DURAÇÃO LAJE MACIÇA								
ATIVIDADE	UN	QTDE	RECURSO	ÍNDICE DO RECURSO	JORNADA	DIAS	DURAÇÃO ADOTADA (dias)	QTDE RECURSO
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	10135	ajudante	0,2	10,2	28,389356	30	7
			montador	0,4	10,2	33,120915		12
Escoramento	m ²	540	ajudante	0,12	10,2	2,1176471	3	3
			pedreiro	0,4	10,2	3,0252101		7
Formas	m ²	540	ajudante	0,12	10,2	1,5882353	3	4
			carpinteiro	0,2	10,2	2,6470588		4
Aço CA-50	kg	3000	armador	0,08	10,2	2,9411765	3	8
			ajudante	0,12	10,2	3,9215686		9
Concretagem	m ³	51	ajudante	1,2	10,2	1,5	1	4
			pedreiro	1	10,2	1		5
Desforma	m ²	540	ajudante	0,12	10,2	2,1176471	3	3
			pedreiro	0,7	10,2	4,6323529		8

Fonte: (O Autor)

5.7.1.2 Cronograma físico-financeiro laje maciça

O cronograma físico-financeiro da laje maciça (Quadro 28) se deu através do cálculo da duração de cada etapa obtido no tópico anterior, e aliado com o cronograma de barras das lajes em estudo, que pode ser visualizado no APÊNDICE B, onde é apresentada a sequência de cada atividade de acordo com sua duração em dias.

Quadro 28 - Cronograma físico-financeiro laje maciça

CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO LAJE MACIÇA								
ATIVIDADE	UNID.	QTDE	PREÇO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)	MÊS 01		MÊS 02	
					%	VALOR	%	VALOR
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	10135,00	R\$ 92.340,00	R\$ 738.720,00	80%	R\$ 91.840,00	20%	R\$ 500,00
Escoramento	m ²	504,00	R\$ 5.861,52	R\$ 46.892,16			100%	R\$ 46.892,16
Formas	m ²	504,00	R\$ 17.771,04	R\$ 142.168,32			100%	
Concretagem	m ³	408,00	R\$ 16.179,75	R\$ 129.438,00			100%	
Desforma	m ²	504,00	R\$ 17.771,04	R\$ 142.168,32			100%	
TOTAL POR MÊS						R\$ 91.840,00		R\$ 47.392,16
TOTAL OBRA						R\$ 139.232,16		

Fonte: (O Autor)

5.7.2 Planejamento de execução de obra - laje nervurada

5.7.2.1 Quadro de duração laje nervurada

Quadro 29 - Quadro de duração laje nervurada

QUADRO DE DURAÇÃO LAJE NERVURADA								
ATIVIDADE	UN	QTDE	RECURSO	ÍNDICE DO RECURSO	JORNADA	DIAS	DURAÇÃO ADOTADA (dias)	QTDE RECURSO
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	6153	ajudante	0,8	10,2	37,122172	30	13
			montador	0,4	10,2	34,470588		7
Escoramento	m ²	540	ajudante	0,12	10,2	3,1764706	3	2
			pedreiro	0,4	10,2	3,5294118		6
Formas	m ²	540	ajudante	0,12	10,2	2,1176471	3	3
			carpinteiro	0,2	10,2	2,6470588		4
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	540	armador	0,08	10,2	2,1176471	3	2
			ajudante	0,12	10,2	3,1764706		2
Armação aço CA 50	kg	3202	armador	0,08	10,2	3,5876751	3	7
			ajudante	0,12	10,2	4,7088235		8
Concretagem	m ³	51	servente	1,2	10,2	1,5	1	4
			pedreiro	1	10,2	1,6666667		3
Desforma	m ²	540	servente	0,12	10,2	1,5882353	3	4
			pedreiro	0,7	10,2	4,6323529		8

Fonte: (O Autor)

5.7.2.2 Cronograma físico-financeiro laje nervurada

O cronograma físico-financeiro da laje nervurada (Quadro 30) se deu através do cálculo da duração de cada etapa obtido no tópico anterior, e aliado com o cronograma de barras das lajes em estudo, que pode ser visualizado no APÊNDICE B, onde é apresentada a sequência de cada atividade de acordo com sua duração em dias.

Quadro 30 - Cronograma físico-financeiro laje nervurada

CRONOGRAMA FISICO-FINANCEIRO LAJE NERVURADA									
ATIVIDADE	UNID.	QTDE	PREÇO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)	MÊS 01		MÊS 02		
					%	VALOR	%	VALOR	
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	6153,00	R\$ 55.377,00	R\$ 443.016,00	80%	R\$ 54.877,00	20%	R\$ 500,00	
Escoramento	m ²	504,00	R\$ 6.491,52	R\$ 51.932,16			100%	R\$ 6.491,52	

Formas	m ²	3410,25	R\$ 7.380,77	R\$ 59.046,20			100%	R\$ 7.380,77
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	504,00	R\$ 5.614,56	R\$ 44.916,48			100%	R\$ 5.614,56
Armação aço CA 50	kg	7076,00	R\$ 38.000,10	R\$ 304.000,80			100%	R\$ 38.000,10
Concretagem	m ³	94,00	R\$ 29.821,50	R\$ 238.572,00			100%	R\$ 29.821,50
Desforma	m ²	3410,25	R\$ 7.380,77	R\$ 59.046,20			100%	R\$ 7.380,77
TOTAL POR MÊS					R\$ 54.877,00			R\$ 95.189,22
TOTAL OBRA					R\$ 150.066,22			

Fonte: (O Autor)

5.7.3 Planejamento de execução de obra - *Steel deck* MF 50 e MF 75

5.7.3.1 Quadro de duração laje *steel deck* MF 50

Quadro 31 - Quadro de duração laje *steel deck* MF 50

QUADRO DE DURAÇÃO LAJE STEEL DECK MF-50								
ATIVIDADE	UN	QTDE	RECURSO	ÍNDICE DO RECURSO	JORNADA	DIAS	DURAÇÃO ADOTADA (dias)	QTDE RECURSO
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	8997,5	ajudante	0,181	8,8	46,265554	30	4
			montador	0,027	8,8	13,802983		2
Escoramento	m ²	7,75	ajudante	0,08	8,8	0,0704545	0,5	1
			pedreiro	0,01	8,8	0,0088068		1
Steel deck	m ²	540	ajudante	0,0082	8,8	0,2515909	0,5	2
			montador	0,0017	8,8	0,1043182		1
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	540	armador	0,0094	8,8	0,5768182	0,5	1
			ajudante	0,0015	8,8	0,0460227		2
Concretagem	m ³	43	servente	0,1	8,8	0,4886364	0,5	1
			pedreiro	0,1	8,8	0,4886364		1

Fonte: (O Autor)

5.7.3.2 Cronograma físico-financeiro laje *steel deck* MF 50

O cronograma físico-financeiro da laje *steel deck* com MF 50 (Quadro 32) se deu através do cálculo da duração de cada etapa obtido no tópico anterior, e aliado com o

cronograma de barras das lajes em estudo, que pode ser visualizado no APÊNDICE B, onde é apresentada a sequência de cada atividade de acordo com sua duração em dias.

Quadro 32 - Cronograma fisico-financeiro laje *steel deck* MF 50

CRONOGRAMA FISICO-FINANCEIRO LAJE STEEL DECK MF-50								
ATIVIDADE	UNID.	QTDE	PREÇO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)	MÊS 01		MÊS 02	
					%	VALOR	%	VALOR
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	8997,50	R\$ 80.977,50	R\$ 647.820,00	90%	R\$ 79.977,50	10%	R\$ 1.000,00
Escoramento	m ²	7,75	R\$ 304,34	R\$ 2.434,74			100%	R\$ 304,34
Steel Deck	m ²	504,00	R\$ 18.446,40	R\$ 147.571,20			100%	R\$ 18.446,40
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	504,00	R\$ 3.039,12	R\$ 24.312,96			100%	R\$ 3.039,12
Concretagem	m ³	43,00	R\$ 13.641,75	R\$ 109.134,00			100%	R\$ 13.641,75
TOTAL POR MÊS						R\$ 79.977,50		R\$ 36.431,61
TOTAL OBRA						R\$ 116.409,11		

Fonte: (O Autor)

5.7.3.3 Quadro de duração laje *steel deck* MF 75

Quadro 33 - Quadro de duração laje *steel deck* MF 75

QUADRO DE DURAÇÃO LAJE STEEL DECK MF-75								
ATIVIDADE	UN	QTDE	RECURSO	ÍNDICE DO RECURSO	JORNADA	DIAS	DURAÇÃO ADOTADA (dias)	QTDE RECURSO
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	8448,75	ajudante	0,13	8,8	31,20277	30	4
			montador	0,08	8,8	38,403409		2
Escoramento	m ²	5,5	ajudante	0,25	8,8	0,15625	0,5	1
			pedreiro	1	8,8	0,625		1
Steel deck	m ²	540	ajudante	0,08	8,8	4,9090909	1	1
			montador	0,12	8,8	3,6818182		2
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	540	armador	0,08	8,8	4,9090909	1	1
			ajudante	0,12	8,8	3,6818182		2
Concretagem	m ³	52	servente	0,1	8,8	0,5909091	0,5	1
			pedreiro	0,18	8,8	1,0636364		1

Fonte: (O Autor)

5.7.3.4 Cronograma físico-financeiro laje steel deck MF 75

O cronograma físico-financeiro da laje *steel deck* com MF 75 (Quadro 34) se deu através do cálculo da duração de cada etapa obtido no tópico anterior, e aliado com o cronograma de barras das lajes em estudo, que pode ser visualizado no APÊNDICE B, onde é apresentada a sequência de cada atividade de acordo com sua duração em dias.

Quadro 34 - Cronograma físico-financeiro laje *steel deck* MF 75

CRONOGRAMA FISICO-FINANCIERO LAJE STEEL DECK MF-75								
ATIVIDADE	UNID.	QTDE	PREÇO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)	MÊS 01		MÊS 02	
					%	VALOR	%	VALOR
Estrutura metálica (vigas/pilares)	m ²	8448,75	R\$ 76.038,75	R\$ 608.310,00	90%	R\$ 75.038,75	10%	R\$ 1.000,00
Escoramento	m ²	5,50	R\$ 214,66	R\$ 1.717,32			100%	R\$ 214,66
Steel Deck	m ²	504,00	R\$ 20.588,40	R\$ 164.707,20			100%	R\$ 20.588,40
Armação aço CA 60 - Tela Q 138	m ²	504,00	R\$ 3.039,12	R\$ 24.312,96			100%	R\$ 3.039,12
Concretagem	m ³	52,00	R\$ 16.497,00	R\$ 131.976,00			100%	R\$ 16.497,00
TOTAL POR MÊS						R\$ 75.038,75		R\$ 41.339,18
TOTAL OBRA						R\$ 116.377,93		

Fonte: (O Autor)

5.8 Comparação dos resultados obtidos no planejamento de execução das lajes

Como se pode perceber a laje que apresentou menor duração em dias é a laje *steel deck* com MF-75, que apresentou também uma menor quantidade de recursos em sua execução.

A laje *steel deck* com MF-50 é a segunda melhor alternativa em relação à duração em dias e a quantidade de recursos que se apresenta menor que a laje nervurada e laje maciça.

A terceira opção de laje para o projeto de análise, visando duração e quantidade de recursos, é a laje nervurada. E por fim, a laje maciça que apresenta a solução menos viável, mesmo sendo um modelo simples de execução, devido à quantidade de recursos se apresentarem maior que as demais soluções, faz com que o valor da mão de obra consecutivamente aumente.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feito um estudo com vários sistemas de laje para estrutura metálica. Na revisão bibliográfica, apresentaram-se as vantagens e desvantagens para cada sistema, como também as principais características, critérios para dimensionamento e procedimentos construtivos.

Com base em um projeto de análise, foi estudado três sistemas de laje, considerando quantitativo e custos de material e mão de obra, além da duração de cada atividade em dias e quantidade de recursos.

Com o objetivo de avaliar o sistema de laje com o menor custo de material e mão de obra aliado com uma menor duração e quantidade de recursos utilizados para o processo executivo, foi elaborado um estudo para um projeto de análise. A avaliação deu-se seguindo os procedimentos das normas técnicas da ABNT e as lajes dimensionadas pelo CAD-TQS e planilhas de composição de custo de material, quadro de duração, cronograma físico-financeiro, cronograma de barras, as quais foram desenvolvidas no Excel. Foi analisado um edifício de oito pavimentos, com estrutura compatível com as construções realizadas comercialmente, onde foram comparados os seguintes sistemas de lajes: laje maciça, laje nervurada, laje mista com *steel deck* MF-50 e MF-75.

A avaliação feita para o projeto de análise mostrou que a laje mista com *steel deck* MF-75 apresentou o menor consumo total de material, assim como menor custo de insumos e mão de obra, além de sua duração em dias e quantidade de recursos utilizados no processo executivo que também se apresentou menor em relação às demais. O dimensionamento dessa estrutura contou com a utilização eficiente dos materiais estruturais, aço e concreto. Esta associação entre o perfil de aço e a estrutura de concreto, denominada estrutura mista, apresentou uma vantagem econômica substancial em relação aos outros sistemas de laje estudados.

Como se pode perceber a laje mista *steel deck* MF-75 apresentou resultados semelhantes à solução com lajes mistas *steel deck* MF-50. A laje nervurada apresentou a terceira solução com resultados mais vantajosos em relação à laje maciça em que se pode avaliar que a estrutura mais convencional, tem o maior consumo de material, maior custo e maior quantidade de recursos a serem utilizados no seu processo construtivo.

Não se pretende, com este trabalho, indicar uma solução-padrão ou ideal, essas diferenças de consumo de material, composição de custos e planejamento de obra não pode

ser analisada friamente, devem ser avaliadas dentro do contexto do empreendimento e que nem sempre o melhor custo é a solução mais viável. Além dos custos devem ser verificadas as condições construtivas, a equipe de trabalho, a mão de obra e os materiais disponíveis na região. Numa comparação genérica, se todos esses aspectos forem semelhantes, com base nos resultados obtidos neste trabalho poderá se obter o sistema de laje mais adequado. Para uma premissa em relação a consumo de material, custo e planejamento a laje mais viável seria a laje *steel deck* MF-75.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. A. L. de. **Laje mista com deck–metálico**, 6º CECAP. Colóquio sobre Estruturas de Concreto Armado e Protendido. Rio de Janeiro, 1990. v. 2, p. 54–75.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2008. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Abril, 2008.
- BEZERRA, D. P. **Análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos considerados a rigidez transversal à flexão das lajes**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.
- BRENDOLAN, G. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes com fôrma de aço incorporada**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. v.2.
- DELIBERATO, C. **Diretrizes para o projeto e execução de lajes mistas de concreto e chapas metálicas trapezoidais (steel deck)**. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Departamento de Planejamento, Gestão e Projeto, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2006.
- ESCRIVÃO FILHO, E. **Gerenciamento da construção civil**. São Carlos: RiMa artes e Textos, 1998.
- HELENE, Paulo - **Controle de Qualidade do Concreto**. In: II SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1989, Florianópolis. Anais...Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1989. p. 45-63.
- JUNGLES, Antônio Edésio, **Introdução ao Planejamento**, notas de aula, Departamento de Engenharia Civil - UFSC, Florianópolis, SC, 2010.
- JUNGLES, A. E. - AVILA, A. V. **Gerenciamento na construção**. Chapecó (SC): Argos, 2006.
- KNOLSEISEN, P. C. **Compatibilização de Orçamento com Planejamento do Processo de Trabalho para Obras de Edificações**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2003
- LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Editora LTC. 225 pág. Rio de Janeiro: 1997.

MITTAL, Acelor. Manual técnico de lajes treliçadas. São Paulo, 2014.

MALITE, M. **Sobre o Cálculo de Vigas Mistas Aço-Concreto: Ênfase em Edifícios**. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

MATTOS, Aldo Doréa. **Como preparar orçamento de obras: Dicas para o orçamentista**, estudos de caso, exemplos. 1º ed. São Paulo: Pini, 2006.

MATTOS, Aldo Dórea, **Planejamento e controle de obras**. 1.ed São Paulo: Pini, 2010.

MOTTA, Lidenor de Mello. **Produtividade e Consumo em Obras**. Rio de Janeiro: Distribuidora Record, 1970.

PINI. TCPO (**Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**). 13 ed. 2010.

SALES, J.J. **Estudo do projeto e da construção de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço**. Escola de Engenharia de São Carlos Tese (Doutorado). São Carlos, 1995.

SAÚDE, J.; RAIMUNDO, D.; PROLA, L. C.; PIERIN, I. **Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações do Eurocódigo 4**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2., 2006, São Paulo.

TISAKA, Maçahico. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. Editora Pini. São Paulo / 2006.

WWW.ATEX.COM.BR. **A forma da laje nervurada**. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/>>. Acesso em: 17 abril.2019

WWW.METFORM.COM.BR. **Edificando o futuro**. Disponível em: <<http://www.metform.com.br/>>. Acesso em: 02 mai.2019.

APÊNDICE A – Memorial de cálculo da estrutura metálica

1- Entrada de dados:

Verificação das vigas mistas: NBR 8800:2008	
Interação completa - Construção escorada	
Dados da seção de aço W 200x15 (mm)	
Altura total	d = 200
Largura da mesa	bf = 120
Espessura da alma	tf = 6,3
Espessura da mesa	tw = 4,75
Espessura da laje de concreto	tc = 60
Atura da forma	hf = 50
Vão	L = 6000
Distancia a viga adjacente esquerda	L1 = 3000
Distancia a viga adjacente direita	L2 = 3000
Diâmetro dos conectores	16
Dados dos materiais (kN/cm ²)	fy = 25
	Es = 20000
	fu = 40
	fucs = 25
Concreto (Mpa)	fck = 20
Momento de cálculo total (kN/cm)	Msd = 13714

2- Propriedades geométricas da viga de aço:

$$h = d - 2tf \quad (2.1)$$

$$h = 200 - 2 \times 6,3 = 187,4 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2bf \cdot tf + h \cdot tw}{100} \quad (2.2)$$

$$A = \frac{2 \cdot 120 \cdot 6,3 + 600 \cdot 4,75}{100} = 24,62 \text{ cm}^2$$

$$I_{ax} = \frac{\left[2 \cdot \frac{bf \cdot tf^3}{12} + 2 \times (bf \cdot tf) \cdot \left(\frac{(hf + tf)^2}{2} \right) + \frac{tw \cdot h^3}{2} \right]}{10000} \quad (2.3)$$

$$I_{ax} = \frac{\left[2 \cdot \frac{120 \cdot 6,3^3}{12} + 2 \times (120 \cdot 6,3) \cdot \left(\frac{(50 + 6,3)^2}{2} \right) + \frac{4,75 \cdot 200^3}{2} \right]}{10000} = 1679,25 \text{ cm}^4$$

$$x_o = \frac{d}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} \quad (2.4)$$

$$W_a = \frac{I_{ax}}{\frac{x_0}{2}} = \frac{167925}{100} = 1679,3 \text{ cm}^3 \quad (2.5)$$

3- Classificação da viga de aço:

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{200}{6,3} = 31,74 \quad (3.1)$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \left(\frac{E_s}{f_y}\right)^{0,5} = 3,76 \cdot \left(\frac{20000}{250}\right)^{0,5} = 33,63 \quad (3.2)$$

$$\lambda_r = 5,6 \cdot \left(\frac{E_s}{f_y}\right)^{0,5} = 5,6 \cdot \left(\frac{20000}{250}\right)^{0,5} = 50 \quad (3.3)$$

Como $\lambda_w \leq \lambda_p$, seção semi-compacta, verificar tensões na viga e na laje.

Largura efetiva da laje:

$$b_{min} = \frac{L}{4} \text{ ou } b_{min} = 16 \cdot t_c + b_f \text{ ou } b_{min} = b_f + \left(\frac{L1 + L2}{2}\right) \quad (3.4)$$

$$b_{min} = \frac{6000}{4} = 1500 \text{ mm}; \quad b_{min} = 16 \cdot 60 + 120 = 1080 \text{ mm};$$

$$b_{min} = 120 + \left(\frac{3000 + 3000}{2}\right) = 3120 \text{ mm}$$

$$b_{min, adotado} = \frac{1080}{2} = 540 \text{ mm}$$

4- Cisalhamento na interface:

$$T_d = A \cdot \left(\frac{f_y}{1,1}\right) = 545,94 \text{ kN} \quad (4.1)$$

$$C_d = \frac{0,85 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right) \cdot \left(\frac{b}{10}\right) \cdot \left(\frac{t_c}{10}\right)}{1,4} \quad (4.2)$$

$$C_d = \frac{0,85 \cdot \left(\frac{20}{10}\right) \cdot \left(\frac{540}{10}\right) \cdot \left(\frac{60}{10}\right)}{1,4} = 393,43 \text{ kN}$$

$$V_{rd, min} = 393,43 \text{ kN}$$

5- Resistência dos conectores *Stud bolt*:

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4 \cdot 100} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4 \cdot 100} = 2,01 \text{ cm}^2 \quad (5.1)$$

$$E_c = 4760 \cdot f_{ck}^{0,5} = 4760 \cdot 20^{0,5} = 21287,37 \text{ Mpa} \quad (5.2)$$

$$q_{n1} = 0,5 \cdot \left(\frac{A_{cs}}{1,25} \right) \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} \cdot \frac{E_c}{10} \right)^{0,5} \quad (5.3)$$

$$q_{n1} = 0,5 \cdot \left(\frac{2,01}{1,25} \right) \cdot \left(\frac{20}{10} \cdot \frac{20000}{10} \right)^{0,5} = 50,85 \text{ kN}$$

q_{n1} = ruptura do conector.

$$q_{n2} = A_{cs} \cdot \left(\frac{f_u}{1,25} \right) = 2,01 \cdot \left(\frac{40}{1,25} \right) = 64,32 \text{ kN} \quad (5.4)$$

q_{n2} = esmagamento do conector.

$$q_{rd} = 50,85 \text{ kN (resistência do conector)}$$

Número de conectores para interação completa:

$$Q_{rd} = V_{rd} = 393,43 \text{ kN}$$

$$n = \frac{Q_{rd}}{q_{rd}} = \frac{393,43}{50,85} = 7,5 \text{ (para meia viga)} \quad (5.5)$$

Posição da linha neutra plástica:

Quando $Cd \leq Td$ – LNP na viga

Quando $Cd > Td$ – LNP na laje

6- Resistência ao momento fletor:

Se LNP na laje:

$$a = \frac{Td}{0,85 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} \right) \cdot \left(\frac{b}{10} \right)} = \frac{545,94}{0,85 \cdot \left(\frac{20}{10} \right) \cdot \left(\frac{540}{10} \right)} = 8,33 \text{ cm} \quad (6.1)$$

$$Cd = \frac{0,85 \cdot \left(\frac{20}{10} \right) \cdot \left(\frac{b}{10} \right) \cdot a}{1,4} = 545,94 \text{ kN} \quad (6.2)$$

$$M_{rd1} = Td \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot 10} \right) + \left(\frac{tc}{10} \right) + \left(\frac{hf}{10} \right) - \left(\frac{a}{2} \right) = 9192,06 \text{ kN.cm} \quad (6.3)$$

Se LNP na viga:

$$Cd = \frac{0,85 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} \right) \cdot \left(\frac{b}{10} \right) \cdot \left(\frac{tc}{10} \right)}{1,4} = 393,43 \text{ kN} \quad (6.4)$$

$$Cd1 = \left(0,5 \cdot \frac{A \cdot f_y}{1,1} - Cd \right) = 76,26 \text{ kN} \quad (6.5)$$

Posição da linha neutra (mesa ou alma da seção de aço):

$Cd1 > Td$ – LNP na alma

$Cd1 \leq Td$ – LNP na mesa

Portanto, LNP na mesa da viga de aço:

$$Af = \frac{tf \cdot bf}{100} = 7,56 \text{ cm}^2 \quad (6.5)$$

$$y = \frac{Cd1}{Af \cdot fy} \cdot \left(\frac{tf}{10}\right) = 0,25 \text{ cm} \quad (6.6)$$

(posição da LN a partir do fundo da laje)

$$yt = \frac{\left(\frac{h}{10}\right) - y}{2} = 9,24 \text{ cm} \quad (6.7)$$

(ponto de aplicação da resultante de tração)

$$yc = \frac{y}{2} = 0,13 \text{ cm} \quad (6.8)$$

(ponto de aplicação da resultante de compressão na viga)

$$Mrd2 = Cd1 \cdot \left(\frac{d}{10} - yt - yc\right) + Cd \cdot \left(\frac{tc}{2 \cdot 10} + \frac{hf}{10} + \frac{d}{10} - yt\right) \quad (6.9)$$

$$Mrd2 = 8190,10 \text{ kN.cm}$$

7- Para linha neutra na alma da viga de aço:

$$Af = \frac{tf \cdot bf}{100} = 7,56 \text{ cm} \quad (7.1)$$

$$Aw = \frac{tw \cdot h}{100} = 8,9 \text{ cm} \quad (7.2)$$

$$y = \frac{tf}{10} + \frac{Cd1 - Af \cdot fy}{Aw \cdot fy} \cdot \left(\frac{h}{10}\right) \quad (7.3)$$

$$y = -8,86 \text{ cm}$$

(posição da LN a partir do fundo da laje)

$$yt = \frac{\left(\frac{h}{10}\right) - y}{2} = 13,8 \text{ cm} \quad (7.4)$$

(ponto de aplicação da resultante de tração)

$$yc = \frac{y}{2} = -4,43 \text{ cm} \quad (7.5)$$

(ponto de aplicação da resultante de compressão na viga)

$$Mrd3 = Cd1. \left(\frac{d}{10} - yt - yc \right) + Cd. \left(\frac{tc}{2.10} + \frac{hf}{10} + \frac{d}{10} - yt \right) \quad (7.6)$$

Portanto, $Mrd = 8190,10 \text{ kN.cm}$

Verificação do momento fletor:

Como $Msd = 13714 \text{ kN.cm} < Mrd = 8190,10 \text{ kN.cm}$, Não OK!

Com isso, as propriedades geométricas da seção devem ser alteradas.

8- Propriedades geométricas da seção transformada:

$$Ec = 4760. (fck)^{0,5} = 21287,37 \text{ Mpa} \quad (8.1)$$

$$n = \frac{Es}{Ec} = 9,4 \quad (8.2)$$

$$btr = \frac{b}{n} = 5,75 \text{ cm} \quad (8.3)$$

$$Actr = btr. \left(\frac{tc}{10} \right) = 34,49 \text{ cm}^2 \quad (8.4)$$

9- Centro de gravidade da viga de aço:

$$ytr = \frac{A. ya. Actr. \left(\frac{d}{10} + \frac{tc}{2.10} + \frac{hf}{10} \right)}{A + Actr} = 20,61 \quad (9.1)$$

10- Considerando LN na laje:

$$a1 = \frac{d}{10} + \frac{tc}{10} - ytr = 5,39 \text{ cm} \quad (10.1)$$

(distância do topo da laje até a LN)

LN na viga :

$$Iax + A. (ytr - ya)^2 + \frac{btr. \left(\frac{tc}{10} \right)^3}{12} + Actr. \left(\frac{d}{10} + \frac{tc}{2.10} + \frac{hf}{10} - ytr \right)^2 \quad (10.2)$$

LN na laje :

$$Iax + A. (ytr - ya)^2 + \frac{btr. a1^3}{12} + \frac{btr}{10}. a1. \left(\frac{a1}{2} \right)^2 \quad (10.3)$$

Com isso, temos $Itr = 4413,24 \text{ cm}^4$

$$W_{tri} = \frac{I_{tr}}{y_{tr}} = 214,13 \text{ cm}^3 \quad (10.4)$$

$$W_{trs} = \frac{I_{tr}}{\left(\frac{d}{10} + \frac{tc}{10}\right) - y_{tr}} = 818,73 \text{ cm}^3 \quad (10.5)$$

$$I_{xef} = I_{ax} + \sqrt{\left(\frac{Q_{rd}}{V_{rd}}\right)} \cdot (I_{tr} - I_{ax}) = 441,24 \text{ cm}^4 \quad (10.6)$$

$$W_{efs} = W_a + \sqrt{\left(\frac{Q_{rd}}{V_{rd}}\right)} \cdot (W_{trs} - W_a) = 818,73 \text{ cm}^3 \quad (10.7)$$

$$W_{efi} = W_a + \sqrt{\left(\frac{Q_{rd}}{V_{rd}}\right)} \cdot (W_{tri} - W_a) = 214,13 \text{ cm}^3 \quad (10.8)$$

11- Dimensionamento para as barras de compressão:

Dimensionamento das barras de compressão NBR 8800:2008	
Perfil I soldado - Pilar do projeto	
Propriedades geométricas perfil CS250x76 (mm)	
Largura da mesa	bf= 250
Altura total	d = 250
Espessura da mesa	tf = 16
Espessura da alma	tw = 8
Propriedades mecânicas do aço (kN/cm ²)	
fy = 25	
fu= 40	
fr = 0,3 . Fy	
E = 20500	
G = 8000	
Comprimentos e coeficientes de flambagem	
Kx = 1	
Ky = 1	
Kt = 1	
Lx = 300	
Ly = 300	
Lt = 300	
Solicitações de cálculo (kN)	
Nsd = 1190	

12- Propriedades geométricas da seção:

$$h = d - 2 \cdot tf \quad (12.1)$$

$$h = 218 \text{ mm}$$

$$A = (2 \cdot bf \cdot tf + h \cdot tw) \cdot 0,01 \quad (12.2)$$

$$A = 97,44 \text{ cm}^2$$

$$Ix = 10^{-4} \cdot \left[2 \cdot \frac{bf \cdot tf^3}{12} + 2 \cdot bf \cdot tf \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{tf}{2} \right)^2 + \frac{tw \cdot h^3}{12} \right] \quad (12.3)$$

$$Ix = 16658,95 \text{ cm}^4$$

$$Iy = 10^{-4} \cdot \left(2 \cdot \frac{bf^3 \cdot tf}{12} + \frac{tw^3 \cdot h}{12} \right) \quad (12.4)$$

$$Iy = 4167,6 \text{ cm}^4$$

$$rx = \sqrt{\frac{Ix}{A}} = 10,94 \text{ cm} \quad (12.5)$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} = 6,54 \text{ cm} \quad (12.6)$$

$$It = \frac{1}{3} \cdot (bf \cdot tf^3 + bf \cdot tf^3 + h \cdot tw^3) \cdot 10^{-4} \quad (12.7)$$

$$It = 71,99 \text{ cm}^4$$

$$Cw = \frac{(Iy) \cdot \left(\frac{d}{10} - \frac{tf}{10} \right)^2}{4} = 570502,33 \text{ cm}^6 \quad (12.8)$$

$$Wx = \frac{Ix}{\frac{d}{20}} = 932,72 \text{ cm}^3 \quad (12.9)$$

13- Verificação da compressão:

Flambagem local da mesa:

$$kc = \frac{4}{\left(\frac{h}{tw} \right)^5} = 0,766 \quad (13.1)$$

$$\lambda r = 0,64 \cdot \left(\frac{E}{\frac{fy}{kc}} \right)^{0,5} = 16,01 \quad (13.2)$$

$$\lambda_1 = 1,17 \cdot \left(\frac{E}{\frac{fy}{kc}} \right)^{0,5} = 29,27 \quad (13.4)$$

$$\lambda_2 = 0,64 \cdot \left(\frac{E}{\frac{fy}{kc}} \right)^{0,5} = 16,01 \quad (13.5)$$

$$Q_{s1} = 1,415 - 0,65 \cdot \left(\frac{fy}{E \cdot kc} \right)^{0,5} \cdot \frac{bf}{2 \cdot tf} = 1,21 \quad (13.6)$$

$$Q_{s2} = \frac{0,9 \cdot E \cdot kc}{fy \cdot \left(\frac{bf}{2} \cdot tf \right)^2} = 9,23 \quad (13.7)$$

14- Flambagem Local de Alma:

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 27,25 \quad (14.1)$$

$$\lambda_r = 1,49 \cdot \left(\frac{E}{fy} \right)^{0,5} = 42,67 \quad (14.2)$$

Como $\lambda \leq \lambda_r$, $Q_a = 1,0$

$$b_{ef} = 1,91 \cdot tw \cdot \left(\frac{E}{10 \cdot \sigma} \right)^{0,5} \cdot \left[1 - \left(\frac{0,34}{\frac{h}{tw}} \right) \cdot \left(\frac{E}{10 \cdot \sigma} \right)^{0,5} \right] \quad (14.3)$$

$$b_{ef} = 122,73$$

$$A_{ef} = A - \frac{1}{100} \cdot (h - b_{ef}) \cdot tw = 89,82 \text{ cm}^2 \quad (14.4)$$

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A} = 0,92 \quad (14.5)$$

15- Flambagem Global:

$$N_{pl} = A \cdot fy = 2436 \text{ kN} \quad (15.1)$$

16- Flambagem por flexão em x:

$$N_{ex} = (3,14)^2 \cdot \frac{(E \cdot I_x)}{(K_x \cdot L_x)^2} = 261183,64 \text{ kN} \quad (16.1)$$

17- Flambagem por flexão em y:

$$N_{ey} = (3.14)^2 \cdot \left(\frac{E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \right) = 9359,58 \text{ kN} \quad (17.1)$$

18- Flambagem por torção:

$$r_o = (rx^2 + ry^2 + x_o^2 + y_o^2)^{0,5} = 12,74 \quad (18.1)$$

$$N_{ez} = \left(\frac{1}{r_o^2} \right) \cdot \left[\left[\frac{(3.14)^2 \cdot E \cdot C_w}{(k_t \cdot L_t)^2} \right] \right] + G \cdot I_t \quad (18.2)$$

$$N_{ez} = 11433,88 \text{ kN}$$

Portanto, $N_e = 9359,58 \text{ kN}$.

$$\lambda_o = Q \cdot \left(\frac{N_{pl}}{N_e} \right)^{0,5} = 0,51 \quad (18.3)$$

$$x = \lambda_o \leq 1,5 \text{ ou } 0,658^{\lambda_o^2} \text{ ou } \frac{0,877}{\lambda_o^2} \quad (18.4)$$

$$\text{Então, } x = 0,9$$

19- Normal resistente de cálculo – compressão:

$$N_{rd} = \frac{x \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,1} = 1985,98 \text{ kN} \quad (19.1)$$

Verificação ELU – compressão:

$$N_{sd} = 1190 \text{ kN}$$

Como, $N_{sd} \leq N_{rd}$, OK!

20- Estados limites de utilização – compressão:

Esbeltez máxima = 200

$$\lambda_x = \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 27,43 \quad (20.1)$$

$$\lambda_y = \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 45,87 \quad (20.2)$$

Como, $\lambda_x \leq 200$, OK!

Como, $\lambda_y \leq 200$, OK!

