

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCOS VINÍCIUS FREITAS DA CRUZ

**ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA: SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
CONCRETO ARMADO COM LAJES MACIÇAS E ESTRUTURAS DE LAJES
NERVURADAS**

JOÃO MONLEVADE

2018

MARCOS VINÍCIUS FREITAS DA CRUZ

**ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA: SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
CONCRETO ARMADO COM LAJES MACIÇAS E ESTRUTURAS DE LAJES
NERVURADAS**

**Projeto de pesquisa apresentado como
requisito parcial para obtenção de grau
de engenheiro civil na Rede Doctum de
Ensino Unidade de João Monlevade/MG.**

**Professor Orientador: M.Sc. Ladir Antonio
da Silva Junior**

JOÃO MONLEVADE

2018

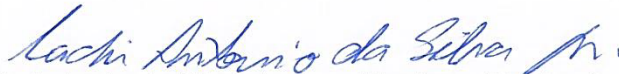
MARCOS VINÍCIUS FREITAS DA CRUZ

**ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA: SISTEMAS ESTRUTURAIS EM
CONCRETO ARMADO COM LAJES MACIÇAS E ESTRUTURAS DE LAJES
NERVURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de bacharel em
Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil,
da Faculdade Doctum de João Monlevade.

João Monlevade, 10 de dezembro de 2018.

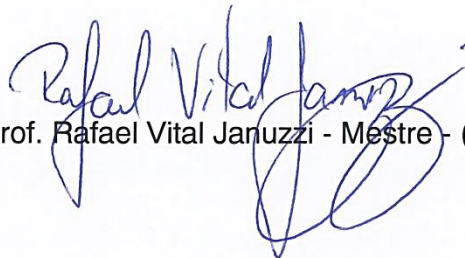
BANCA EXAMINADORA



Prof. Ladir Antonio da Silva Junior - Mestre - (Doctum) - Orientador



Prof. Albênio Thales Arthuso Portes -Especialista - (Doctum)



Prof. Rafael Vital Januzzi - Mestre - (Doctum)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre três sistemas estruturais com ampla aceitação no mercado. Foi proposta a comparação entre o sistema convencional de lajes maciças, convencional de lajes nervuradas pré-moldada treliçada e as lajes lisas nervuradas. Devido à evolução tecnológica da construção e a busca por métodos construtivos alternativos, surge uma vasta opção de concepções estruturais acompanhadas pelo avanço das ferramentas de cálculo estrutural, garantindo ao engenheiro calculista uma alta produtividade e um amplo acesso aos dados, expondo o profissional a um conjunto de sistemas para ser escolhido. Devido às particularidades de cada obra, o método escolhido nunca se tornará padronizado para qualquer outra construção, existe uma série de fatores que junto com a questão econômica estabelecem a ponderação para escolha de um ou outro método estrutural. De imediato é apresentado os sistemas estruturais adotados, relatando as características centrais do sistema, relacionando os conceitos básicos normativos e listando suas vantagens e desvantagens. Posteriormente é demonstrado o edifício modelo no qual servirá de base para aplicação das diferentes concepções estruturais e são abordados os critérios técnicos de projeto a serem seguidos. Na sequência é feito o dimensionamento estrutural via ferramenta computacional e em seguida é obtido os quantitativos de serviços para cada modelo estrutural. Dando continuidade, é feito a composição de custos para os serviços levantados e a partir de então se torna possível precificar cada uma das três metodologias. Por fim é feita a análise comparativa entre os sistemas abordados, onde fica evidenciado que a laje pré-moldada e a laje nervurada obtiveram custos finais praticamente idênticos, porém, pela facilidade na oferta de recursos encontrados na região do projeto, a melhor opção a ser escolhida é a laje pré-moldada. Com isso, cria-se uma ferramenta de parâmetro auxiliando na escolha do modelo estrutural para obras com perfil semelhante ao abordado nessa pesquisa.

Palavras-chaves: concepção estrutural, lajes maciças e laje nervurada.

ABSTRACT

This work aims to perform a comparative analysis between three structural systems with wide acceptance in the market. It was proposed the comparison between the conventional system of solid slabs, conventional slab precast lattice and the smooth ribbed slabs. Due to the technological evolution of the construction and the search for alternative constructive methods, a wide choice of structural conceptions arises accompanied by the advance of the structural calculation tools, guaranteeing to the calculating engineer a high productivity and a broad access to the data, exposing the professional to a set of systems to be chosen. Due to the particularities of each work, the chosen method will never become standardized for any other construction, there are a number of factors that together with the economic question establish the weighting for choosing one or another structural method. We will immediately present the adopted structural systems, reporting the central characteristics of the system, relating the basic normative concepts and listing their advantages and disadvantages. Subsequently, it is demonstrated the model building in which it will serve as the basis for the application of the different structural conceptions and the technical design criteria to be followed are addressed. In the sequence, the structural dimensioning is done via computational tool and then the quantitative of services for each structural model is obtained. Continuing, the cost composition is made for the services raised and from then on it becomes possible to price each of the three methodologies. Finally, the comparative analysis between the systems is presented, where it is evidenced that the precast slab and the ribbed slab obtained almost identical final costs, however, due to the ease in the offer of resources found in the project region, the best option to be chosen is the preformed slab. With this, a tool of parameter is created helping in the choice of the structural model for works with profile similar to the one approached in this research.

Keywords: structural design, solid slabs and ribbed slabs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo esquemático do módulo de rigidez equivalente.....	24
Figura 2 - Representação esquemática do sistema de lajes maciças.....	27
Figura 3 - Armação treliçada	30
Figura 4 - Arranjo da armação treliçada e posicionamento do enchimento.....	31
Figura 5 - Laje com armadura treliçada.....	31
Figura 6 - Laje pré-moldada treliçada unidirecional.....	32
Figura 7 - Laje pré-moldada treliçada bidirecional.....	32
Figura 8 - Geometria usual dos elementos de enchimento	33
Figura 9 - Disposição de formas e escoramentos em lajes pré-moldadas	33
Figura 10 - Laje cogumelo (A) e laje lisa (B)	35
Figura 11 - Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares.....	35
Figura 12 - Montagem das cubas de polipropileno.....	38
Figura 13 - Aspecto final da laje lisa nervurada.....	38
Figura 14 - Ruína por punção em lajes lisas	39
Figura 15 - Perímetro crítico de pilares internos.....	41
Figura 16 - Etapas de uma pesquisa.....	43
Figura 17 - Vista em perspectiva do Residencial Cidade Nova.....	46
Figura 18 - Planta baixa pavimentos típicos.....	47
Figura 19 - Isopletas da velocidade básica do vento.....	49
Figura 20 - Obtenção do coeficiente de arrasto	50
Figura 21 - Gráfico obtenção do Coeficiente de Arrasto	51
Figura 22 - Propriedades geométricas da laje pré-moldada.....	52
Figura 23 - Propriedades geométricas da laje lisa nervurada	53
Figura 24 - Planta de forma laje maciça do pavimento típico	56
Figura 25 - Planta de forma laje pré-moldada do pavimento típico	58
Figura 26 - Planta de forma laje lisa nervurada do pavimento típico.....	60
Figura 27 - Gráfico do consumo de concreto - m ³	63
Figura 28 - Gráfico do consumo de formas - m ²	63
Figura 29 - Gráfico do consumo de aço - kg	64
Figura 30 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje maciça	66
Figura 31 - Rateio do custo por serviço da laje maciça.....	66

Figura 32 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje pré-moldada	68
Figura 33 - Rateio do custo por serviço da laje pré-moldada	68
Figura 34 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje lisa nervurada	70
Figura 35 - Rateio do custo por serviço da laje lisa nervurada.....	71
Figura 36 - Comparativo de custo por sistema estrutural.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)	19
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....	20
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	21
Tabela 4 - Valores de K para relação C1/C2.....	42
Tabela 5 - Quantitativos do sistema composto por lajes maciças.....	57
Tabela 6 - Índices de consumo obtidos no sistema de lajes maciças	57
Tabela 7 - Quantitativos do sistema composto por lajes nervuradas pré- moldadas treliçada	59
Tabela 8 - Índices de consumo obtidos no sistema de laje pré-moldada	59
Tabela 9 - Quantitativos do sistema composto por lajes lisas nervuradas.....	60
Tabela 10 - Índices de consumo obtidos no sistema de laje pré-moldada	61
Tabela 11 - Comparativo de consumo de serviços entre os sistemas adotados	62
Tabela 12 - Índices de consumo por sistema estrutural	63
Tabela 13 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural composto por lajes maciças.....	65
Tabela 14 - Custo elemento/serviço da laje maciça	65
Tabela 15 - Custo por elemento estrutural na laje maciça	65
Tabela 16 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes pré- moldada	67
Tabela 17 - Custo elemento/serviço da laje pré-moldada	67
Tabela 18 - Custo por elemento estrutural na laje pré-moldada.....	68
Tabela 19 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes nervurada	69
Tabela 20 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes nervurada	70
Tabela 21 - Custo por elemento estrutural na laje nervurada	70
Tabela 22 - Comparativo entre o custo total dos sistemas estruturais analisados	72
Tabela 23 - Composição de custo do concreto estrutural Fck 25 MPa	81

Tabela 24 - Composição de custo da forma plana de madeira	81
Tabela 25 - Composição de custo da armadura com aço CA-50.....	82
Tabela 26 - Composição de custo da armadura com aço CA-60.....	82
Tabela 27 - Composição de custo da laje pré-fabricada	83
Tabela 28 - Composição de custo da forma plástica para lajes nervuradas	83
Tabela 29 - Composição de custo do escoramento de lajes maciças.....	84
Tabela 30 - Composição de custo do escoramento de lajes pré-moldadas	84
Tabela 31 - Composição de custo do escoramento de lajes lisas nervuradas .	85
Tabela 32 - composição de custo do enchimento em EPS.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	LIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	CONCEPÇÃO DE UM PROJETO ESTRUTURAL	17
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	18
3.2.1	Aço	19
3.2.2	Concreto	19
3.3	AÇÕES VERTICAIS NA ESTRUTURA	21
3.4	AÇÕES HORIZONTAIS NA ESTRUTURA	22
3.5	VERIFICAÇÃO DE INDESLOCABILIDADE	22
3.5.1	Parâmetros de instabilidade α	23
3.5.2	Coeficiente γ_z	25
3.6	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NA ESTRUTURA	26
3.7	INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS	26
3.7.1	Sistema estrutural convencional com lajes maciças	27
3.7.1.1	Prescrições de limites de espessura para lajes maciças	28
3.7.1.2	Vantagens das lajes convencionais	28
3.7.1.3	Desvantagens das lajes convencionais	28
3.7.2	Sistema estrutural com lajes nervuradas pré-moldada treliçada	29
3.7.2.1	Vantagens da laje nervurada pré-moldada treliçada	33
3.7.2.2	Desvantagens da laje nervurada pré-moldada treliçada	34
3.7.3	Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas	34
3.7.3.1	Vantagens das lajes lisas nervuradas	36
3.7.3.2	Desvantagens das lajes lisas nervuradas	36
3.7.3.3	Cubas de polipropileno para enchimento	37
3.7.3.4	Prescrições normativas	38
3.7.3.5	Punção	39
4	METODOLOGIA	43

4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	43
4.2	SISTEMAS CONSTRUTIVOS ADOTADOS.....	44
4.2.1	Sistema construtivo.....	44
4.2.2	Fases do projeto consideradas.....	44
4.2.3	Serviços e insumos analisados.....	45
4.3	ESCOLHA DO EDIFÍCIO MODELO.....	45
4.4	CRITÉRIOS DO PROJETO.....	47
4.5	CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	53
4.6	FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	54
4.7	PARÂMETROS PARA COMPARAÇÃO.....	54
4.7.1	Índice de formas (if).....	54
4.7.2	Índice de concreto (ic).....	55
4.7.3	Índice de aço (ia).....	55
4.8	METODOLOGIA DE APURAÇÃO DOS CUSTOS.....	55
5	CONCEPÇÃO E COLETA DOS DADOS.....	56
5.1	SISTEMA I – ESTRUTURA CONVENCIONAL COM LAJES MACIÇAS.....	56
5.1.1	Informações do projeto.....	56
5.1.2	Quantitativos do Sistema I.....	57
5.2	SISTEMA II – ESTRUTURA CONVENCIONAL COM LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS.....	57
5.2.1	Informações do projeto.....	57
5.2.2	Quantitativos do Sistema II.....	58
5.3	SISTEMA III – ESTRUTURAS COM LAJES LISAS NERVURADAS... ..	59
5.3.1	Informações do projeto.....	59
5.3.2	Quantitativos do Sistema III.....	60
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
6.1	COMPOSIÇÃO DE CUSTO.....	62
6.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
6.3	CUSTOS.....	64
6.3.1	Apuração de custos da estrutura convencional de laje maciça ...	65
6.3.2	Apuração de custos da estrutura de lajes pré-moldadas.....	67
6.3.3	Apuração de custos da estrutura de lajes lisas nervuradas.....	69
6.4	COMPARATIVO FINAL DE CUSTOS.....	71
7	CONCLUSÃO.....	74
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

ANEXOS	79
Anexo A – Composições de Preço Unitário.....	80

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, um dos pilares da economia brasileira, vem sofrendo quedas consecutivas de investimentos e resultados. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) desde o segundo trimestre de 2013, a queda do PIB do setor soma 14,3%.

A assertiva escolha de um método construtivo, que melhor se adapte a uma dada característica, representará um ganho financeiro real no final da obra. Em tempos de recessões da economia, aliar a viabilidade técnica com a financeira sempre será fator mandatário na hora de se aprovar um projeto.

A elaboração de um projeto de um determinado empreendimento, quando executado de forma eficaz, deve levar em conta a possibilidade da utilização dos métodos construtivos que melhor se adéqua as particularidades e características da obra. Na construção civil são vastas as opções de técnicas e procedimentos para a realização de cada etapa da obra, podendo o construtor escolher o processo mais viável.

Segundo Spohr (2008) apesar de o desenvolvimento tecnológico ser constante, a forma de execução de grande parte das construções não tem acompanhado, num mesmo ritmo, estes avanços. Continua-se ainda utilizando métodos convencionais sem o devido estudo da possibilidade de utilizar opções mais inovadoras.

Na concepção do modelo estrutural não é diferente, existem vários métodos a disposição dos calculistas, cabendo a eles apresentar ao cliente a solução que atenda as premissas da obra na melhor forma.

Porém de acordo com Nappi (1993) muitas vezes, o projetista ou proprietário, na inexistência de informações mais precisas, escolhe um tipo de laje para a sua construção que pode não ser a mais indicada para a suas reais necessidades. Cada modelo estrutural tem suas potencialidades e limitações. No entanto, é importante conhecê-las para que a escolha recaia naquela que poderá atender melhor ás exigências do usuário.

Nota-se que na medida em que se aumentam os vãos, as lajes maciças assumem dimensões não muito econômicas. Sendo assim, abre-se espaço para a inserção de novos conceitos estruturais que consigam suprir a demanda

solicitada sem perder a esbeltez de seus elementos, indo de encontro a uma fórmula mais econômica.

A modernização e difusão dos programas de cálculo estrutural cria a oportunidade de o engenheiro calculista simular de forma muito produtiva mais de um método estrutural para um determinado edifício. Permitindo assim uma análise subjetiva quanto ao rumo que se deve tomar na seleção do método estrutural.

No entanto a escolha do sistema estrutural apenas será concluída após a verificação de uma série de fatores chaves, como: localização, disponibilidade de mão de obra qualificada, materiais e recursos, cronograma da obra e outros. Apenas após a ponderação desses aspectos poderá ser determinado qual metodologia estrutural será utilizada.

1.1 LIMITAÇÃO DO TEMA

A presente pesquisa possui ênfase a área de estruturas em concreto armado limitando-se a construção predial, sendo assim, o escopo abordado pretende implementar uma análise comparativa entre alguns dos modelos estruturais mais utilizados no mercado.

Foi adotado um edifício modelo, que represente um número significativo de construções reais com o perfil similar na região, onde houve a simulação da concepção de três modelos estruturais distintos, baseando-se nos quantitativos de serviços apurados e nos custos obtidos. Os três sistemas estruturais propostos para efeito da análise comparativa estão listados abaixo:

- a) sistema estrutural convencional de lajes maciças;
- b) sistema estrutural convencional de lajes nervuradas pré-moldadas treliçada;
- c) sistema estrutural de lajes lisas nervuradas.

Para o dimensionamento das estruturas foi utilizado o *software* de cálculo estrutural CYPECAD. A utilização da mesma ferramenta computacional para os três cenários propostos é fator determinante para a confiabilidade do resultado final.

1.2 JUSTIFICATIVA

A crescente utilização de métodos construtivos que buscam uma via alternativa aos dos convencionais atinge também a etapa da estrutura. Com base na procura de métodos alternativos na concepção estrutural, notou-se que por muitas vezes a escolha de uma dada metodologia não é levada em consideração simplesmente pela falta de informações e parâmetros.

Com o aumento do leque das opções no mercado, surgem também as dúvidas quanto às vantagens e desvantagens na utilização de cada método estrutural. Fazendo com que não apenas os engenheiros passem a conviver com essa incerteza, mas também os construtores e proprietários.

Sendo assim torna-se útil a execução de uma análise comparativa entre sistemas dentro de um mesmo cenário proposto. Criando uma referência para obras que se encaixem no perfil estipulado nesse trabalho.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste projeto de pesquisa são apresentados na sequência.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo comparativo voltado à comparação dos custos obtidos em um sistema estrutural convencional de laje maciça e um sistema composto por lajes nervuradas, comparando o emprego em uma edificação típica de uso residencial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) listar as principais características dos sistemas estruturais em questão, bem como apontar suas vantagens e desvantagens;
- b) quantificar e comparar os volumes de concreto, forma e aço obtidos entre as diferentes concepções estruturais;
- c) apresentar os custos estimados de cada sistema estrutural, criando assim parâmetros com embasamento financeiro na hora da escolha do sistema estrutural.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCEPÇÃO DE UM PROJETO ESTRUTURAL

A elaboração de um projeto estrutural consiste em definir um conjunto de estrutura que resistirá às solicitações de carregamento a qual a edificação estará exposta. Essa é uma das principais fases do projeto, onde acarreta na escolha dos elementos a serem empregados e na locação dos componentes estruturais, de forma que permita a formação de um sistema eficaz, capaz de suportar de forma harmônica todos os esforços atuantes na estrutura.

Segundo Sporph (2008) o produto final da concepção de uma estrutura deve ser claro, permitindo o perfeito entendimento de como a estrutura se comporta, seja qual for o processo de cálculo submetido e passando por análise que abranja os seguintes critérios:

- a) verificação das limitações impostas pelo arranjo arquitetônico;
- b) ajuste da interface do fechamento interno e externo com a estrutura;
- c) exequibilidade (facilidade construtiva).

Dentre os diversos modelos estruturais existentes, deve-se optar por aquele que melhor se adéqua as características do edifício em questão, para isso alguns fatores deverão ser considerados, como: a finalidade do uso da edificação (poderá ser de uso residencial, comercial ou misto) e os requisitos de qualidade, desempenho e durabilidade definidos pelas normas técnicas. Outro ponto que requer bastante atenção é a compatibilização do projeto estrutural com os demais projetos (arquitetônico, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, ar condicionado e outros), de forma que garanta a funcionalidade e atenda aos requisitos estéticos.

O lançamento dos elementos estruturais é realizado sobre o projeto arquitetônico. Ao lançar a estrutura deve-se ter em mente aspectos básicos, como: estética, economia e funcionalidade. De forma geral, a estruturação é iniciada pelo pavimento-tipo, onde será feito a locação pilares, nessa etapa vale novamente ressaltar a importância em se prezar pela concordância do

projeto estrutural com os outros projetos, evitando-se a locação de pilares em locais indesejados. Caso haja interferência direta, deverá ser estudadas novas alternativas de modo que atendam as necessidades estruturais e arquitetônicas.

No pavimento-tipo atender os requisitos estéticos sempre será uma das principais premissas estipuladas, já no pavimento térreo, onde em edifícios residenciais geralmente é destinado a garagens, a locação de pilares deverá ser feita garantindo que haja um espaçamento entre eles que permita uma boa fluência na movimentação dos veículos transeuntes.

O pré-dimensionamento de vigas levará em conta o tipo de laje a ser usada, já que existem metodologias que dispensam a utilização de vigas. Entretanto, a colocação das vigas, sempre que possível, deverá ser no mesmo alinhamento das paredes, tal ação faz com que as alvenarias sobre ela descarreguem as ações diretamente na viga, evitando carregamentos concentrado nas lajes, e também contribuem para o fator estético, já que existindo uma parede por baixo da viga evitará que surjam saliências visíveis sob a laje. As vigas além de receber o carregamento oriundo do conjunto, também possui a função de, juntamente com os pilares, formar pórticos na estrutura, melhorando assim o enrijecimento do sistema.

Com a definição do arranjo das vigas e pilares, as disposições das lajes ficam definidas, podendo assim avançar para etapa de dimensionamento.

Um arranjo estrutural bem dimensionado significa redução de custos na obra. Albuquerque (1999) aponta que uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar um ganho de 2% no custo total da obra.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Os materiais empregados nas estruturas de concreto armado nas diferentes formas de concepções estruturais seguem as predisposições e critérios definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.2.1 Aço

Os aços utilizados nas estruturas de concreto armado são definidos pelas especificações contidas na NBR 7480 (ABNT, 2007).

Usualmente os vergalhões de aço CA-50 e CA-60 possuem as seguintes destinações:

- a) aço CA-60 com diâmetro de 4,2 mm e 5,0 mm para armadura de estribos de vigas e pilares;
- b) aço CA-50 com diâmetro de 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 25,0 mm usados para armação longitudinais vigas, pilares e lajes.

3.2.2 Concreto

A escolha do tipo de concreto, bem como qual deverá ser a resistência à compressão do mesmo, vai de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) que estabelece as classes de agressividade ambiental, criando parâmetros para a definição conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

De acordo com os agentes a qual estará exposta a estrutura, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece critérios de classificação da agressividade ambiental. As estruturas podem ser divididas em quatro classes de agressividade ambiental, sendo classe I de fraca agressividade, classe II moderada, classe III forte e classe IV muito forte.

Como dito no parágrafo anterior, a NBR 6118 (ABNT, 2014) faz a classificação da estrutura de acordo com a classe de agressividade na qual a mesma estará exposta e a partir desta pode-se determinar o tipo de concreto a ser utilizado na edificação, bem como a sua resistência característica mínima e a espessura do cobrimento de concreto que envolve a armadura existente. Esses parâmetros podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

3.3 AÇÕES VERTICAIS NA ESTRUTURA

Sistemas estruturais são sistemas tridimensionais de resposta às forças que são ajustadas para acomodar cargas externas de qualquer direção. As forças são designadas por ações diretas e as deformações impostas por ações indiretas. De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), as ações podem ser classificadas como:

ações permanentes:

são as que ocorrem com valores que praticamente não se alteram ao longo da vida útil da estrutura ou se altera com pequena variação. Este tipo de carregamento é dividido em dois grupos: ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas.

- a) As ações permanentes diretas são compostas pelo peso próprio da estrutura, elementos construtivos (alvenarias, revestimentos, cobertura, etc.), carregamentos causados por equipamentos fixos e empuxo do solo. Já as ações permanentes indiretas, são causadas por imperfeições geométricas, recalques no solo causando um diferencial nos apoios, fluência e retração do concreto;

ações variáveis:

- b) são compostas por carregamentos acidentais normais para o uso da edificação, que podem variar ao longo de toda vida útil da construção, pela ação do vento, mudanças de temperatura, cargas móveis e outros;
- ações excepcionais:

- c) são ações com duração extremamente curta e com muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da construção. No entanto devem ser consideradas no projeto se seus efeitos não puderem ser controlados por outros meios. São exemplos os abalos sísmicos, as explosões, os incêndios, choques de veículos, etc.

3.4 AÇÕES HORIZONTAIS NA ESTRUTURA

A estrutura de um edifício deverá ser concebida de forma que resista não só apenas às forças oriundas de ações verticais, mas também deverá oferecer resistência às ações que se dissipam de forma horizontal à edificação.

Onde não existem ocorrências de abalos sísmicos, as ações horizontais são basicamente constituídas pela força dos ventos e de empuxos nos subsolos.

De acordo com Pinheiro (2010) as ações horizontais devem ser absorvidas pela estrutura e transmitidas os esforços para as fundações. Na ocorrência de ventos, o fluxo da transmissão dos esforços inicia-se nas paredes externas, onde o vento atua diretamente. Elementos de grande rigidez (pórticos, paredes estruturais e núcleos de concreto armado) formam estruturas de contraventamento e assim contribuem na resistência às ações horizontais.

Pinheiro (2010) ainda salienta a importância das lajes na função de distribuir os esforços ocasionados pela ação do vento entre as estruturas de contraventamento, sendo que as lajes possuem rigidez praticamente infinita ao seu plano, promovendo assim, o travamento do conjunto.

3.5 VERIFICAÇÃO DE INDESLOCABILIDADE

De acordo com Albuquerque (1999), após a realização do pré-dimensionamento, inicia-se a modelagem do pórtico espacial e através dos cálculos obtêm-se os parâmetros “gama” e “alfa”; caso os valores obtidos não forem aceitáveis, retorna-se a etapa de pré-dimensionamento com a intenção de obter uma maior rigidez do edifício. A maneira mais comum de se aumentar

a rigidez de um edifício é revisando as dimensões de vigas e pilares, possibilitando a criação de pórticos com maior robustez e reavaliando o arranjo da locação dos pilares; outra solução existente, porém normalmente antieconômica, é a inclusão de pilares-parede.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) fragmenta as estruturas subdividindo-as em dois grupos, no primeiro grupo estão inseridas as estruturas que colaboram na resistência contra ações horizontais, criando pórticos internos e elevando a rigidez favorecendo a dissipação das forças, portanto chamadas de estruturas de contraventamento. Já as estruturas adjacentes que não participam da dissipação das ações horizontais são chamadas de subestruturas contraventadas.

A manipulação de softwares na obtenção da concepção estrutural facilita na interpretação da funcionalidade do projeto. É possível modelar a estrutura de forma tridimensional e simular os carregamentos, em todas as direções, nos quais a estrutura estará suscetível. Esse é um método permite a verificação da estabilidade global com uso da estrutura de contraventamento.

Albuquerque (1999) enfatiza a importância em se verificar os parâmetros de instabilidade nas duas direções, pelo fato de que devido a pouca rigidez (falta de pórticos) a direção secundária pode apresentar valores mais novíços do que os encontrados na direção principal.

Para efeito de cálculo, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece como nós fixos quando o deslocamento horizontal dos nós é de pequena magnitude e, sendo assim, os efeitos globais de 2ª ordem apresentam valores inferiores a 10% dos mesmos esforços de 1º ordem, tornando-os desprezíveis. Quando isso ocorre, consideram-se apenas os efeitos locais de 2º ordem.

3.5.1 Parâmetros de instabilidade α

Araújo (2004) descreve que o parâmetro de instabilidade α elaborado no ano de 1967 por Beck e König, sendo um parâmetro apto a avaliar os efeitos de 2ª ordem em uma estrutura. Foi proposto pelos autores e ilustrado na Figura 1 o associamento da estrutura a um pilar de seção constante, engastado na base e livre no topo, com altura igual a do edifício, que sujeito à mesma ação

apresente deslocamento idêntico. Esse parâmetro é dado pela seguinte equação:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs}I_C}} \quad (\text{Equação 1})$$

dado que:

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \text{ se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \text{ se: } n \geq 4$$

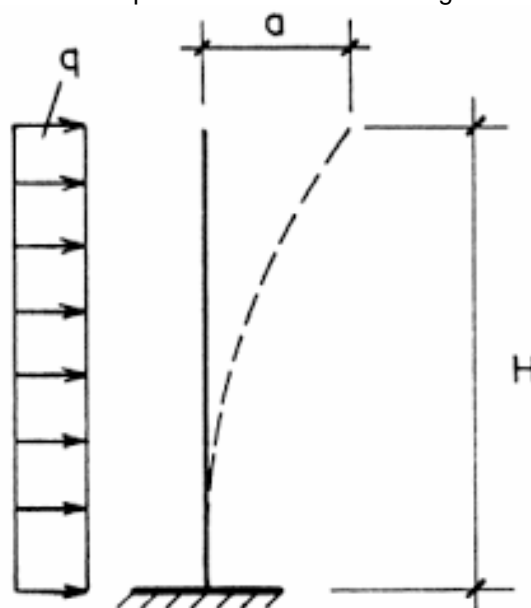
n - é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} - é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

N_k - é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$E_{cs}I_C$ - representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs}I_C$ de um pilar equivalente de seção constante.

Figura 1 - Modelo esquemático do módulo de rigidez equivalente



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

3.5.2 Coeficiente γ_z

Com o propósito de medir a importância do efeito de 2ª ordem nas edificações, foi criado um parâmetro, denominado como coeficiente γ_z , pelos engenheiros Franco e Vasconcelos (1991). O coeficiente γ_z além de mensurar a intensidade dos efeitos de 2ª ordem exerce também a função de majorador, aplicando somente às forças horizontais, para que de forma bem aproximada determine de fato os efeitos de 2ª ordem que ocorrem na estrutura.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), o coeficiente γ_z é uma avaliação dos esforços de segunda ordem globais, seus valores são válidos apenas em estruturas reticulares de no mínimo quatro pavimentos. Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez dados no item 15.7.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Calcula-se o valor de γ_z , para cada combinação de carregamento, através da expressão abaixo:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad \text{(Equação 2)}$$

sendo que:

$M_{1,tot,d}$ – é o momento de tombamento, ou seja, o somatório dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ – representa a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos na análise de primeira ordem;

Caso obtenha-se valor de $\gamma_z \leq 1,1$ deve-se considerar que a estrutura é composta por nós fixos.

Na prática, a diferença entre o coeficiente γ_z e o parâmetro de instabilidade α é que o γ_z serve para uma análise aproximada dos esforços

globais na estrutura, enquanto o parâmetro de instabilidade α indica apenas se a estrutura pode ser considerada indeslocável.

3.6 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NA ESTRUTURA

A fim de evitar patologias, como distorção excessiva que leve ao fissuramento das alvenarias, é preciso controlar os níveis de deslocamentos horizontais na estrutura. A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece o deslocamento horizontal máximo permitido no topo da construção através da relação $H/1700$, onde H é a altura da edificação, provocado pela ação do vento para combinação frequente.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece ainda que o deslocamento horizontal localizado entre pavimentos deve ser limitado a $h_i/850$, sendo que h_i representa o pé direito entre os dois pavimentos.

3.7 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS

As estruturas compostas em concreto armado representam a grande maioria dos sistemas estruturais presentes em nosso cotidiano. O concreto armado, como o próprio nome já é sugestivo, é a combinação do concreto simples com uma armadura de aço, normalmente disposta em barras, que quando associados resultam em um produto capaz de resistir a diferentes tipos de solicitações. Pode se afirmar que o concreto e o aço se completam, pois o aço contribui com a resistência aos momentos flexores enquanto o concreto garante a estabilidade quanto às solicitações de compressão.

Segundo Araújo (2014), as lajes são elementos que basicamente tem como função estabelecida serem as primeiras receptoras dos carregamentos oriundos do sistema e os dissipá-los às estruturas inferiores. Da mesma forma, são atribuídas as lajes a função de distribuir as ferragens horizontais entre os elementos de contraventamento da estrutura. Sendo assim, Lopes (2012) as classificam como componentes estruturais de duas dimensões que além de realizar a função de resistir aos esforços perpendiculares ao plano horizontal,

também suporta as solicitações tangenciais vindas das estruturas que a circundam.

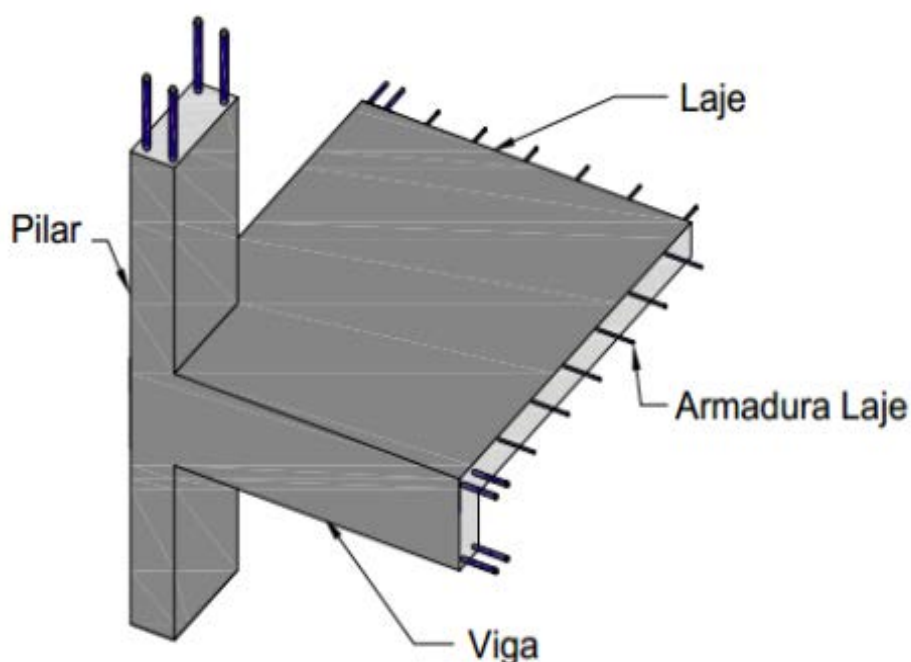
Dentre as variações de metodologia de concepção estruturais, três se destacam pela difusão no meio técnico, são elas: lajes convencionais maciças, lajes nervuradas pré-moldada e lajes nervuradas.

3.7.1 Sistema estrutural convencional com lajes maciças

De acordo com Vizotto e Sartorti (2010) as lajes maciças em concreto armado possuem grande aceitação, e podem ser consideradas como o tipo de sistema estrutural de laje que é o mais utilizado e difundido no meio técnico. São placas cujo normalmente a espessura se mantém constante, sustentadas por toda a extensão perimetral e apoiadas por vigas ou alvenarias. Observa-se na Figura 2 o arranjo de uma laje maciça.

Lopes (2012) descreve o processo executivo de uma laje maciça que pode ser resumido da seguinte forma: de imediato faz-se a montagem das formas e escoramentos, logo depois se coloca a armação e posiciona as pastilhas para assegurar o cobrimento necessário e finalizando, concretiza-se a laje.

Figura 2 - Representação esquemática do sistema de lajes maciças



Fonte: Spohr (2008)

3.7.1.1 Prescrições de limites de espessura para lajes maciças

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece valores mínimos para as espessuras de lajes maciças:

- a) 5 cm para lajes de cobertura em balanço;
- b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menos ou igual a 30 KN;
- d) 12 cm para lajes que suportem veículos com peso total maior que 30 KN.

3.7.1.2 Vantagens das lajes convencionais

Albuquerque (1999), Spohr (2008) e Vizotto e Sartorti (2010) listam as principais vantagens dos sistemas de laje maciça em concreto armado:

- a) são estruturas mais rígidas, pois por possuírem muitas vigas a estrutura acaba tendo diversos pórticos, auxiliando no contraventamento;
- b) amplamente difundida no mercado da construção civil, tornando assim, a mão de obra treinada e vasta;
- c) é eficaz na redistribuição dos esforços solicitantes;
- d) facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- e) permite a possibilidade de existir descontinuidade em sua superfície.

3.7.1.3 Desvantagens das lajes convencionais

Carvalho (2012) e Lopes (2012) abordam em seus trabalhos algumas desvantagens do sistema de lajes maciças, que são:

- a) demanda um elevado efetivo de mão de obra;

- b) elevado peso próprio relativamente, o que resulta em maiores reações nos apoios e conseqüentemente maiores cargas na fundação;
- c) alto consumo de escoramento;
- d) grande quantidade de área para forma e desforma onera a produtividade;
- e) apresenta muitas vigas, fato que eleva a quantidade de recortes nas formas;
- f) os recortes diminuem o reaproveitamento das formas.

3.7.2 Sistema estrutural com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas

As lajes treliçadas, composta por vigotas pré-moldadas, são amplamente utilizadas no mercado brasileiro. A NBR 14860 (ABNT, 2002) a define como laje de seção transversal maciça ou nervurada, constituída por nervuras principais longitudinais locadas todas na mesma direção. A norma ainda permite que sejam utilizadas nervuras transversais em sentido perpendicular as principais.

Segundo Merlin (2006) os elementos que constituem a laje nervurada treliçada são: vigotas lineares pré-moldadas locadas em uma ou duas direções e elementos de enchimento, que podem ser, tanto lajotas cerâmicas quanto poliestireno expandido, preenchendo o espaço existente entre as nervuras e o capeamento de concreto.

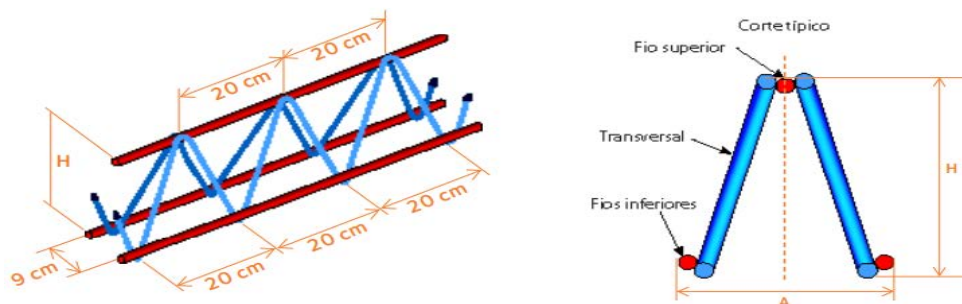
Geralmente as treliças são confeccionadas fora obra, devendo ser tomado o cuidado necessário durante o transporte, içamento e posicionamento nos apoios. Depois de corretamente instaladas, as treliças recebem o escoramento, restringindo a deformação inicial. Em sequência, posicionam-se os elementos de enchimento entre os espaços deixados pelas treliças e realiza a concretagem.

A ferragem que compõe a vigota pré-moldada é uma armadura treliçada fabricada por processo de eletrofusão, formando assim duas treliças unidas pelo vértice. As diagonais garantem mais rigidez ao sistema e boas condições para o transporte e manuseio.

De acordo com os valores especificados pelo projetista, as vigotas treliçadas podem ser fabricadas com diferentes quantidades de aço. Quando se adiciona uma armadura, esta pode manter o mesmo tipo de aço já utilizado, fios de aço CA-60, ou até mesmo acrescidos com barras de aço CA-50.

Conforme o Manual Técnico de Lajes Treliçadas ArcelorMittal (2010), a armação treliçada é constituída por um fio superior (banzo superior), que atua como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje treliçada, e pode colaborar na resistência ao momento fletor negativo (em regiões de apoio central); dois fios inferiores (banzo inferior), os quais resistem às forças de tração oriundas do momento fletor positivo; as diagonais, que, além de funcionarem como armadura resistente às forças cortantes (quando forem altas), servem para promover uma perfeita coesão ou aderência entre o concreto pré-moldado da vigota e o concreto do capeamento (moldado *in-loco*). As Figuras 3, 4 e 5 demonstram parte do método executivo desse sistema.

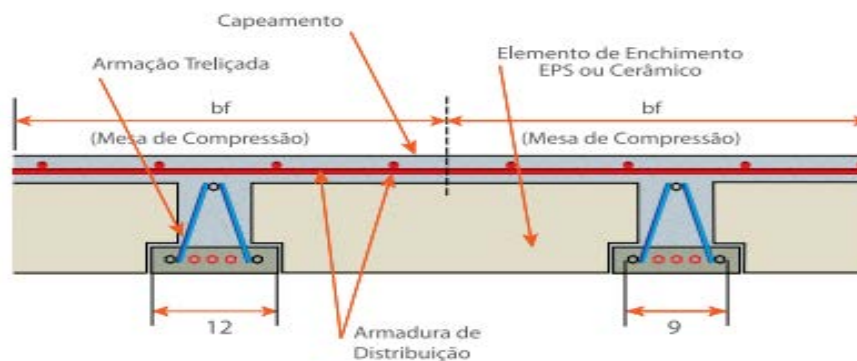
Figura 3 - Armação treliçada



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

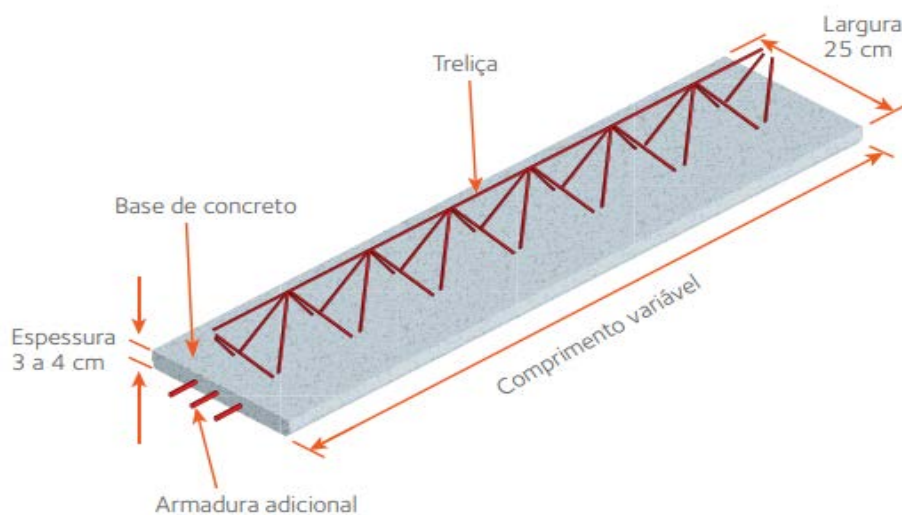
Segundo o item 14.7.7 da NBR 6118 (2014), as lajes nervuradas são lajes moldadas *in-loco* ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração, (região abaixo da linha neutra) para os momentos positivos está localizada nas nervuras. Entre as nervuras coloca-se material de função meramente inerte.

Figura 4 - Arranjo da armação treliçada e posicionamento do enchimento



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

Figura 5 - Laje com armadura treliçada



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

Em função do posicionamento e distribuição das vigotas, as lajes treliçadas podem ser classificadas como lajes unidirecionais, quando todas as treliças estão dispostas em uma mesma direção, ou bidirecionais, quando as treliças estão em um arranjo que permita o posicionamento em duas direções.

Conforme NBR 14859-1 (ABNT, 2002) as lajes pré-fabricadas unidirecionais são constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção. Essa disposição pode ser observada na Figura 6. Para efetuar o travamento lateral é possível adicionar algumas nervuras transversais que ficarão perpendiculares às nervuras principais.

Figura 6 - Laje pré-moldada treliçada unidirecional



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

Segundo a NBR 14859-2 (ABNT, 2002) e ilustrado na Figura 7, as lajes pré-fabricadas bidirecionais, são compostas por nervuras principais em ambas as direções, formando um espaçamento regular onde será colocado material inerte para enchimento dos vazios.

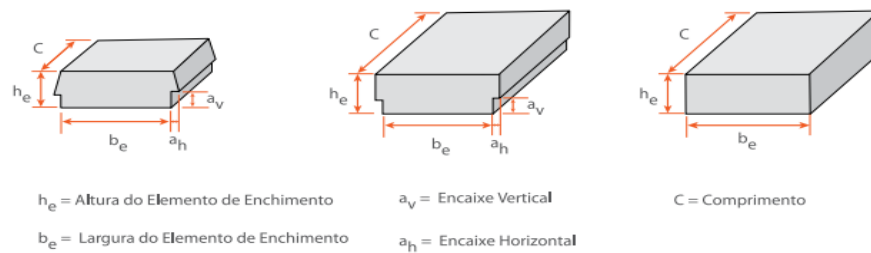
Figura 7 - Laje pré-moldada treliçada bidirecional



Fonte: Isoares (2015)

Os elementos de enchimento são posicionados de forma intercalada às nervuras pré-moldada e suas atribuições principais são reduzir o volume de concreto na estrutura e reduzir o peso próprio da laje, tornando assim as reações nos apoios mais brandas. A disposição geométrica desse elemento pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Geometria usual dos elementos de enchimento



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

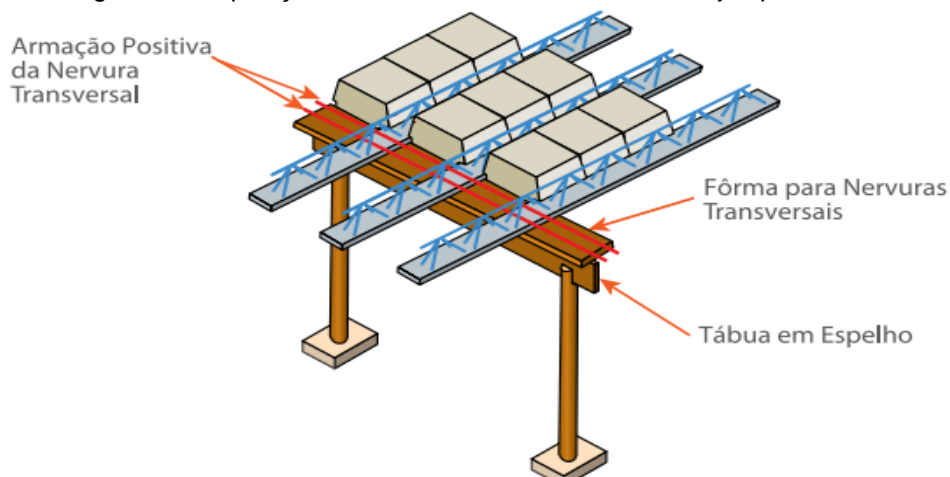
3.7.2.1 Vantagens da laje nervurada pré-moldada treliçada

Spoehr (2008) lista as seguintes vantagens dos sistemas de laje nervurada treliçada:

- redução do peso próprio resultando em menos reações nos apoios;
- menor área de formas em comparação a outros sistemas;
- por possuir elementos pré-moldados, reduz a quantidade de estoque, materiais e pessoas na obra;
- baixo consumo de escoramento;
- maior produtividade na obra.

Como pode ser visto na Figura 9, as lajes com treliças pré-moldadas tem como forte característica a redução no uso de escoramentos e formas, quando comparado a outros sistemas.

Figura 9 - Disposição de formas e escoramentos em lajes pré-moldadas



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2010)

3.7.2.2 Desvantagens da laje nervurada pré-moldada treliçada

Carvalho e Figueredo (2004) abordam em seu trabalho algumas desvantagens do sistema de lajes nervuradas, que são:

- a) limitação para se executar as instalações prediais;
- b) deslocamentos verticais bem acentuados;
- c) necessidade de equipamentos pra içamento de peças;
- d) dificuldade na fixação dos EPS, com a possibilidade de imergir no concreto durante a concretagem;
- e) necessita de transporte até a obra dos elementos pré-moldados.

3.7.3 Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas

Seguindo um conceito similar ao das lajes nervuradas pré-moldadas, onde materiais inertes são acrescentados à estrutura, as lajes nervuradas são formadas por nervuras em concreto armado usualmente moldado *in-loco*, dispostas em uma ou duas direções, onde é inserida entre elas uma forma plástica, feita de polipropileno e com função estrutural meramente inerte.

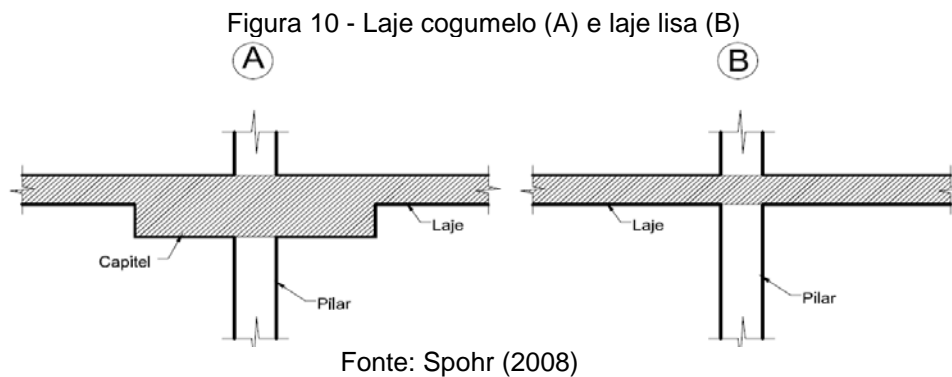
Segundo Carvalho (2012) as lajes nervuradas têm como principal característica, o bom comportamento para vencer grandes vãos, esse tipo de laje vence facilmente vãos superiores a 8 metros de comprimento. A NBR 6118 (ABNT, 2014), define-as como lajes moldadas *in-loco* ou dotadas de nervuras pré-moldadas, cujo qual a região tracionada por momentos positivos esteja situada nas nervuras, permitindo a colocação de material inerte com função meramente de enchimento.

É um sistema construtivo de laje onde as várias vigotas que compõem o conjunto se unem pela mesa, tomando a forma de um "T" e desempenham função estática, de forma intermediária entre a placa e grelha (BOCHI; GIONGO, 1993 apud ARAÚJO, 2008).

De acordo com Silva (2005), para a execução de uma laje nervurada o cumprimento das especificações técnicas estabelecidas pelo fabricante é de suma importância durante a montagem e posicionamento das cubetas de

polipropileno, para depois disso, iniciar a executar o nivelamento do piso e a montagem do cimbramento (preferencialmente metálico) da estrutura.

Em concordância ao estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes do tipo “cogumelos” são as que apoiam sobre pilares com capitéis, já as lajes lisas são apoiadas diretamente em pilares, dispensando elementos de ligação como mostrado na Figura 10.



Nas lajes do tipo cogumelo, o capitel tem a função de dissipar as tensões cisalhantes presentes nos apoios, atenuando-se assim o efeito de punção, porém, esse tipo de metodologia onera uma das principais vantagens desse sistema que é a redução do uso de formas, criando assim uma saliência sob a laje e fazendo com que se utilize uma maior área de formas para moldar essa região.

Já as lajes lisas nervuradas são apoiadas diretamente sobre os pilares, utilizando-se na região dos apoios maciços de concreto, com objetivo de resistir às tensões de cisalhamento características dessas regiões. Na Figura 11 pode-se verificar a situação de apoio de uma laje nervurada sobre pilares.

Figura 11 - Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares



Fonte: Técnica Pini (2018)

3.7.3.1 Vantagens das lajes lisas nervuradas

Spohr (2008) e Vizotto e Sartorti (2010) listam as seguintes vantagens dos sistemas de laje lisa nervurada lisa:

- a) vence grandes vãos sem perder a esbelteza;
- b) grande rotatividade na utilização de formas e cubas;
- c) baixo consumo de formas de madeiras;
- d) por não haver vigas sob os vãos permite flexibilidade no posicionamento das alvenarias, resultando em uma maior liberdade ao projeto arquitetônico;
- e) os pilares não precisam necessariamente seguir um alinhamento em seu plano de locação, resultando também em maior flexibilidade ao projeto arquitetônico;
- f) peso próprio inferior quando comparado a outros tipos de laje, reduzindo ações atuantes nas fundações.

3.7.3.2 Desvantagens das lajes lisas nervuradas

Segundo Carvalho (2012), a opção pelo uso da laje lisa nervurada deverá passar por uma avaliação detalhada, pois existem variáveis que podem inviabilizar o emprego desse método estrutural. Até mesmo fatores como a localização da obra pode onerar o custo de implantação desse sistema, cidades distantes de grandes centros urbanos tendem a serem mais resistentes a essa tipologia de lajes, além de existir pouca mão de obra específica e baixa disponibilidade das formas de polipropileno.

Segundo Spohr (2008), em edifícios de múltiplos pavimentos a existência de poucas vigas torna-se um problema quanto à falta de rigidez no sistema, cuidados também deverão ser tomados no que condiz ao controle da deformação vertical nas lajes. Para combater a falta de rigidez na estrutura e as ações horizontais, paredes-pilares e núcleos rígidos nos halls de escada e poços de elevadores poderão ser inseridos no sistema a fim de inserir elementos de contraventamento na construção.

Araújo (2008), Vizotto e Sartorti (2010) e Dantas e Nascimento (2009) abordam em seus trabalhos algumas desvantagens do sistema de lajes nervuradas, que são:

- a) exige mão de obra qualificada para não prejudicar a produtividade, ocasionando assim mais custo;
- b) acabamento final sob a laje não é plano, podendo ocasionar a instalação de forro para obtenção de um acabamento liso;
- c) risco de ocorrer punção dos pilares na laje, devido ao cisalhamento ocorrido nos apoios, se executada de forma errônea;
- d) menos desempenho acústico em relação a outros sistemas estruturais;
- e) menor rigidez da estrutura às ações laterais por não existir muitos pórticos.

3.7.3.3 Cubas de polipropileno para enchimento

As formas de polipropileno, chamadas de cubas ou cubetas plásticas, possuem como grande vantagem a rotatividade durante a execução da obra, de acordo com Spohr (2008) com o correto manuseamento das cubas elas podem ser reutilizadas até 100 vezes, uma vida útil bem maior do que as formas de madeiras utilizadas em sistemas convencionais.

A cavidade formada pelas cubas sob a laje esta localizada abaixo da região da linha neutra, portanto é uma área onde não é necessário o preenchimento de concreto, deixando assim a estrutura mais leve.

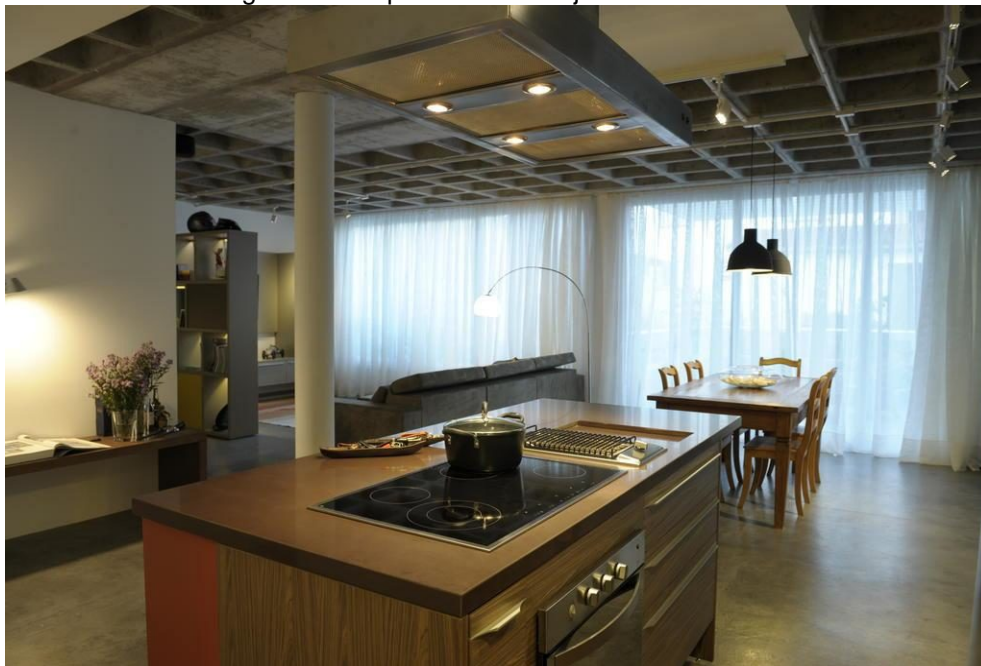
No aspecto estético alguns arquitetos não aprovam a superfície inferior da laje por não apresentar aspecto de superfície plana, acarretando as vezes na instalação de forros e conseqüentemente elevando o custo da obra. Nas Figuras 12 e 13 podem ser visto a fase de montagem das formas e o acabamento final sob a laje.

Figura 12 - Montagem das cubas de polipropileno



Fonte: Atex (2018)

Figura 13 - Aspecto final da laje lisa nervurada



Fonte: Atex (2018)

3.7.3.4 Prescrições normativas

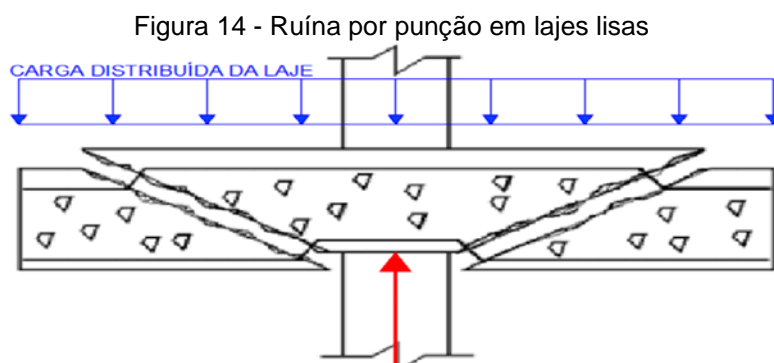
A NBR 6118 (ABNT, 2014) prescreve as premissas e limitações que os projetos de lajes lisas nervuradas devem seguir. São adotados limites como

espessura mínima da mesa, espaçamento máximo entre nervuras e parâmetros para dispensa de armadura na mesa. Além disso, estabelece as seguintes condições:

- a) é permitida a dispensa na verificação do momento flexor atuante na mesa e verificação da força cortante nas nervuras desde que o espaçamento entre eixos das nervuras não seja superior a 65 cm;
- b) deverá ser verificado a flexão da mesa e cisalhamento das nervuras para lajes onde a distância entre os eixos das nervuras esteja entre 65 cm a 110 cm; caso o espaçamento das nervuras não seja maior que 90 cm e elas tenham largura média superior a 12 cm é permitido a verificação do cisalhamento como se fosse lajes, caso não atenda aos requisitos será verificado como vigas;
- c) quando as lajes nervuradas possuírem espaçamento entre nervuras superiores a 110 cm, a mesa deverá ser calculada como laje maciça, apoiada em todo perímetro e respeitando os limites mínimos de espessura conforme item específico da norma.

3.7.3.5 Punção

De acordo com Araújo (2003) a punção se define como o atingimento do estado limite útil ao cisalhamento na região perimetral ao pilar de apoio, gerando assim uma área de grande concentração de cargas em um só ponto e fazendo com que ocorra o colapso da estrutura. Como apontado na Figura 14, à centralização das cargas e ações faz com que surjam fissuras inclinadas a um plano médio de 30° sinalizando a ruptura do elemento. Em lajes do tipo cogumelo, as quais são apoiadas diretamente nos pilares, necessitam de uma avaliação criteriosa quanto ao combate do efeito de punção.



Fonte: AutoQi (2014)

Segundo Albuquerque (1999) a verificação normativa do efeito punção é dada a partir do método da área de controle, onde é calculado o valor de uma tensão nominal de cisalhamento em uma área específica de controle. A verificação é feita com base no valor obtido da tensão e da resistência do concreto.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que o conceito de cálculo equivale à verificação da força cortante em duas ou mais superfícies vulneráveis na região perimetral ao elemento de apoio, onde a concentração de cargas é acentuada.

Na primeira região crítica, delimitada pelo contorno C, do aparelho de apoio ou da superfície de cargas concentrada, deve ser verificado de forma indireta a tensão de compressão diagonal do concreto, pela tensão de cisalhamento.

Na segunda região crítica, delimitada pelo contorno C', afastada a uma distancia de 2d do pilar ou do carregamento concentrado, a capacidade de ligação à punção deve ser verificada, de forma análoga à resistência à tração diagonal. A verificação também é realizada por meio de uma tenção de cisalhamento, no contorno C'.

Caso os cálculos sinalizem quanto aos efeitos da punção, a ligação laje-pilar deverá receber reforço através de armadura transversal.

A terceira região crítica, delimitada pelo contorno C'', será verificada apenas quando constatado a necessidade do uso de armadura transversal.

Onde os efeitos de carregamentos possuem uma distribuição simétrica admite-se que:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

$$d = \frac{(d_x + d_y)}{2} \quad (\text{Equação 4})$$

sendo que:

d – equivale a altura útil da laje em todo o contorno crítico C' , de forma externa ao contorno C da região de aplicação da força e a uma distância de $2d$ do plano da laje;

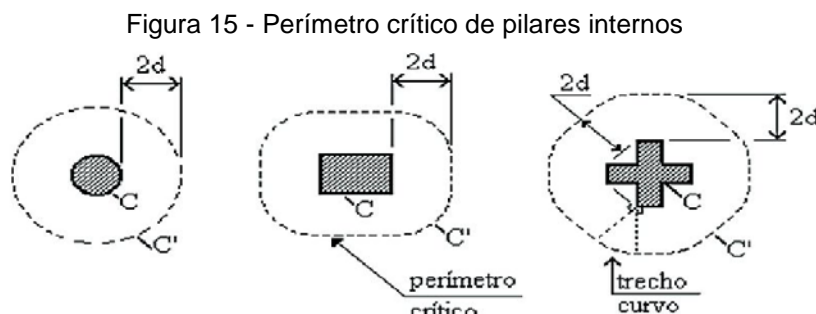
d_x e d_y – representa as alturas úteis nas duas direções a um plano de 90° ;

u – perímetro do contorno crítico C' ;

$u \cdot d$ – área da superfície crítica;

F_{sd} – força ou reação concentrada sem majoramentos.

A delimitação dos contornos críticos pode ser observada na Figura 15.



Fonte: NBR 6118 (2014)

A resultante de punção F_{sd} pode ser reduzida da força distribuída posta na face oposta da laje, contida no contorno levado em conta na verificação, C ou C' .

Para pilares internos onde existem efeitos de momentos, no qual existam ações de forças verticais e transferência de momento entre a laje e o pilar, o efeito de assimetria deve ser calculado a partir da expressão:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} + \frac{KM_{sd}}{W_p d} \quad (\text{Equação 5})$$

sendo que:

K – coeficiente que concede parte do M_{sd} propagado ao pilar por cisalhamento, dependendo da relação C_1 / C_2 .

A relação entre o coeficiente K e as dimensões C_1 / C_2 é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de K para relação C1/C2

C1/C2	0,5	1	2	3
k	0,45	0,6	0,7	0,8

C1 é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;
C2 é a dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força.

Fonte: NBR 6118 (2014)

W_p - Valor utilizado para pilar retangular obtido através da seguinte expressão:

$$W_p = \frac{C_1^2}{2} + C_1 \cdot C_2 + 4 \cdot C_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot C_1 \quad (\text{Equação 6})$$

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado baseando-se no roteiro criado por McKay e Marshall (2001) e inicia-se com a caracterização da análise comparativa proposta para estudo. O motivo da escolha desse roteiro entre os outros é justificado pela clareza na definição das etapas. A Figura 16 descreve o fluxograma das etapas a ser seguido.

Figura 16 - Etapas de uma pesquisa



Fonte: Adaptado de McKay e Marshall (2001).

Na sequência são descritas as etapas da pesquisa de forma resumida e esquemática. Feito isso, são descritas de forma detalhada cada uma das etapas da pesquisa.

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nesse projeto, foi desenvolvida uma análise comparativa entre diferentes sistemas estruturais. Foi comparado a concepção estrutural

convencional em lajes maciças e sistemas compostos por lajes nervuradas, ambas em concreto armado.

Primeiramente, foram definidos os sistemas construtivos a serem comparados. Em seguida foi escolhida uma edificação padrão, que serviu de modelo para aplicação das concepções estruturais de acordo com cada sistema.

Em uma segunda parte, fez-se o dimensionamento da estrutura via ferramenta computacional utilizando o software CYPECAD e a análise da estrutura para os três sistemas adotados, obtendo-se assim os quantitativos dos insumos, os quais serviram de base para compor os custos de cada sistema.

Finalmente, após apurado o quantitativo de materiais de cada sistema estrutural, aplicou-se valores unitários obtidos através composições usuais e encontrou-se o valor global para cada tipologia construtiva adotada, alcançando assim parâmetros de comparação entre os custos de cada sistema.

4.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS ADOTADOS

4.2.1 Sistema construtivo

- a) Sistema estrutural convencional com lajes maciças, vigas e pilares;
- b) Sistema estrutural com lajes nervuradas pré-moldada, treliças, vigas e pilares;
- c) Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares.

4.2.2 Fases do projeto consideradas

- a) A estrutura propriamente dita;
- b) Fundação;
- c) Pilares, vigas e lajes.

4.2.3 Serviços e insumos analisados

- a) Formas;
- b) Aço;
- c) Concreto;
- d) Pré-moldado (quando aplicável);
- e) Materiais inertes (quanto aplicável);
- f) Escoramento.

4.3 ESCOLHA DO EDIFÍCIO MODELO

O projeto arquitetônico do edifício modelo foi cedido pelo Eng. Jeizon Eustáquio de Paula. Trata-se de um edifício denominado Residencial Cidade Nova, o qual, atualmente está em fase de construção. O prédio localiza-se à Rua Zezinho de Abreu, no município de João Monlevade, estado de Minas Gerais. Sua fachada é apresentada na Figura 17.

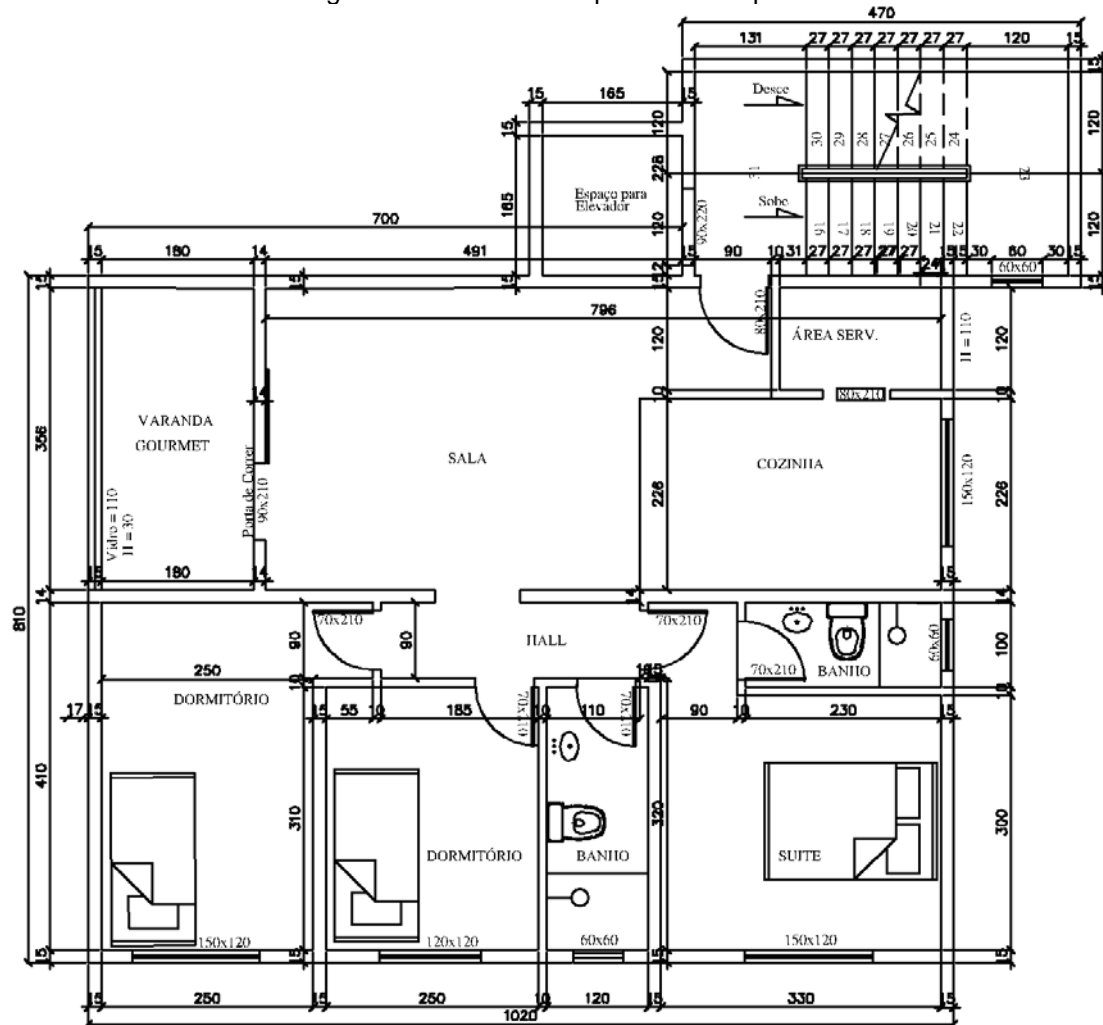
Figura 17 - Vista em perspectiva do Residencial Cidade Nova



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2018)

O prédio em questão refere-se a uma edificação de uso residencial, composto por quatro pavimentos, sendo o primeiro abrigando a garagem nos pilotis e outros três pavimentos típicos com um apartamento por andar. Pode ser observada a planta dos pavimentos típicos na Figura 18.

Figura 18 - Planta baixa pavimentos típicos



Fonte: Eng. Jeizon Eustáquio de Paula

O motivo pelo qual se optou por esse edifício modelo deve-se ao fato de o porte da construção assemelhar-se com uma grande gama de outros edifícios existentes na cidade e região, sendo assim, o apuramento final dos dados poderá ser aplicado, salvo as particularidades, em um vasto número de outros empreendimentos.

4.4 CRITÉRIOS DO PROJETO

a) Classe de agressividade ambiental

Tratando-se de um edifício de uso residencial, onde os apartamentos possuem ambiente interno seco, situado em área de perímetro urbano e

revestido com pastilhas cerâmicas, considera-se a classe de agressividade I para a superestrutura do edifício em questão. Já nas fundações, uma vez que a estrutura estará em permanente contato com o solo úmido, considera-se a classe de agressividade II.

Seguindo as prerrogativas da NBR 6118 (ABNT, 2014), para esse caso o concreto a ser utilizado será o da classe C25, ou seja, f_{ck} de 25 MPa após 28 dias da concretagem.

Já o cobrimento da armadura, conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2018), onde caracterizado anteriormente como classe I, receberá cobrimento de 20 mm para as lajes e 25 mm para vigas e pilares. Na fundação, onde atua a classe II, deverá ser de 30 mm o cobrimento dos elementos ali presente.

Os critérios adotados acima podem ser visto nas Tabelas 1, 2, e 3 presentes no capítulo 3 deste trabalho.

b) Carregamento

Para essa pesquisa foi utilizados, conforme disposições contidas na NBR 6120 (ABNT, 1980), os seguintes carregamentos causados pelos pesos específicos dos materiais e também as cargas acidentais a qual a estrutura estará sujeita.

Pesos específicos:

concreto armado.....	25KN/m ³
alvenaria de tijolos furados.....	13KN/m ³
argamassa de cal, cimento e areia.....	19KN/m ³
revestimentos.....	1,0KN/m ²
telhado (estrutura e telha fibrocimento).....	0,5KN/m ²

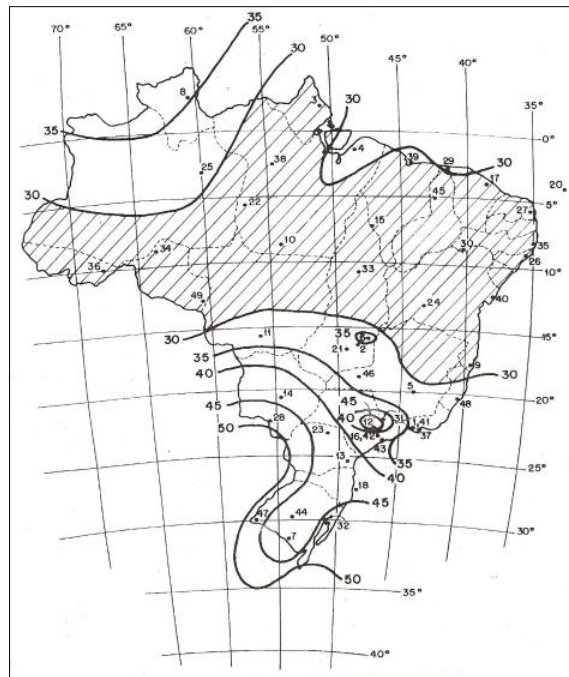
Carregamentos acidentais:

Pisos residenciais (dormitório, sala, copa, cozinha e banheiro).....	1,5KN/m ²
Pisos residenciais (despensa, área de serviço e lavanderia).....	2,0KN/m ²
Escadas sem acesso público.....	2,5KN/m ²
Forros sem acesso a pessoas.....	0,5KN/m ²

c) Ação do vento

As ações causadas pelo vento na edificação foram calculadas de acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1988) – Forças devidas ao vento em edificações, onde se extrai o gráfico das Isopletas (Figura 19).

Figura 19 - Isopletas da velocidade básica do vento



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

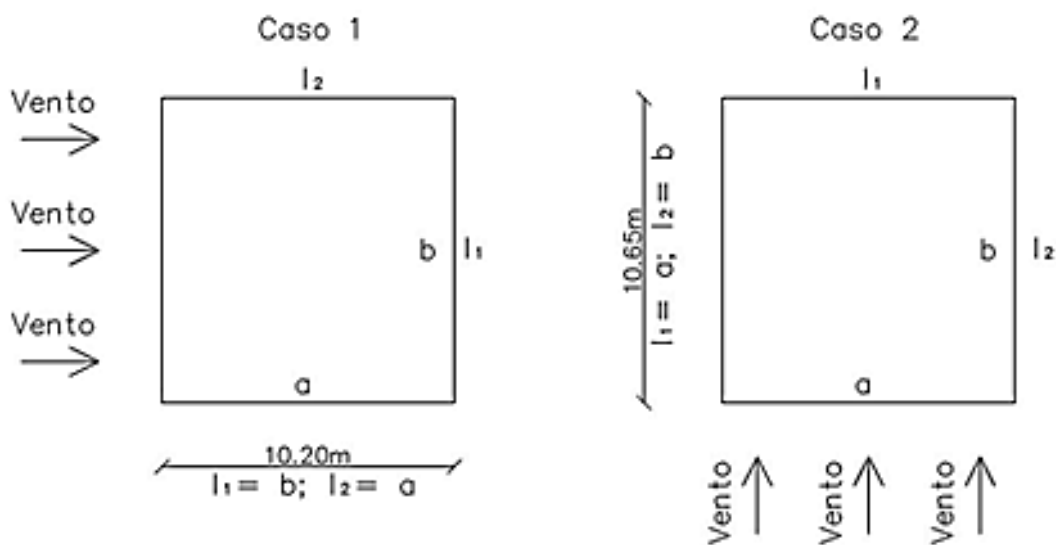
Seguindo as prescrições normativas e as dimensões da edificação apontada na Figura 20, foram adotadas as seguintes premissas:

- I. a construção está situada em um bairro residencial da cidade de João Monlevade, em um terreno com topografia fracamente acidentado;
- II. as edificações no entorno são do mesmo porte ou mais baixas que o edifício considerado;
- III. a velocidade do vento para o local da edificação, obtida através do gráfico de isopletas da ABNT NBR 6123, é de 35 m/s;
- IV. fator topográfico S_1 : Levando em consideração que o terreno é plano ou com topografia levemente acidentada, tem-se $S_1 = 1,0$;
- V. rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2 ; conforme a localização da construção foi considerada a

categoria III para rugosidade do terreno. Considera-se que edifício pertence à classe A, uma vez em que a maior dimensão da superfície frontal (horizontal ou vertical) não excedeu 20 m;

- VI. fator estatístico S_z : tratando-se de um prédio de uso residencial, tem-se $S_z = 1,0$, portanto pertencente ao grupo 2;
- VII. coeficiente de arrasto: para o estudo, foram considerados dois casos, mostrado na a Figura 5, onde a altura $H = 13,84$ m e as medidas dos lados em planta $a = 10,20$ m e $b = 10,65$ m;

Figura 20 - Obtenção do coeficiente de arrasto



Fonte: Imagem elaborada pelo autor (2018)

Caso 1: vento segundo a direção X

Neste caso tem-se $l_1 = 10,65$ m e $l_2 = 10,20$ m. Obtendo-se o coeficiente de arrasto através do Gráfico 4 da NBR 6123 (ABNT, 1988) teremos as seguintes relações:

$$\frac{10,65}{10,20} = 1,04; \quad \frac{13,84}{10,65} = 1,30. \quad (\text{Equação 7})$$

Feita analogia entre os valores obtidos e o gráfico, obtém-se um coeficiente de arrasto $C_a \cong 1,18$.

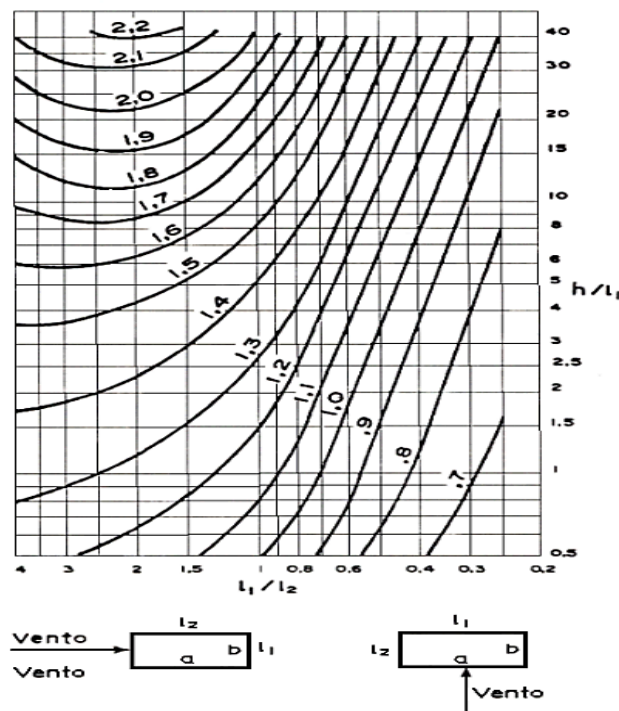
Caso 2: vento segundo a direção Y

Neste caso tem-se $l_1 = 10,20$ m e $l_2 = 10,65$ m. Obtendo-se o coeficiente de arrasto através do gráfico da NBR 6123 (ABNT, 1988) apontado na Figura 21 teremos as seguintes relações:

$$\frac{10,20}{10,65} = 0,96; \frac{13,84}{10,20} = 1,36. \quad (\text{Equação 8})$$

Feita analogia entre os valores obtidos e o gráfico, obtém-se um coeficiente de arrasto $C_a \cong 1,14$.

Figura 21 - Gráfico obtenção do Coeficiente de Arrasto



d) Parâmetros de instabilidade e deslocamento

Para esse estudo foi utilizado como parâmetro de instabilidade global o coeficiente γ_z , partindo da premissa onde a estrutura será composta de nós fixos, com $\gamma_z \leq 1,1$.

Quanto aos deslocamentos horizontais, a edificação terá $h_i = 288$ cm, sendo assim o deslocamento máximo horizontal admissível entre dois pavimentos vizinhos será dada por $288/850 = 0,34$ cm.

e) Especificidade da laje maciça

O concreto utilizado possui resistência característica de 25 MPa, enquanto a armadura adotada foi do tipo CA-50 e CA-60.

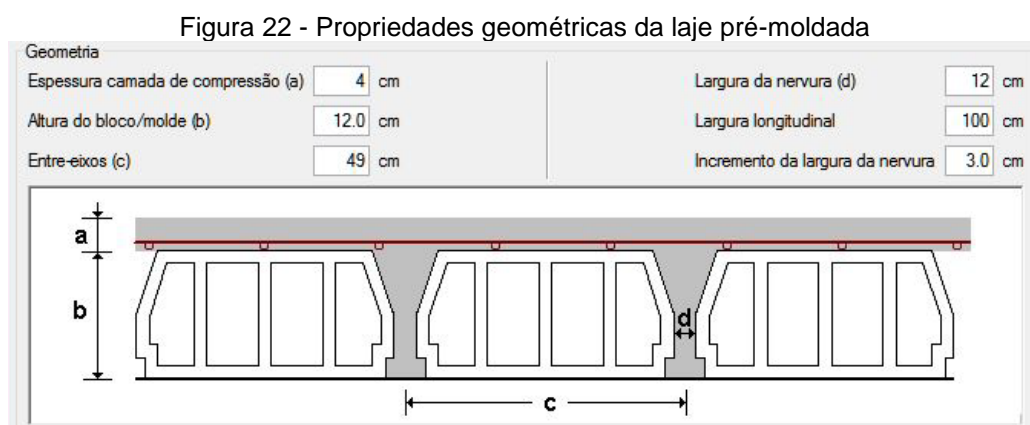
A laje foi dimensionada com espessura de 10 cm e apoiada sobre vigas por todo seu perímetro.

f) Especificidade da laje pré-moldada treliçada

Para esse estudo foi considerado como material inerte os blocos de EPS (poliestireno expandido), visto que possui um peso próprio inferior aos blocos cerâmicos e também a crescente utilização no mercado.

Conforme apontado na Figura 22, a espessura do capeamento de concreto adotado sobre a superfície da laje é de 4 cm e as vigotas pré-moldadas calculadas com altura de 12 cm.

Já o concreto empregado na estrutura possui resistência característica de 25 MPa, enquanto a armadura adotada foi do tipo CA-50 e CA-60.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor (2018)

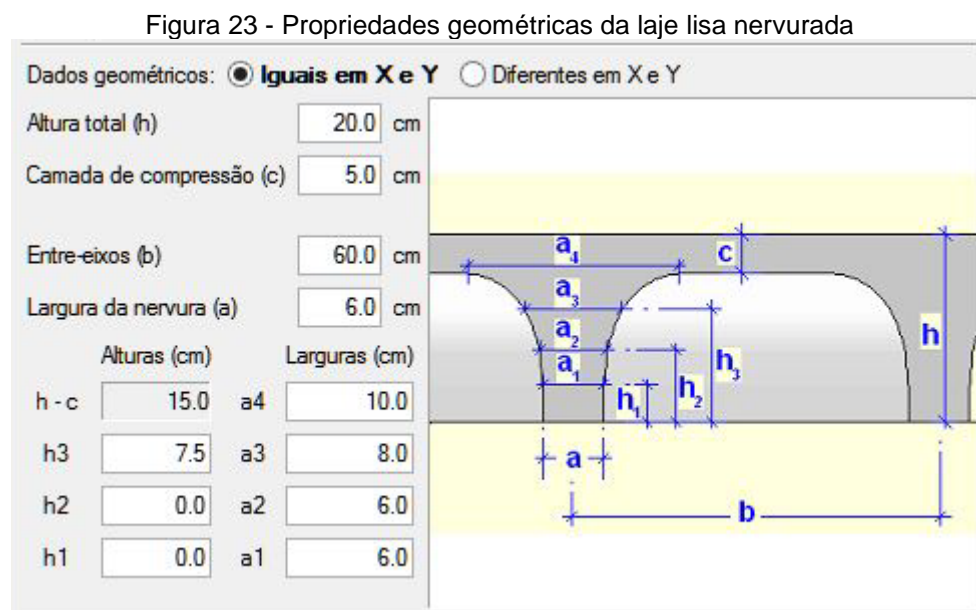
g) Especificidade da laje nervurada

O conceito estrutural adotado nesse trabalho foi realizado através de lajes lisas nervurada, eliminando a necessidade de vigas internas sob a laje ou capitéis (saliências de concreto na face inferior das lajes) e a apoiando

diretamente sobre os pilares. Tal medida otimiza recursos na obra, como a diminuição de recortes em formas.

Já o concreto empregado na estrutura possui resistência característica de 25 MPa, enquanto a armadura adotada foi do tipo CA-50 e CA-60.

A mesa foi calculada com espessura de 5 cm e espaçamentos das nervuras com 60 cm entre os eixos. Essas dimensões são observadas na Figura 23.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor (2018)

4.5 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Baseado em dados práticos, assumiu-se como tensão admissível, um solo resistente a 0,32 MPa, sendo adotada fundação do tipo direta por meio de sapatas. A simplificação da caracterização do solo bem como sua resistência, apenas foi possível pelo fato de o escopo dessa pesquisa ser meramente para efeitos de comparação de custo em um estudo acadêmico.

4.6 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Para o desenvolvimento do projeto estrutural, foi utilizado o software CYPECAD, em sua versão 2018. Trata-se de um programa com ampla difusão entre os profissionais da área, com linguagem simplificada e de fácil entendimento. Tem como característica elaborar diagramas e imagens que permitem uma completa análise dos dados, além de gerar memorial de cálculo e quantificar volumes de serviço como forma, armação e concreto, permitindo uma melhor produtividade por parte dos usuários.

O CYPECAD é desenvolvido e comercializado pela CYPE INGENIEROS S.A., é um programa para projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos.

Os recursos para detalhamento e dimensionamento estão de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), fundações (NBR 6122:2010), carregamentos (NBR 6120:2017), barras (NBR 7480:2007), ventos (NBR 6123:1988), ações e combinações (NBR 8681:2003).

4.7 PARÂMETROS PARA COMPARAÇÃO

4.7.1 Índice de formas (if)

É a razão obtida através da divisão da área total de forma obtida em projeto pela área total da edificação, segundo prescrições da NBR-12721 (ABNT, 2006).

$$if = \frac{Af(m^2)}{A(m^2)} \quad (\text{Equação 9})$$

4.7.2 Índice de concreto (ic)

É a razão obtida através da divisão do volume total de concreto obtido em projeto pela área total da edificação, segundo prescrições da NBR-12721 (ABNT, 2006).

$$ic = \frac{V(m^3)}{A(m^2)} \quad (\text{Equação 10})$$

4.7.3 Índice de aço (ia)

É a razão obtida através da divisão do peso total de aço extraído no projeto pelo volume total de concreto também obtido em projeto.

$$ia = \frac{P(Kg)}{V(m^3)} \quad (\text{Equação 11})$$

4.8 METOLOGIA DE APURAÇÃO DOS CUSTOS

O custo final de uma obra é composto de inúmeras variáveis complexas e de difícil detalhamento, com isso, a comparação de custos é algo que devida as particularidades de cada obra, apresenta certa dificuldade.

Utilizaram-se composições usuais para os serviços considerados. Foram consideradas apenas composições de serviços propriamente ditos, com isso, não se consideram os custos relacionados a serviços iniciais, instalação da obra, limpeza do terreno ou quaisquer outros não relacionados com os serviços apresentados neste trabalho. As composições utilizadas foram retiradas das “Tabelas para Composições de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2018), nas quais foram feitas pequenas adaptações. Para os insumos, materiais e mão de obra, foram utilizados valores da Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) desonerada referente ao mês de setembro 2018, praticado em Minas Gerais. A SINAPI é uma Tabela de preços e composições unitárias divulgada mensalmente pela Caixa Econômica Federal.

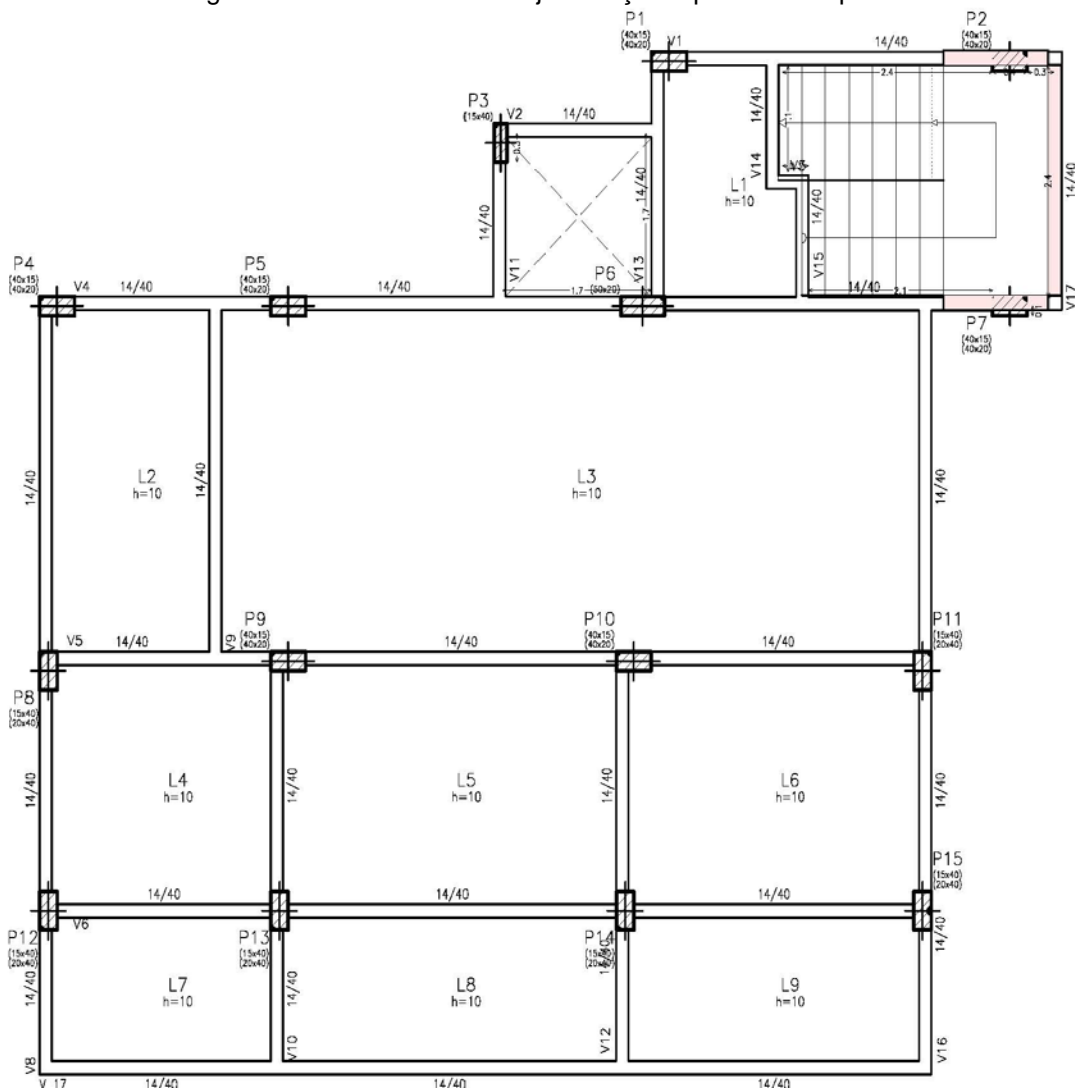
5 CONCEPÇÃO E COLETA DOS DADOS

5.1 SISTEMA I – ESTRUTURA CONVENCIONAL COM LAJES MACIÇAS

5.1.1 Informações do projeto

Na elaboração do projeto estrutural utilizando a metodologia convencional com lajes maciças foi utilizado, conforme visto anteriormente, concreto estrutural cuja resistência é 25 MPa. As armaduras são do tipo CA-50 e CA-60, com diâmetros variados de acordo com as especificações contidas no projeto e recobrimento de concreto de 25 mm, seguindo as prescrições da classificação de agressividades contidas na NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 24 apresenta a planta de formas do pavimento típico.

Figura 24 - Planta de forma laje maciça do pavimento típico



Fonte: imagem elaborada pelo autor (2018)

5.1.2 Quantitativos do Sistema I

É apresentado nas Tabelas 5 e 6 a apuração dos quantitativos e índices dos principais serviços obtidos no sistema convencional composto por lajes maciças.

Tabela 5 - Quantitativos do sistema composto por lajes maciças

Elemento Estrutural	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Aço (kg)	
			CA-50	CA-60
Lajes	31,52	315,16	1037,00	1045,00
Vigas	24,79	317,04	1631,00	339,00
Pilares	11,00	185,74	1095,00	351,00
Fundações	5,51	-	230,00	6,00
Total->	72,82	817,94	3993,00	1741,00
			5734,00	

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Tabela 6 - Índices de consumo obtidos no sistema de lajes maciças

Tipo da Estrutura	Índice de Concreto	Índice de Forma	Índice de Aço
	m ³ /m ²	m ² /m ²	kg/m ³
Laje maciça convencional	0,23	2,60	78,74

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

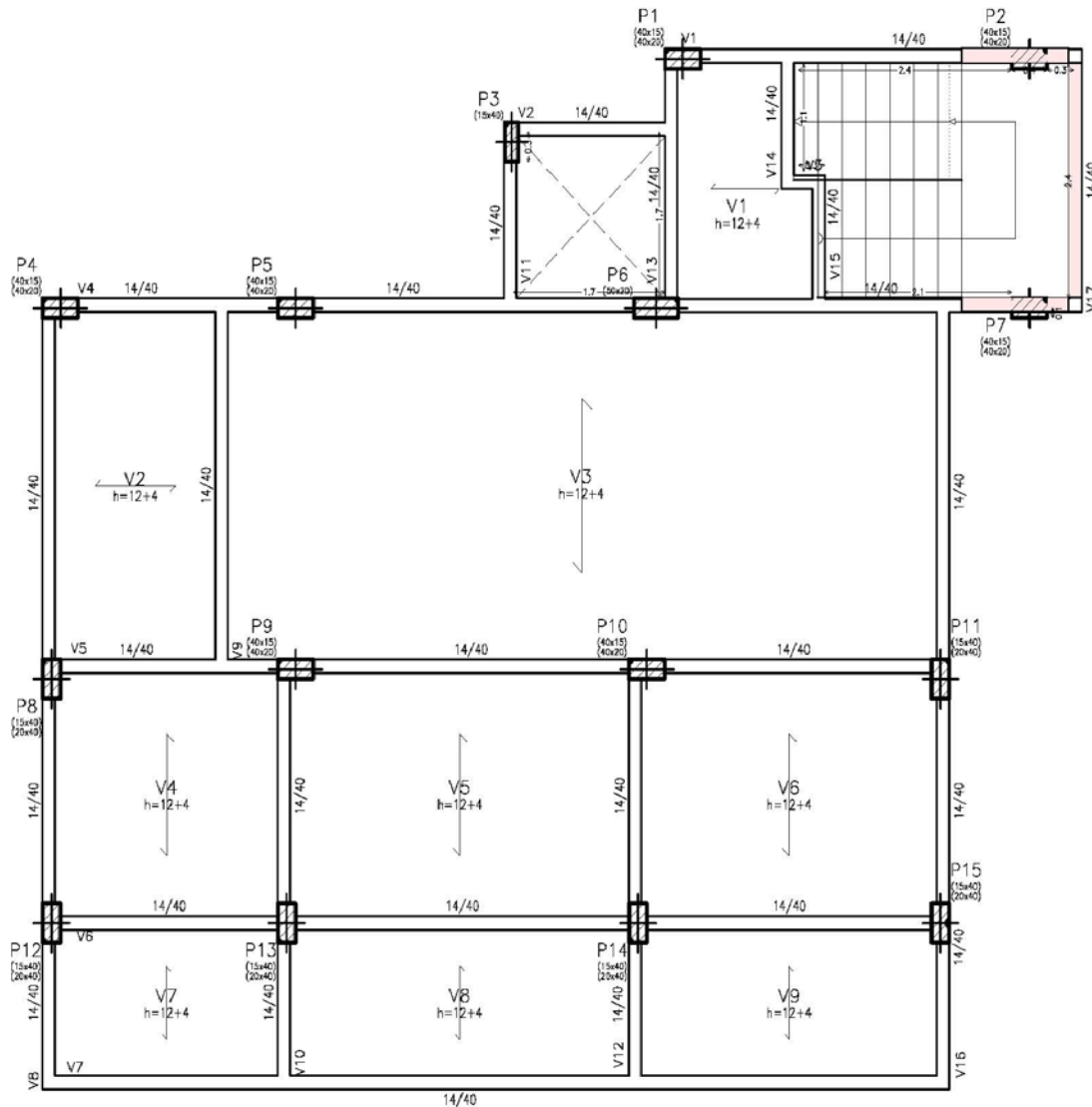
5.2 SISTEMA II – ESTRUTURA CONVENCIONAL COM LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS

5.2.1 Informações do projeto

Na concepção estrutural do sistema convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçada foi adotado, conforme visto anteriormente, concreto estrutural cuja resistência característica de 25 MPa. As armaduras são do tipo CA-50 e CA-60, com diâmetros variados de acordo com as especificações

contidas no projeto e recobrimento de concreto de 25 mm, seguindo as prescrições da classificação de agressividades contidas na NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 25 apresenta a planta de formas do pavimento típico.

Figura 25 - Planta de forma laje pré-moldada do pavimento típico



Fonte: imagem elaborada pelo autor (2018)

5.2.2 Quantitativos do Sistema II

É apresentado nas Tabelas 7 e 8 a apuração dos quantitativos e índices dos principais serviços obtidos no sistema convencional composto por lajes nervuradas pré-moldadas treliçada.

Tabela 7 - Quantitativos do sistema composto por lajes nervuradas pré-moldadas treliçada

Elemento Estrutural	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Aço (kg)		Pré-moldado (m ²)	EPS (m ³)
			CA-50	CA-60		
Lajes	24,97	0,00	23,00	627,00	315,16	30,00
Vigas	24,87	292,16	1616,00	328,00	-	-
Pilares	11,01	185,87	1126,00	364,00	-	-
Fundações	5,73	-	244,00	6,00	-	-
Total->	66,58	478	3009	1325	315,16	30
			4334,00			

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Tabela 8 - Índices de consumo obtidos no sistema de laje pré-moldada

Tipo da Estrutura	Índice de Concreto	Índice de Forma	Índice de Aço
	m ³ /m ²	m ² /m ²	kg/m ³
Laje pré-moldada	0,21	1,52	65,09

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

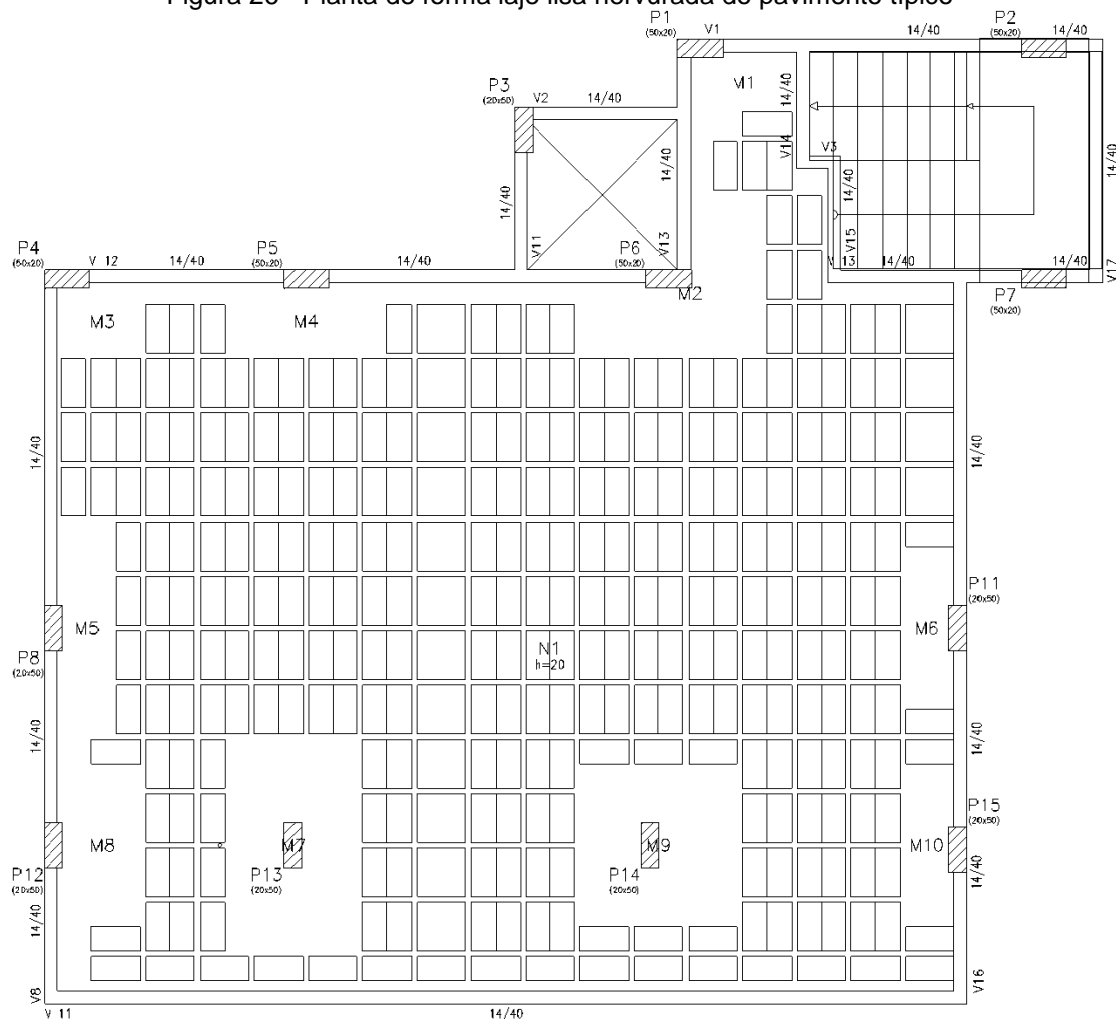
5.3 SISTEMA III – ESTRUTURAS COM LAJES LISAS NERVURADAS

5.3.1 Informações do projeto

Na elaboração do projeto estrutural utilizando como metodologia estrutural lajes lisas nervuradas foi adotado, conforme visto anteriormente, concreto estrutural cuja resistência característica de 25 MPa. As armaduras são do tipo CA-50 e CA-60, com diâmetros variados de acordo com as especificações contidas no projeto e recobrimento de concreto de 25 mm, seguindo as prescrições da classificação de agressividades contidas na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Como pode ser observado na figura 26, nessa concepção estrutural optou-se por eliminar dois pilares internos (em relação às outras metodologias) visto que esse tipo de laje favorece arranjos com maiores vãos e também por se tratar de uma medida econômica favorável.

Figura 26 - Planta de forma laje lisa nervurada do pavimento típico



Fonte: imagem elaborada pelo autor (2018)

5.3.2 Quantitativos do Sistema III

É apresentado nas Tabelas 9 e 10 a apuração dos quantitativos e índices dos principais serviços obtidos no sistema composto por lajes lisas nervuradas.

Tabela 9 - Quantitativos do sistema composto por lajes lisas nervuradas

Elemento Estrutural	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Aço (kg)		Cubas de polipropileno (m ²)
			CA-50	CA-60	
Lajes	37,08	-	1954,00	829,00	315,16
Vigas	15,20	199,23	1039,00	207,00	-
Pilares	14,35	199,73	842,00	371,00	-
Fundações	5,89	-	224,00	7,00	-
Total->	72,52	399	4059,00	1414,00	315,16
			5473,00		

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Tabela 10 - Índices de consumo obtidos no sistema de laje pré-moldada

Tipo da Estrutura	Índice de Concreto	Índice de Forma	Índice de Aço
	m ³ /m ²	m ² /m ²	kg/m ³
Laje lisa nervurada	0,23	1,27	75,47

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 COMPOSIÇÃO DE CUSTO

Para elaborar os preços unitários dos serviços tomados como parâmetros, foram utilizadas planilhas e Tabelas amplamente difundidas no meio técnico, essas planilhas permitem a obtenção de um custo final baseado em situações reais.

As composições seguem os índices de produtividade de mão de obra e consumo de materiais por unidade, estabelecidos na 13ª edição do TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos) disponibilizado pela Editora PINI. Já os preços unitários dos insumos (mão de obra e materiais) foram obtidos através da Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) desonerada referente ao mês de setembro 2018 praticado em Minas Gerais. A SINAPI é divulgada mensalmente pela Caixa Econômica Federal.

As composições de custo estão disponíveis no Anexo A deste trabalho.

6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

É apresentado nas Tabelas 11 e 12 o consumo dos materiais por cada método estrutural e os índices de consumo obtidos em cada sistema.

Tabela 11 - Comparativo de consumo de serviços entre os sistemas adotados

Tipo da Estrutura	Volume de Concreto		Área de Forma		Consumo de aço	
	m ³	%*	m ²	%*	kg	%*
Laje maciça convencional	72,82	100%	817,94	100%	5.734,00	100%
Laje nervurada pré-moldada	66,58	91,43%	478,03	58,44%	4.334,00	75,58%
Laje lisa nervurada	72,52	99,59%	398,96	48,78%	5.473,00	95,45%

* Valores de %, considerando o quantitativo de material do sistema analisado em relação ao sistema de laje maciça convencional.

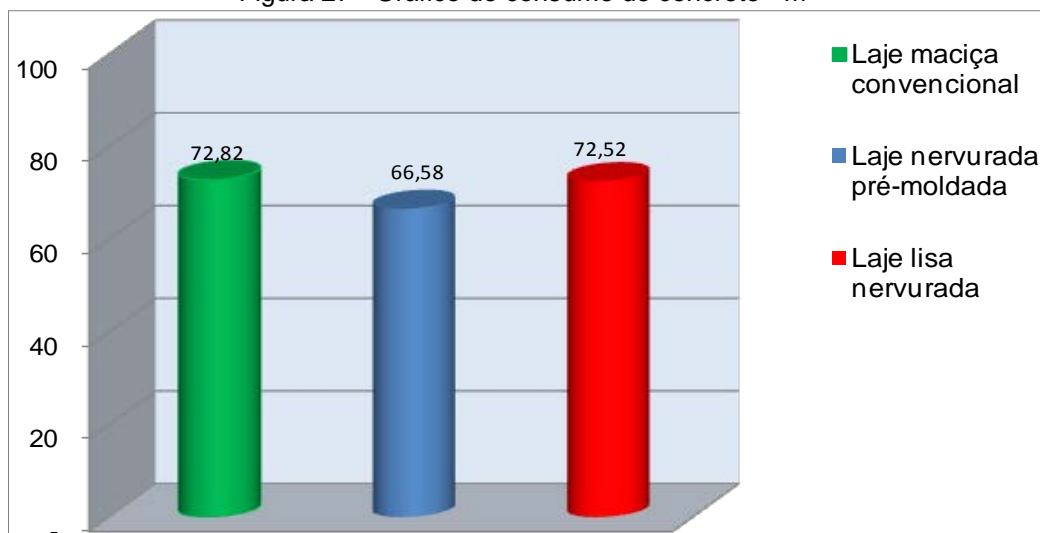
Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Tabela 12 - Índices de consumo por sistema estrutural

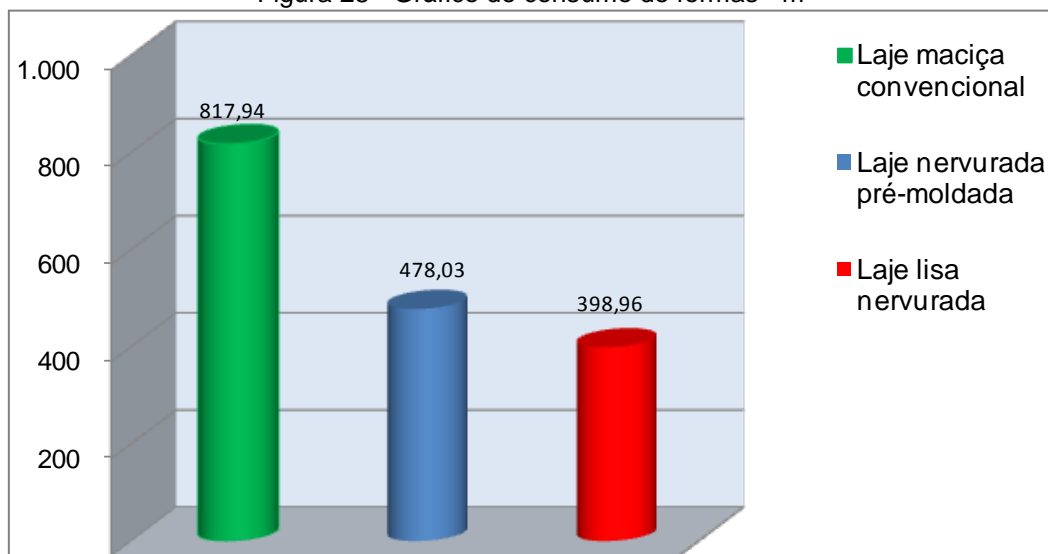
Tipo da Estrutura	Índices de Concreto	Índices de Forma	Índices de Aço
	m ³ /m ²	m ² /m ²	kg/m ³
Laje maciça convencional	0,23	2,60	78,74
Laje nervurada pré-moldada	0,21	1,52	65,09
Laje lisa nervurada	0,23	1,27	75,47

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Nas Figuras 27, 28 e 29 são demonstrados graficamente os dados obtidos.

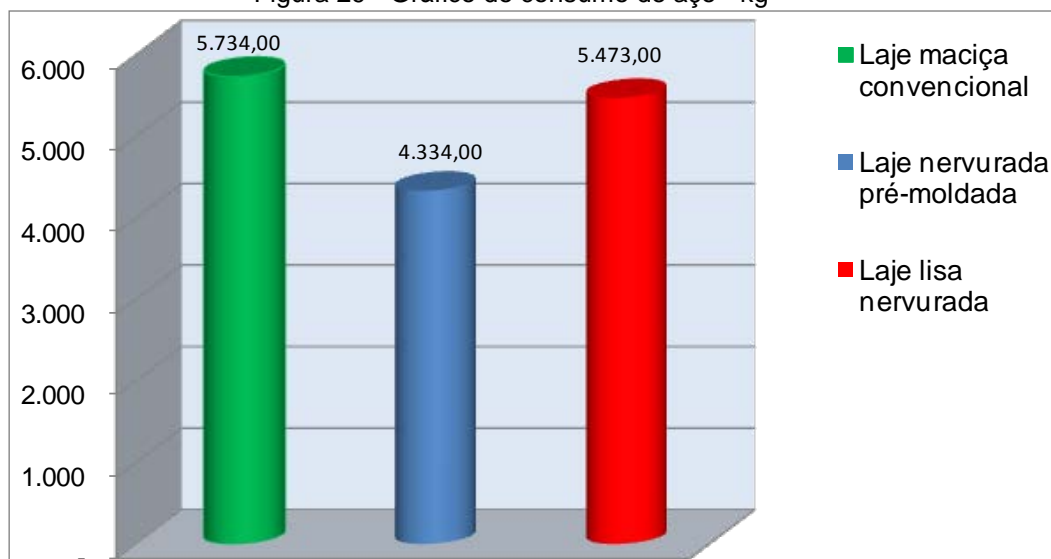
Figura 27 - Gráfico do consumo de concreto - m³

Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Figura 28 - Gráfico do consumo de formas - m²

Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Figura 29 - Gráfico do consumo de aço - kg



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Nota-se que a estrutura composta pela laje lisa nervurada apresenta o menor consumo de formas de madeira, visto que a superfície inferior da laje é moldada pelas cubas de polipropileno. Já o modelo estrutural concebido por laje pré-moldada foi responsável pelos melhores resultados no consumo de concreto e aço, dado que, na laje propriamente dita, esses serviços são computados apenas no capeamento de concreto.

O sistema de lajes maciças apresentou maior consumo em todos os serviços analisados. A expressiva espessura da laje juntamente com a elevada superfície moldada contribuiu para esse resultado.

6.3 CUSTOS

Depois de realizado o levantamento dos quantitativos e também feita à composição de preços unitários dos respectivos serviços, fica possível a apuração do custo total de cada sistema através de uma simples soma do produto obtido entre a quantidade e o preço. Os custos totais apresentados a seguir limitam-se exclusivamente ao que tange a estrutura da construção, os demais serviços como fechamento, instalações, pintura e outros não foram considerados.

6.3.1 Apuração de custos da estrutura convencional de laje maciça

É demonstrada na Tabela 13 a relação de serviços, quantidades e valores que resultam na precificação final desse sistema estrutural.

Tabela 13 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural composto por lajes maciças

Item	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
1	Concreto estrutural Fck 25 MPa	m ³	72,82	R\$ 367,71	R\$ 26.776,93
2	Forma de madeira em chapa compensada com esp. = 12 mm	m ²	817,94	R\$ 37,37	R\$ 30.567,30
4	Escoramento em madeira para lajes convencionais de edificação para pé-direito de 2,70 m a 3,00 m	m ²	315,16	R\$ 18,79	R\$ 5.920,72
5	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50	kg	3993,00	R\$ 9,28	R\$ 37.044,66
6	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-60	kg	1741,00	R\$ 10,84	R\$ 18.864,08
Total->					R\$ 119.173,70

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

As Tabelas 14 e 15 apontam os custos por serviço e por elemento estrutural.

Tabela 14 - Custo elemento/serviço da laje maciça

Elemento	Concreto	Forma e Escoramento	Aço	
			CA-50	CA-60
Lajes	R\$ 11.590,35	R\$ 17.698,59	R\$ 9.620,66	R\$ 11.322,78
Vigas	R\$ 9.115,63	R\$ 11.848,13	R\$ 15.131,44	R\$ 3.673,13
Pilares	R\$ 4.044,85	R\$ 6.941,30	R\$ 10.158,75	R\$ 3.803,16
Fundação	R\$ 2.026,10	-	R\$ 2.133,80	R\$ 65,01

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

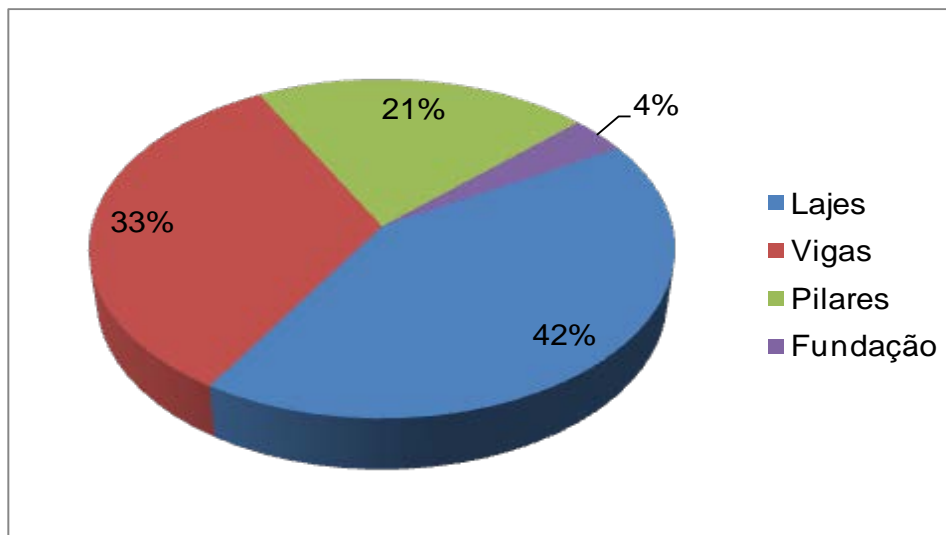
Tabela 15 - Custo por elemento estrutural na laje maciça

Elemento	Valor	%
Lajes	R\$ 50.232,38	42%
Vigas	R\$ 39.768,33	33%
Pilares	R\$ 24.948,07	21%
Fundação	R\$ 4.224,92	4%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

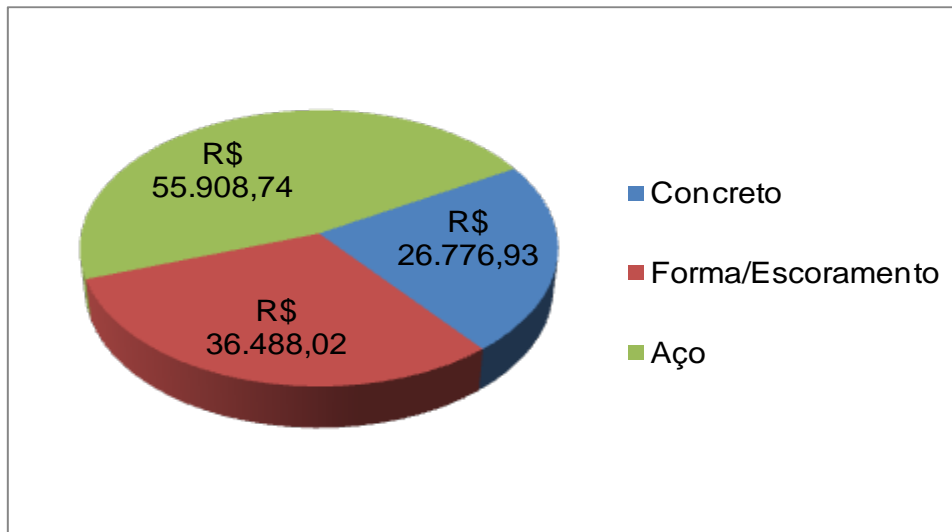
As imagens 30 e 31 representam graficamente a distribuição do desembolso por elemento estrutural e por serviço, respectivamente.

Figura 30 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje maciça



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Figura 31 - Rateio do custo por serviço da laje maciça



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Observa-se que no sistema estrutural de lajes maciça, a laje propriamente dita é o elemento que mais onera a estrutura, representando 2/5 de todo o custo.

Devido a alto custo do material e o alto índice de consumo (78,74 kg/m³), a armação é o item de maior custo dentre os itens comparados, chegando a

representar próximo da metade de todo o custo da estrutura. Forma/escoramento (31%) e concreto (22%) completam o quadro.

6.3.2 Apuração de custos da estrutura de lajes pré-moldadas

É demonstrada na Tabela 16 a relação de serviços, quantidades e valores que resultam na precificação final desse sistema estrutural.

Tabela 16 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes pré-moldada

Item	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
1	Concreto estrutural Fck 25 MPa	m ³	66,58	R\$ 367,71	R\$ 24.482,40
2	Forma de madeira em chapa compensada com esp. = 12 mm	m ²	478,03	R\$ 37,37	R\$ 17.864,50
4	Escoramento em madeira para lajes pré-moldadas de edificação com pé-direito de 2,70 m a 3,00 m	m ²	315,16	R\$ 14,98	R\$ 4.719,74
5	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50	kg	3009,00	R\$ 9,28	R\$ 27.915,70
6	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-60	kg	1325,00	R\$ 10,84	R\$ 14.356,64
7	Forma tipo caixão perdido com poliestireno expandido - EPS	m ³	30,00	R\$ 206,25	R\$ 6.187,50
8	Laje pré-fabricada h = 12 cm	m ²	315,16	R\$ 50,24	R\$ 15.832,06
Total->					R\$ 111.358,54

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

As Tabelas 17 e 18 apontam os custos por serviço e por elemento estrutural.

Tabela 17 - Custo elemento/serviço da laje pré-moldada

Elemento	Concreto	Forma/Esco-ramento	Aço		Pré-moldado/EPS
			CA-50	CA-60	
Lajes	R\$ 9.181,82	R\$ 4.719,74	R\$ 213,38	R\$ 6.793,67	R\$ 22.019,56
Vigas	R\$ 9.145,05	R\$ 10.918,33	R\$ 14.992,28	R\$ 3.553,95	-
Pilares	R\$ 4.048,53	R\$ 6.946,16	R\$ 10.446,35	R\$ 3.944,01	-
Fundação	R\$ 2.107,00	-	R\$ 2.263,69	R\$ 65,01	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

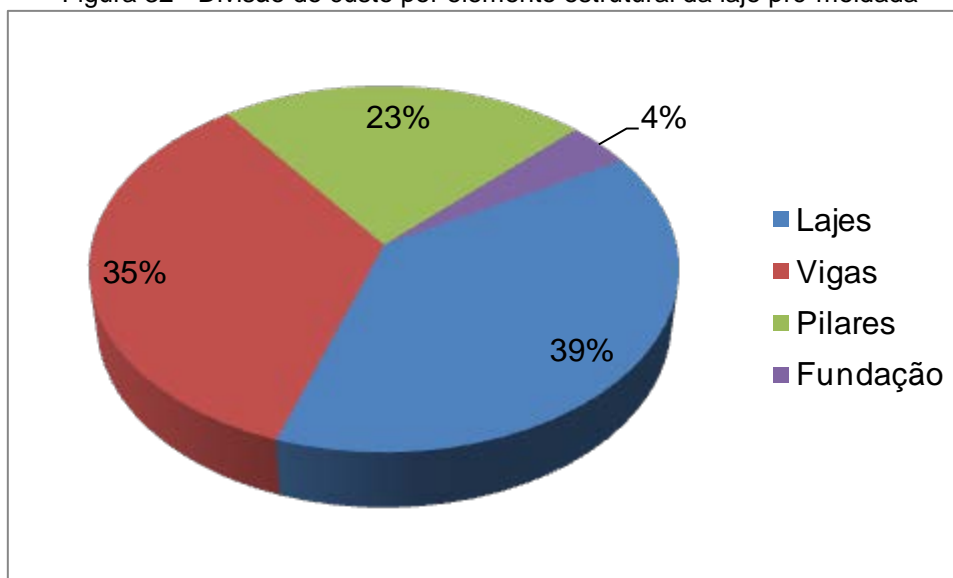
Tabela 18 - Custo por elemento estrutural na laje pré-moldada

Elemento	Valor	%
Lajes	R\$ 42.928,17	39%
Vigas	R\$ 38.609,61	35%
Pilares	R\$ 25.385,06	23%
Fundação	R\$ 4.435,70	4%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

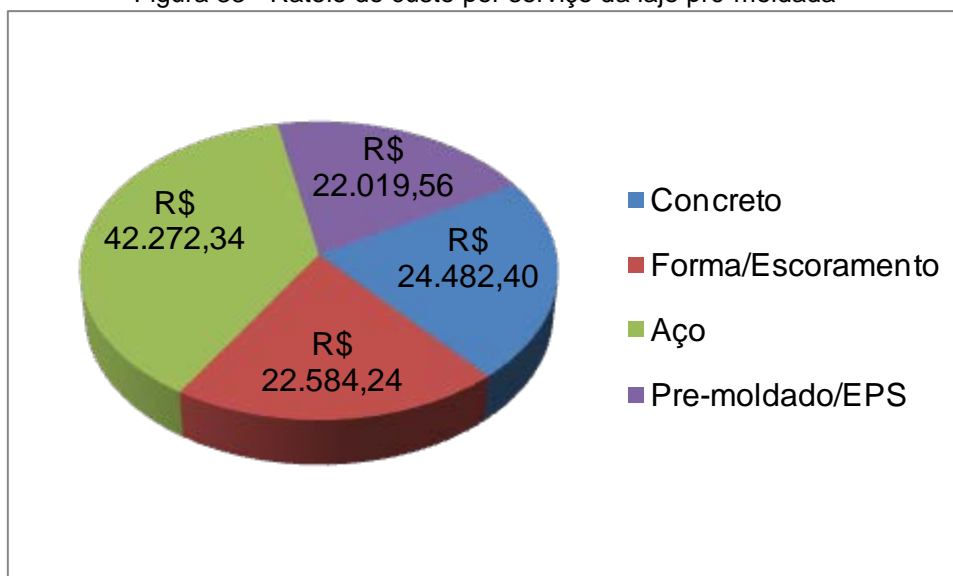
As imagens 32 e 33 representam graficamente a distribuição do desembolso por elemento estrutural e por serviço, respectivamente.

Figura 32 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje pré-moldada



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Figura 33 - Rateio do custo por serviço da laje pré-moldada



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Na concepção estrutural por lajes pré-moldada, todos os elementos estruturais apresentaram valores percentuais similares aos obtidos na laje maciça, porém em custo o sistema composto por lajes pré-moldada apresenta um melhor resultado em relação à laje maciça.

Assim como na laje maciça, a concepção por laje pré-moldada apresenta a armação como o item de maior representatividade financeira. No entanto o valor percentual desse serviço baixou em relação à laje maciça, passando de 47% para 37%.

6.3.3 Apuração de custos da estrutura de lajes lisas nervuradas

É demonstrada na Tabela 19 a relação de serviços, quantidades e valores que resultam na precificação final desse sistema estrutural.

Tabela 19 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes nervurada

Item	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Valor Total
1	Concreto estrutural Fck 25 MPa	m ³	72,52	R\$ 367,71	R\$ 26.666,62
2	Forma de madeira em chapa compensada com esp. = 12 mm	m ²	398,96	R\$ 37,37	R\$ 14.909,57
4	Escoramento metálico para lajes lisas nervuradas de edificação, com escoras metálicas, para pé-direito de 2,70 m a 3,00 m	m ²	315,16	R\$ 13,29	R\$ 4.187,24
5	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50	kg	4059,00	R\$ 9,28	R\$ 37.656,97
6	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-60	kg	1414,00	R\$ 10,84	R\$ 15.320,97
7	Cuba polipropileno - Montagem e desmontagem de forma para laje nervurada	m ²	315,16	R\$ 39,98	R\$ 12.599,95
Total->					R\$ 111.341,32

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

As Tabelas 20 e 21 apontam os custos por serviço e por elemento estrutural.

Tabela 20 - Planilha de quantidades e preço do sistema estrutural de lajes nervurada

Elemento	Concreto	Forma/Esco- ramento	Aço		Cubas Polipropileno
			CA-50	CA-60	
Lajes	R\$ 13.634,84	R\$ 4.187,24	R\$ 18.128,04	R\$ 8.982,38	R\$ 12.599,95
Vigas	R\$ 5.589,25	R\$ 7.445,44	R\$ 9.639,22	R\$ 2.242,89	-
Pilares	R\$ 5.276,70	R\$ 7.464,13	R\$ 7.811,57	R\$ 4.019,86	-
Fundação	R\$ 2.165,84	-	R\$ 2.078,14	R\$ 75,85	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

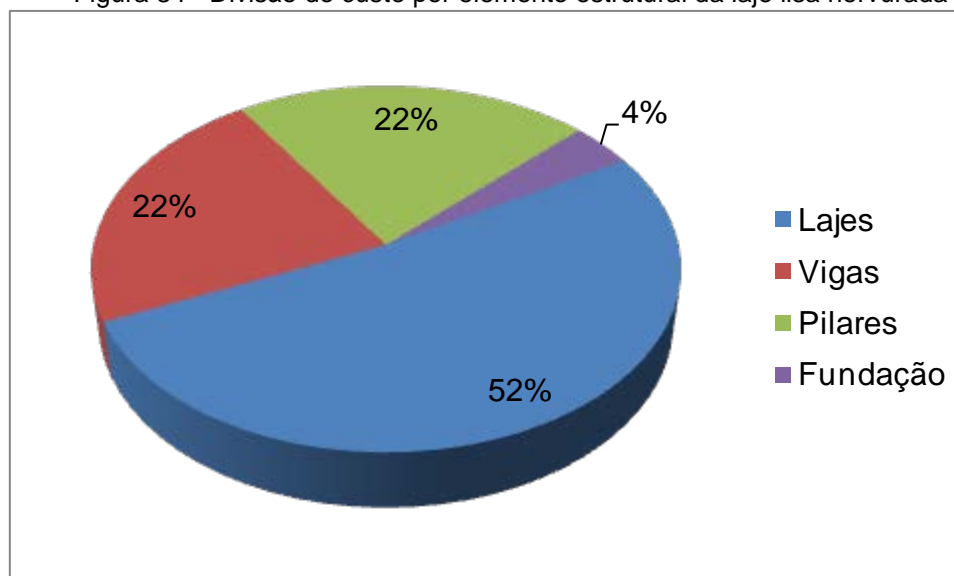
Tabela 21 - Custo por elemento estrutural na laje nervurada

Elemento	Valor	%
Lajes	R\$ 57.532,45	52%
Vigas	R\$ 24.916,80	22%
Pilares	R\$ 24.572,25	22%
Fundação	R\$ 4.319,82	4%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

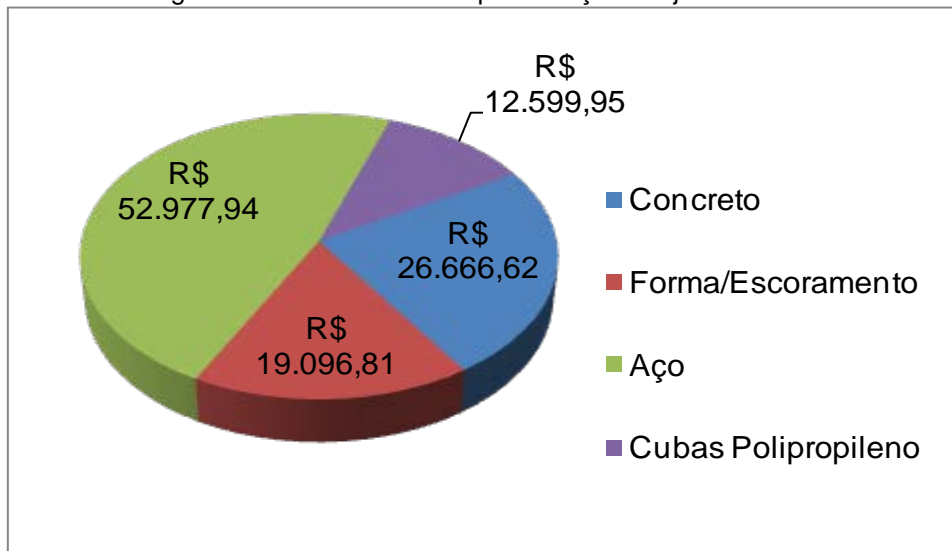
As Figuras 34 e 35 representam graficamente a distribuição do desembolso por elemento estrutural e por serviço, respectivamente.

Figura 34 - Divisão do custo por elemento estrutural da laje lisa nervurada



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Figura 35 - Rateio do custo por serviço da laje lisa nervurada



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

Dentre os três sistemas analisados, a concepção estrutural por lajes nervuradas foi a que apresentou o maior peso da laje propriamente dita em relação aos demais elementos estruturais, para esse sistema a laje chega a representar pouco mais da metade de todo o custo envolvido na estrutura. Relaciona-se esse resultado muito em função do preço de locação da forma plástica e ao alto consumo de concreto que se assemelha ao volume obtido na estrutura composta por laje maciça.

Nesse sistema, o percentual desembolsado relativo às vigas é menor quando se comparado aos outros métodos estruturais analisados, essa diferença é ocasionada pela eliminação das vigas internas, fazendo que para essa região a laje se apoie diretamente sobre os pilares.

Assim como nos outros sistemas, o aço também é o responsável pelo maior custo entre os serviços analisados, obtendo cerca de 48% de todo o custo da estrutura. Esse dado ratifica ainda mais a importância de se procurar arranjos estruturais que possam resultar num menor consumo de aço, visto sua alta onerosidade na construção.

6.4 COMPARATIVO FINAL DE CUSTOS

Na Tabela 22 é apresentada a comparação dos custos totais por cada sistema proposto, onde fica possível analisar os custos totais de cada

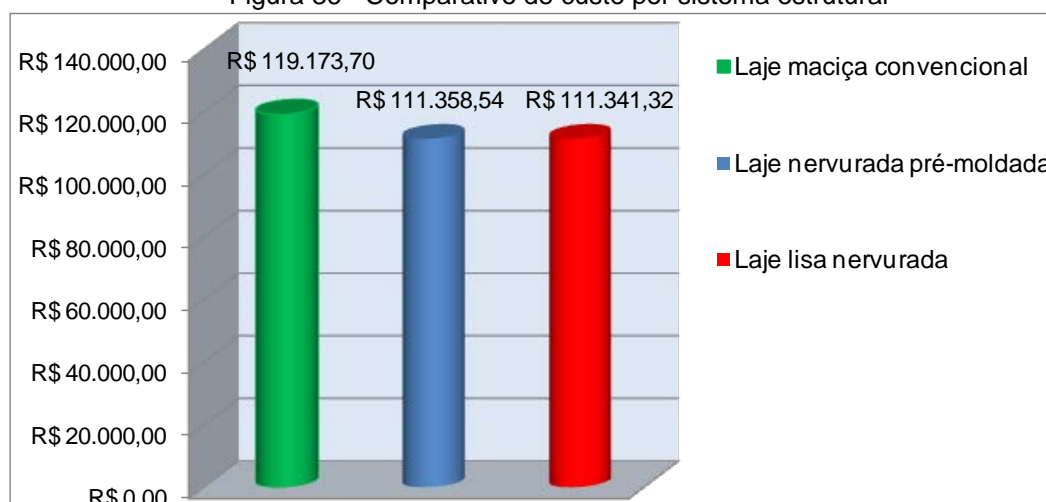
metodologia bem como a variação entre elas. O comparativo também pode ser visto através do gráfico presente na Figura 36.

Tabela 22 - Comparativo entre o custo total dos sistemas estruturais analisados

	Laje maciça convencional	Laje nervurada pré-moldada	Laje lisa nervurada
Custo total do sistema	R\$ 119.173,70	R\$ 111.358,54	R\$ 111.341,32
Diferença de custo em relação ao sistema I	-	-R\$ 7.815,16	-R\$ 7.832,38
Variação (%)	-	-6,56%	-6,57%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Figura 36 - Comparativo de custo por sistema estrutural



Fonte: gráfico elaborado pelo autor (2018)

É possível observar que em todos os sistemas simulados a laje é o elemento que possui o maior peso financeiro dentro da estrutura como um todo, os gráficos das Figuras 29, 31 e 33 demonstram isso. O sistema estrutural composto por lajes lisas nervuradas apresenta o maior custo da laje propriamente dita, chegando a um índice de 52% do custo total da estrutura. No sistema convencional por lajes maciças e no de lajes nervuradas pré-moldadas treliçada, a diferença entre elas não representa variação significativa, atingindo um percentual de, respectivamente, 42% e 39% do custo total da estrutura.

Verifica-se também que os custos dos pilares e fundações praticamente não apresentam oscilações significativas. No caso dos pilares o percentual entre os sistemas de laje maciça, laje pré-moldada treliçada e laje lisa nervurada atinge taxas de 21%, 23% e 22%, respectivamente. Já as fundações apresentou em todos os sistemas um mesmo valor percentual, representando 4% do valor total da estrutura.

No caso das vigas o sistema de lajes lisas nervuradas é o que apresenta um menor custo desse elemento em relação ao restante da estrutura, atingindo um valor de 22% do custo total. A laje maciça e a laje pré-moldada treliçada demonstram valores próximos em relação ao custo das vigas, obtendo percentual de 33% e 35% do custo total do sistema.

7 CONCLUSÃO

A escolha por um determinado método estrutural deve ser feita através de uma profunda análise, a definição final deverá passar por outros parâmetros que não se limite somente ao crivo do custo, existem outras características (disponibilidade de mão de obra e recursos, materiais e tempo de execução) que precisam ser analisadas a fim de atender melhor as particularidades do projeto em questão.

Para uma obtenção mais completa dos custos totais de uma obra, deve se ainda analisar as singularidades de cada sistema, existem certos arranjos arquitetônicos que favorece um tipo específico de metodologia estrutural, enquanto outra disposição arquitetônica pode favorecer um segundo método.

Conseqüentemente, se para cada possibilidade de projeto estrutural existem suas peculiaridades próprias, é notável que não seja apenas o fator financeiro como critério único para seleção do método. Portanto, a definição deve passar por uma cuidadosa avaliação, a fim de mitigar os riscos pertinentes a uma escolha equivocada.

Os objetivos traçados foram alcançados quando em um primeiro momento foi apresentado as principais características de cada sistema bem como suas vantagens e desvantagens e logo após quantificaram os serviços dos respectivos sistemas e precificou os mesmos com base nos estudos desenvolvidos.

Averiguando os custos totais dos sistemas expostos, constatou-se que a estrutura convencional de laje maciça foi a que apresentou o maior custo dentre os três modelos analisados, esse resultado deve-se muito a elevada área de formas e ao denso volume de escoramento que essa metodologia necessita.

As lajes pré-moldada treliçada e as lajes lisas nervuradas apresentaram resultados finais praticamente idênticos, no caso da pré-moldada treliçada houve uma oscilação negativa de 6,56% em relação ao custo da laje de maior valor (laje maciça), já a laje lisa nervurada essa oscilação foi de 6,57%. Esse resultado está diretamente relacionado à rapidez no processo construtivo, ao baixo consumo de formas de madeira e ao procedimento facilitado de

escoramento. Pode-se afirmar que, para esse estudo, as duas concepções estruturais demonstraram equiparidade nos números finais.

Segundo Albuquerque (1999) uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar um ganho de 2% no custo total da obra. Na prática, 2% do custo total de uma construção representam os serviços de pintura.

É conclusivo que embora os sistemas estruturais de laje pré-moldada treliçada e lajes lisas nervuradas apresentem o mesmo valor financeiro ao final, pode-se afirmar que é mais vantajoso à escolha do sistema composto por lajes pré-moldada treliçada, visto que a mão de obra é mais ampla e treinada na região e os materiais são de fácil disponibilidade.

Enfatiza-se novamente que a escolha por um determinado método estrutural passe antes pela análise de inúmeras variáveis, algumas delas não abordadas por esse estudo. Este trabalho não possui a pretensão de apresentar resultados compatíveis com todo e qualquer tipo de construção, porém serve como parâmetro para as obras com características semelhantes às descritas nessa pesquisa, auxiliando assim na escolha da concepção estrutural que melhor se adéqua ao perfil solicitado.

Por fim propõe-se a extensão desse estudo abrangendo temas como:

- a) simulação em edifícios modelos com outras características;
- b) verificar *in-loco* os resultados obtidos com proprietários em obras reais;
- c) inclusão de outras metodologias estruturais para comparação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 97 pag. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

ARCELOR MITTAL. **Manual técnico de lajes treliçadas**. Belo Horizonte, 2010.

ARAÚJO, Anderson da Rosa. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 150 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. Ed. Dunas – Rio Grande, 4ª ed, RS 2014.

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

_____. **NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6122 – Projeto e estruturas de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 12721 – Avaliação de Custos Unitários para Incorporação de Edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 14859 – 1: Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro. 2002.

_____. **NBR 14859 – 2: Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR-14860: Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos – Parte 1: lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

ATEX BRASIL. **Encarte técnico 2018**. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/>>. Acesso em: 26 setembro 2018.

AutoQi – Tecnologia BIM aplicado à engenharia. **Manual técnico Eberick 2014**. São Paulo, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e índices da Construção Civil – Tabela Agosto 2018/MG**. Brasília, 2018.

CARVALHO, Mailson Castelão de. **Análise Comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em**

em edifício de 10 pavimentos. 2012. Pág 79. Dissertação – Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana.

CARVALHO, Roberto Chust.; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado – Segundo NBR 6118:2003.** 3ª edição. São Carlos: EdUFSCar, 2004.

CUNHA, Mateus Ortigosa. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada.** 199p. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Carlos.

DANTAS, Maria Fernanda Costa; NASCIMENTO, Sérgio Carlos Salles. **Análise Comparativa entre Sistemas Estruturais Convencionais e Estruturas de Lajes Nervuradas em Edifícios.** Salvador. Universidade Católica do Salvador, 2009.

DE PAULA, Jeizon Eustáquio. **Projeto arquitetônico Residencial Cidade Nova.** João Monlevade, 2018.

ISOARES LTDA. **Encarte técnico.** Gravataí (RS), 2015.

LOPES, André Felipe de Oliveira. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento.** 2012. 131 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro acadêmico do agreste- CAA, Universidade Federal do Pernambuco, Caruaru.

McKAY, J.; MARSHALL, P. **The Dual Imperatives of Action Research.** Information Technology & People, v. 14, n. 1, p. 46-59, 2001.

MERLIN, Andrei José. **Análise probabilística do comportamento ao longo do tempo de elementos parcialmente pré-moldados com ênfase em flechas de lajes com armação treliçada.** 2006. 320 p. Dissertação (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

NAPPI, Sérgio Castelo Branco. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas.** 1993. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **Projeto e construção de lajes em concreto armado.** 2005. 239 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios.** 2010. Apostila. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, SP, 2010.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas–.** 2008. Tese de Doutorado. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria: UFSM, 2008. 108p.

Techne Pini. **Encarte técnico 2018.** Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/category/obras/>> Acesso em: 12 agosto 2018.

TCPO: **Tabelas de composições de preço para orçamentos.** 13.ed. – São Paulo: Pini, 2010.

VIZOTTO, Itamar; SARTORTI, Artur Lenz. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa.** In. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, Pág 19-28, 2010.

ANEXOS

Anexo A – Composições de Preço Unitário

Concreto Fck 25 MPa

Tabela 23 - Composição de custo do concreto estrutural Fck 25 MPa

CONCRETO estrutural dosado em central bombeável, fck 25 MPa, com brita 1, adição de fibra (0,6 kg/mJ), slump 10 ± 2 (mínimo de 320 kg de cimento/mJ), inclusive transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura – unidade: m ³					
Nº Composição: 03310.8.2.8 e 03310.8.13.1					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.40.1	Pedreiro	h	1,65	R\$ 14,00	R\$ 23,10
01250.0.45.1	Servente	h	4,5	R\$ 9,15	R\$ 41,18
03310.8.2.8	Concreto dosado em central brita 1, com fibra (0.6 kg/m ²) (abat.: 10 ± 2 cm / resistência: 25MPa)	m ³	1,05	R\$ 288,66	R\$ 303,09
22300.9.10.1	Vibrador de Imersão Elétrico	h prod	0,2	R\$ 1,73	R\$ 0,35
Custo Total->					R\$ 367,71

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Forma de madeira

Tabela 24 - Composição de custo da forma plana de madeira

FORMA com chapa compensada plastificada, e=12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm - 3 reaproveitamentos- unidade: m ²					
Nº Composição: 03110.8.2.					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,976	R\$ 14,00	R\$ 13,66
01270.0.1.11	Ajudante de Carpinteiro	h	0,244	R\$ 11,02	R\$ 2,69
03110.3.1.1	Chapa compensada plastificada e=12 mm	m ²	0,416	R\$ 20,66	R\$ 8,59
05060.3.20.11	Prego 17 x 21 com cabeça	kg	0,067	R\$ 8,64	R\$ 0,58
0506.2.3.2.4	Pontalete 3" x 3"	m	1,998	R\$ 3,07	R\$ 6,13
06062.3.4.5	Sarrafo 1" x 3"	m	2,747	R\$ 1,10	R\$ 3,02
06062.3.5.18	Tábua 1" x 8"	m	0,173	R\$ 3,79	R\$ 0,66
06062.3.5.20	Tábua 1" x 6"	m	0,167	R\$ 2,29	R\$ 0,38
03125.3.1.1	Desmoldante de formas para concreto	l	0,02	R\$ 5,28	R\$ 0,11
05060.3.20.18	Prego 17 x 27 com cabelo dupla	kg	0,1	R\$ 10,67	R\$ 1,07
05060.3.20.5	Prego 15 x 15 com cabeça	kg	0,05	R\$ 9,57	R\$ 0,48
Custo Total->					R\$ 37,37

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Armadura em aço CA-50

Tabela 25 - Composição de custo da armadura com aço CA-50

ARMADURA de aço para estruturas em gera, CA-50, diâmetro médio 10,0 mm, corte e dobra na obra - unidade: kg					
Nº Composição: 03210.8.1.5					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.25.1	Armador	h	0,1	R\$ 13,98	R\$ 1,40
01270.0.1.10	Ajudante de Armador	h	0,1	R\$ 9,76	R\$ 0,98
03150.3.3.6	Espaçador circular de plástico	unid	11,4	R\$ 0,13	R\$ 1,48
03210.3.2.2	Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,	kg	1,1	R\$ 4,76	R\$ 5,24
05060.3.3.1	Arame recozido 18BW	kg	0,02	R\$ 9,27	R\$ 0,19
Custo Total->					R\$ 9,28

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Armadura em aço CA-60

Tabela 26 - Composição de custo da armadura com aço CA-60

ARMADURA de aço para estruturas em gera, CA-60, diâmetro 5,0 mm, corte e dobra na obra - unidade: kg					
Nº Composição:					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.25.1	Armador	h	0,07	R\$ 13,98	R\$ 0,98
01270.0.1.10	Ajudante de Armador	h	0,07	R\$ 9,76	R\$ 0,68
03150.3.3.6	Espaçador circular de plástico	unid	29,2	R\$ 0,13	R\$ 3,80
03210.3.5.2	Barra aço CA-60 bitola: 5,00 mm	kg	1,1	R\$ 4,72	R\$ 5,19
05060.3.3.1	Arame recozido 18 BW	kg	0,02	R\$ 9,27	R\$ 0,19
Custo Total->					R\$ 10,84

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Laje pré-fabricada

Tabela 27 - Composição de custo da laje pré-fabricada

LAJE PRÉ-FABRICADA comum para piso ou cobertura, intereixo 49 cm (capeamento 4 cm) - Apenas fornecimento e instalação das vigotas - unidade: m ²					
Nº Composição: 03415.8.1. adap.					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,47	R\$ 14,00	R\$ 6,58
01250.0.45.1	Servente	h	2,1	R\$ 9,15	R\$ 19,22
03415.3.1.5	Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 120 mm / vão livre: 3.00 m / peso próprio: 215 kgf/m* / sobrecarga: 150 kgf/m ²) - Sem enchimento	m ²	1	R\$ 24,44	R\$ 24,44
Custo Total->					R\$ 50,24

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Forma plástica para lajes nervuradas

Tabela 28 - Composição de custo da forma plástica para lajes nervuradas

Cuba polipropileno - Montagem e desmontagem de forma para laje nervurada - unidade: m ²					
Nº Composição: 92490 adap.					
Cód. PINE/SINAPI	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,648	R\$ 14,00	R\$ 9,07
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,124	R\$ 11,02	R\$ 1,37
03125.3.1.1	Desmoldante de formas para concreto	l	0,008	R\$ 5,28	R\$ 0,04
40290	Locação de forma plástica para laje nervurada, dimensões 60 x 60 x 15 cm	unid./mês	2,8611	R\$ 7,92	R\$ 22,66
03110.8.2.	Forma com chapa compensada platificada e=12mm	m ²	0,183	R\$ 37,37	R\$ 6,84
Custo Total->					R\$ 39,98

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Escoramento de lajes maciças

Tabela 29 - Composição de custo do escoramento de lajes maciças

ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES CONVENCIONAIS de edificação, com pontaletes (7,5 cm x 7,5 cm) para pé-direito de 2,70 m a 3,00 m - unidade: m ²					
Nº Composição: 03140.8.3.3					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,32	R\$ 14,00	R\$ 4,48
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,08	R\$ 11,02	R\$ 0,88
05060.3.20.18	Prego 17 x 27 com cabeça dupla	kg	0,04	R\$ 10,67	R\$ 0,43
06062.3.2.4	Pontalete 3" x 3"	m	2,5	R\$ 3,07	R\$ 7,68
06062.3.4.5	Sarrafo 1" x 3"	m	0,36	R\$ 1,10	R\$ 0,40
06062.3.5.18	Tábua 1" x 8"	m	1,3	R\$ 3,79	R\$ 4,93
Custo Total->					R\$ 18,79

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Escoramento de lajes pré-moldadas

Tabela 30 - Composição de custo do escoramento de lajes pré-moldadas

ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES TRELIÇADA PRÉ-MOLDADA de edificação, com pontaletes (7,5 cm x 7,5 cm) para pé-direito de 2,70 m a 3,00 m - unidade: m ²					
Nº Composição: 03415.8.1. adap.					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,32	R\$ 14,00	R\$ 4,48
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,04	R\$ 11,02	R\$ 0,44
05060.3.20.6	Prego 18 x 27 com cabeça	kg	0,03	R\$ 8,50	R\$ 0,26
06062.3.2.1	Pontalete 3" x 3"	m	1,71	R\$ 3,07	R\$ 5,25
06062.3.4.3	Sarrafo 1" x 3"	m	0,97	R\$ 1,10	R\$ 1,07
06062.3.5.5	Tábua 1" x 12"	m	0,56	R\$ 6,22	R\$ 3,48
Custo Total->					R\$ 14,98

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Escoramento de lajes nervuradas

Tabela 31 - Composição de custo do escoramento de lajes lisas nervuradas

ESCORAMENTO METÁLICO PARA LAJES LISA NERVURADA de edificação, com escoras metálicas, para pé-direito de 2,70 m a 3,00 m - unidade: m ²					
Nº Composição: 92490 adap					
Cód. PINE/SINAPI	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,213	R\$ 14,00	R\$ 2,98
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,034	R\$ 11,02	R\$ 0,37
10749	Locação de escora metálica telescópica, com altura regulável de 1,80 a 3,20 m, com capacidade de carga de no mínimo 1000 KGF, incluso tripé e forçado	unid./mês	1,56	R\$ 5,49	R\$ 8,56
40270	Viga de escoramento H20, de madeira, peso de 5,00 a 5,20 Kg/m, com extremidades plásticas	m	0,03	R\$ 45,50	R\$ 1,37
Custo Total->					R\$ 13,29

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)

Bloco EPS

Tabela 32 - composição de custo do enchimento em EPS

FORMA tipo caixão perdido com poliestireno expandido - unidade: m ³					
Nº Composição: 03130.8.1.1					
Cód. PINE	Componente	Unid	Consumo	Custo Unitário	Custo Total
01250.0.45.1	Servente	h	1	R\$ 9,15	R\$ 9,15
03130.3.1.1	Poliestireno expandido Osopor) para caixão perdido	m ³	1	R\$ 197,10	R\$ 197,10
Custo Total->					R\$ 206,25

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2018)