

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL DALLA VECHIA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES MACIÇAS DE
CONCRETO ARMADO E LAJES DE VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS
TRELIÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ATÉ OITO PAVIMENTOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

GABRIEL DALLA VECHIA

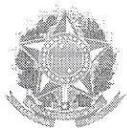
**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES MACIÇAS DE
CONCRETO ARMADO E LAJES DE VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS
TRELIÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ATÉ OITO PAVIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná para a obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Orientador Prof. Dr. Volmir Sabbi

PATO BRANCO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO E LAJES DE VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ATÉ OITO PAVIMENTOS

Gabriel Dalla Vechia

No dia 23 de novembro de 2017, às 16h30min, na SALA O 202 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº41-TCC/2017.

Orientador: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: ProF^a. Esp. ANA CLAUDIA DAL PRÁ VASATA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. PAÔLA REGINA DALCANAL (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que nos ilumina e abençoa a cada dia, nos guiando e dando forças para seguirmos nossos caminhos. A minha família, em especial a meus pais, e amigos, pois sem eles não seria possível alcançar este momento em minha vida. Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, por todo aprendizado, todas as boas experiências e pela importância na formação do caráter. Aos engenheiros que colaboraram no desenvolvimento deste estudo. Ao orientador Prof. Dr. Volmir Sabbi por todos os momentos dedicados a realização deste trabalho, sugestões e experiências a mim repassadas. À Prof^a. Dr^a. Elizangela Marcelo Siliprandi pela condução deste estudo. À Prof^a. Esp. Ana Claudia Dal Prá Vasata e Prof^a. Dr^a. Paôla Regina Dalcanal pela participação na banca avaliadora.

RESUMO

DALLA VECHIA, Gabriel. **Análise comparativa de custos entre lajes maciças de concreto armado e lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até oito pavimentos.** 2017. 68 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Este estudo traz informações sobre os sistemas construtivos de lajes maciças em concreto armado e lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas, com um comparativo de custos de execução de cada laje. Iniciando com uma breve história do concreto armado e do concreto pré-fabricado, a função que as lajes desempenham em uma estrutura, a definição de laje maciça, as normas que a regem, os materiais utilizados em sua execução, o modo de execução e as vantagens e desvantagens desse sistema. Do mesmo modo são apresentadas essas informações para as lajes pré-fabricadas treliçadas. Na sequência é explicado como se deu o desenvolvimento das composições de custos unitários e quantificação de serviços e insumos, baseando-se nas tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Em posse das composições, foram elaborados gráficos e tabelas comparativos entre os dois sistemas, quando foi possível constatar que as lajes maciças se mostraram mais econômicas que as lajes treliçadas nas duas situações de projeto propostas.

Palavras-chave: Custo de lajes. Comparativo de lajes. Concreto armado. Concreto pré-fabricado.

ABSTRACT

DALLA VECHIA, Gabriel. **Comparative cost analysis between reinforced solid concrete slab and pre-cast slab with trussed joists on buildings up to eight floors.** 2017. 68 pages. Completion of Coursework to Bachelor's Degree in Civil Engineering – Federal Technology University of Paraná. Pato Branco, 2017.

This study bring informations about the constructive systems of reinforced solid concrete slab and pre-cast slab with trussed joists, with a comparative of execution costs of each slab. Starting with a brief history of reinforced concrete and pre-cast concrete, the paper that slabs play in a structure, the definition of reinforced concrete slab, it's current national technical standards, construction process and advantages and disadvantages. In the same way, this informations are presented for pre-cast slab with trussed joists. In sequence is explained how the costs compositions, quantification of services and inputs were developed, based on the National System of Cost and Indices of Civil Construction (SINAPI). In possession of this compositions, were elaborated comparative graphics and tables of the two systems, when it was possible to verify that the reinforced concrete slab are more economical than the pre-cast slab with trussed joists in both proposed project situations.

Keywords: Cost of slabs. Comparative of slabs. Reinforced concret. Pre-cast concret.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de modelo estrutural com laje maciça.....	17
Figura 2: Laje formada por vigotas pré-fabricadas.....	23
Figura 3: Tipos de vigotas pré-fabricadas.....	25
Figura 4: Seção e perspectiva do aço da vigota pré-fabricada treliçada.....	27
Figura 5: Dimensões usuais das vigotas pré-fabricadas treliçadas.....	27
Figura 6: Grelha equivalente de um pavimento em concreto armado.....	34
Figura 7: Corte longitudinal da edificação.....	35
Figura 8: Corte transversal da edificação.....	35
Figura 9: Planta de formas do piso do primeiro pavimento.....	36
Figura 10: Planta de formas dos pavimentos segundo, terceiro e cobertura ...	37
Figura 11: Diagrama da metodologia.....	39
Figura 12: Gráfico - Custo unitário da laje maciça em quatro pavimentos.....	48
Figura 13: Gráfico - Custo unitário da laje maciça em oito pavimentos.....	50
Figura 14: Gráfico - Custo unitário da laje treliçada em quatro pavimentos.....	53
Figura 15: Gráfico - Comparativo de custo - R\$/m ² - em quatro pavimentos ...	54
Figura 16: Gráfico - Comparativo de custo - R\$/m ² - em oito pavimentos.....	55
Figura 17: Gráfico - Tempo de execução em quatro pavimentos.....	56
Figura 18: Gráfico - Tempo de execução em oito pavimentos.....	56
Figura 19: Gráfico - Peso total em quatro pavimentos.....	57
Figura 20: Gráfico - Peso total em oito pavimentos.....	57
Figura 21: Gráfico - Preferência de sistema de laje.....	61
Figura 22: Gráfico - Motivos de escolha dos sistemas de laje.....	61
Figura 23: Gráfico - Motivos de escolha pela laje maciça.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alturas padronizadas das lajes pré-fabricadas.....	28
Tabela 2: Designação das alturas padronizadas.....	28
Tabela 3: Intereixos mínimos padronizados.....	29
Tabela 4: Composição das formas em quatro pavimentos	43
Tabela 5: Composição do concreto.....	44
Tabela 6: Composição do aço CA-50 6,3 mm.....	45
Tabela 7: Composição do aço CA-50 8,0 mm.....	46
Tabela 8: Composição do aço CA-60 5,0 mm.....	47
Tabela 9: Custo total da laje maciça em quatro pavimentos	48
Tabela 10: Composição das formas em oito pavimentos.....	49
Tabela 11: Custo total da laje maciça em oito pavimentos	50
Tabela 12: Composição de aço e formas da laje treliçada.....	51
Tabela 13: Composição do concreto da laje treliçada.....	52
Tabela 14: Custo total da laje treliçada em quatro pavimentos.....	53
Tabela 15: Custo total da laje treliçada em oito pavimentos	53
Tabela 16: Tempo de execução em quatro pavimentos.....	55
Tabela 17: Tempo de execução em oito pavimentos	56
Tabela 18: Transporte vertical de vigotas	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	14
2.1	CONCRETO ARMADO	14
2.2	PRÉ-FABRICADO.....	15
2.2.1	Definições normativas	15
2.2.2	Histórico do pré-fabricado	16
2.3	LAJES	16
2.4	LAJE MACIÇA DE CONCRETO ARMADO.....	17
2.4.1	Prescrições normativas	18
2.4.2	Processo construtivo	18
2.4.2.1	Montagem de formas de vigas e lajes	18
2.4.2.2	Colocação das armaduras nas formas de vigas e lajes.....	19
2.4.2.3	Concretagem das vigas e lajes	20
2.4.2.4	Adensamento e acabamento do concreto.....	20
2.4.2.5	Cura do concreto	21
2.4.2.6	Retirada das formas e do escoramento	21
2.4.3	Vantagens	22
2.4.4	Desvantagens	22
2.5	LAJES PRÉ-MOLDADAS.....	23
2.6	LAJES DE VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS.....	26
2.6.1	Prescrições normativas	28
2.6.2	Processo executivo	29
2.6.2.1	Escoramento.....	29
2.6.2.2	Colocação das vigotas.....	30
2.6.2.3	Colocação dos elementos de enchimento	30
2.6.2.4	Colocação das armaduras de distribuição e negativas.....	30
2.6.2.5	Limpeza	31
2.6.2.6	Concretagem	31
2.6.2.7	Retirada do escoramento.....	31
2.6.3	Vantagens	32
2.6.4	Desvantagens	33

2.7	ANALOGIA DE GRELHA	33
2.8	ESTUDO DO PROJETO	34
3	METODOLOGIA	38
3.1	Descrição dos elementos estruturais, cargas atuantes e materiais utilizados	39
3.2	Dimensionamento das lajes maciças de concreto armado e lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas.....	40
3.3	Composições e custos de insumos.....	40
3.4	Software	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	Laje maciça em quatro pavimentos.....	42
4.2	Laje maciça em oito pavimentos	48
4.3	Laje treliçada em quatro pavimentos.....	50
4.4	Laje treliçada em oito pavimentos	53
4.5	Comparativos	54
4.6	Transporte vertical.....	58
4.7	Pesquisa de opinião.....	59
5	Considerações finais	63
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil teve sua evolução marcada por fases distintas, cada qual com suas particularidades arquitetônicas, tecnológicas e suas metodologias. Hoje, nota-se um avanço na organização de alguns setores, onde encontram-se processos modernos de construção, com destaque para os pré-fabricados de concreto armado (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005). Porém, El Debs (2000) menciona que quando comparada a outros setores, como o aeronáutico e o automobilístico, a construção civil é considerada atrasada, devido principalmente a baixa produtividade, desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade.

Magalhães (2001) cita que nosso país apresenta um grande *déficit* habitacional, onde a maior parcela da população possui um baixo poder aquisitivo. Por isso é de interesse dos projetistas e construtores encontrar meios para diminuir o custo das edificações, por meio de sistemas estruturais de simples execução e de comportamento adequado ao esperado.

Nesse contexto de economia e racionalização, surgem as lajes pré-fabricadas, apresentando ao usuário um baixo custo de produção, segurança e simples execução (MEDRANO; FIGUEIREDO FILHO; CARVALHO, 2005). Elas foram desenvolvidas com o intuito de reduzir o consumo de concreto, o consumo de madeira para o uso nas formas e a utilização de mão-de-obra, somando praticidade ao sistema construtivo como um todo (GASPAR, 1997).

Flório (2004) afirma que a utilização das lajes pré-fabricadas nas construções tem ganhado destaque nos últimos anos. Diferente do princípio, quando era tida como solução apenas para obras de pequeno e médio porte, hoje se tornou viável para edificações de diversos pavimentos, de grandes vãos e até mesmo em pontes. Fato esse que ocorreu por meio da entrada no mercado de grandes siderúrgicas, que fabricam as treliças necessárias para esse sistema estrutural.

No caso de edifícios com vários pavimentos, a parcela do consumo total de concreto gerada pelas lajes é significativa, e quando estas são do tipo maciça, podem, usualmente, representar até dois terços do volume total da estrutura (DIAS, 2003).

Conforme Albuquerque (1999) a escolha do sistema estrutural de uma edificação é baseada nas limitações do projeto arquitetônico, nas rotinas construtivas e infraestrutura da região na qual a obra será executada. Ainda assim, é função do engenheiro estrutural ter o senso de escolha considerando a melhor opção de projeto pelo menor custo deste.

O aperfeiçoamento da construção civil passa pelo acréscimo de qualidade nos projetos, com destaque para o projeto estrutural. A estrutura responde pela maior importância no custo total das obras, com porcentagens variando de 15% a 20% do valor final. Logo, torna-se válido um estudo prévio dos sistemas estruturais a serem empregados, já que uma economia de 10% no valor da estrutura, pode representar um decréscimo de 2% no valor final da edificação (COSTA apud ALBUQUERQUE 1999).

Sendo assim, surgiu a ideia que levou a elaboração deste estudo: Teriam as lajes pré-fabricadas treliçadas de concreto armado, vantagens econômicas sobre as lajes maciças de concreto armado conforme aumenta-se o número de pavimentos de um edifício? O direcionamento deste estudo ocorreu sobre hipótese de uma resposta positiva para a pergunta acima.

Este trabalho tem como objetivo geral realizar um comparativo de custos na execução de lajes maciças de concreto armado e pré-fabricadas treliçadas em diferentes números de pavimentos, e ainda, propõe os seguintes objetivos específicos:

- revisão bibliográfica sobre concreto armado e pré-fabricado e suas aplicações em lajes maciças e pré-fabricadas;
- revisão bibliográfica sobre a execução de lajes maciças e pré-fabricadas treliçadas, bem como as normas que as regem, citando as vantagens e desvantagens de cada sistema estrutural;
- simulação e dimensionamento das edificações no *software Eberick*;
- comparação de custos, por meio de gráficos e tabelas, de materiais e mão-de-obra, utilizados na execução dos dois tipos de sistemas, com variação de número de pavimentos;
- pesquisa de opinião com engenheiros civis sobre suas preferências entre os sistemas de laje e os motivos que os levam a tal escolha.

A importância deste estudo se deve ao fato de que muitos engenheiros (projetistas e executores) não possuem um conhecimento claro quando se trata da opção entre os sistemas estruturais de lajes maciças ou pré-fabricadas. Diante dessa dúvida, fazem suas escolhas com base em sua experiência ou familiaridade com um ou outro método, ou ainda conforme a disponibilidade do processo produtivo na região. Assim, este trabalho elabora uma análise comparativa de custos que busca trazer mais elementos de comparação objetiva entre os dois tipos de lajes citados.

Este trabalho busca contribuir para a redução das lacunas de conhecimento devido à falta de estudos na comparação de custos de execução de lajes maciças moldadas *in loco* e lajes pré-fabricadas de vigotas treliçadas variando o número de pavimentos da edificação. Buscou-se fazer esta análise a partir da definição de um edifício, cujo projeto foi cedido pelo engenheiro projetista ao autor deste trabalho, e a simulação do mesmo em quatro e oito pavimentos, fazendo uso do *software*.

Quanto à viabilidade do estudo, foi possível realizá-lo por meio de pesquisa bibliográfica feita através da *internet*, em estudos científicos, tabelas de custos orçamentários, e por meio do acervo disponível na biblioteca do câmpus. Foi necessária, também, a realização de pesquisa de campo apenas para definição de alguns materiais e elaboração da pesquisa de opinião. O uso do *software* estrutural possibilitou a simulação das edificações a serem descritas ao longo desta pesquisa.

Essa análise comparativa possibilitará aos projetistas e executores dados referentes às diferenças de custos de cada sistema estrutural estudado, contribuindo assim para a evolução do setor da construção civil, proporcionando obras de valor final mais econômico em relação aos itens estudados.

Desta forma, o presente trabalho encontra-se dividido em sete partes principais, de modo a inicialmente deixar familiarizado o leitor com os conceitos abordados e os dois sistemas estruturais em questão. São elas: (i) revisão bibliográfica sobre o histórico e o uso do concreto armado e pré-fabricado; (ii) revisão bibliográfica sobre o uso das lajes maciças de concreto armado; (iii) revisão bibliográfica sobre o uso das lajes pré-fabricadas; (iv) simulação dos edifícios dentro do *software* estrutural; (v) levantamento dos resultados obtidos; (vi) pesquisa de opinião e (vii) considerações finais.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 CONCRETO ARMADO

Inventado na Europa em meados do século XIX, o concreto armado é um processo construtivo que consiste basicamente na combinação do concreto (uma mistura de agregados miúdos e graúdos, água e cimento com ou sem adições) com uma armadura de aço. Este arranjo, e a capacidade moldável do concreto, permitiram que fossem construídas edificações de grandes alturas e capazes de vencer amplos vãos (SANTOS, 2006).

Pinheiro (2007) aponta o concreto como o material estrutural utilizado em maior escala em todo o mundo, tendo um consumo anual de cerca de uma tonelada por habitante, e deixando de superar apenas a água como material mais utilizado pelo homem.

A baixa resistência à tração do concreto, que corresponde apenas a cerca de 10% de sua resistência à compressão, tornou imprescindível sua combinação com um material que apresentasse alta resistência à tração, com o objetivo de suportar as tensões de tração atuantes nas peças estruturais. Porém, essa combinação de concreto e aço, antes de ser classificada como concreto armado, deve possuir boa aderência entre seus materiais, para que possam trabalhar em conjunto quando solicitados. Este trabalho conjunto é possível devido ao fato de ambos, concreto e aço, possuírem coeficientes de dilatação térmica semelhantes. Além da função de resistir à compressão, o concreto ainda protege as barras de aço da corrosão, assim conferindo durabilidade ao conjunto. Essa proteção é garantida a partir de uma espessura, chamada de cobrimento, de concreto entre a superfície da barra de aço e a superfície externa da peça (BASTOS, 2006a).

A NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento (ABNT, 2014) define, no item 3.1.3, os elementos de concreto armado como: “[...]aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Bastos (2006b) cita como os três elementos estruturais mais comuns e mais importantes nas construções de concreto armado: as vigas, os pilares e as lajes.

2.2 PRÉ-FABRICADO

2.2.1 Definições normativas

A NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ABNT, 2001) faz duas definições importantes para o entendimento inicial deste estudo, nos itens 3.5 e 3.6 respectivamente. Primeiramente, define um elemento pré-moldado como “[...]elemento que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade”, e um elemento pré-fabricado como “[...]elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade”.

Tendo os termos definidos, a NBR 9062 (ABNT, 2001) regra que para um elemento receber a classificação de pré-fabricado, deve ter passado por um controle de qualidade em usinas ou instalações adequadas que disponham de pessoal e laboratórios apropriados para esta fiscalização, devem ser identificados individualmente e quando possível por lotes de produção. E ainda que deverão ser inspecionadas, na etapa de produção, a confecção das armaduras, as formas, o amassamento e lançamento do concreto, o armazenamento, o transporte e a montagem das peças. Cada processo de produção deverá ser identificado por meio de documento, no qual constará a identificação da peça, a data de sua fabricação, o tipo de aço e concreto utilizados e as assinaturas dos responsáveis por cada etapa de produção.

Já os elementos pré-moldados, são tratados pela NBR 9062 (ABNT, 2001), como elementos produzidos em condições menos rigorosas de controle de qualidade, e a sua inspeção não é rígida como os pré-fabricados. É dispensada a existência de laboratórios, e a fiscalização pode ser individual ou por lotes, através de inspetores do construtor, do próprio proprietário ou de organizações especializadas.

2.2.2 Histórico do pré-fabricado

A invenção do pré-fabricado foi acompanhada pelo nascimento do concreto armado, com elementos fabricados fora do seu local de uso, e assim, não é possível apontar com exatidão a data de início do concreto pré-fabricado, conforme aponta Vasconcelos (2002). O autor ainda cita que as estruturas realizadas com concretagem local ocorreram após a utilização dos pré-fabricados.

Porém, é possível notar a primeira grande manifestação de uso dos pré-fabricados no período pós Segunda Guerra Mundial, quando a necessidade de construção em grande escala exigiu uma intensiva utilização dos pré-fabricados de concreto (ORDONÉZ apud SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

A primeira grande obra no Brasil, que fez o uso do pré-fabricado, foi o hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, executada pela construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen, no ano de 1926. Utilizando elementos pré-fabricados em diversos momentos, são as estacas de fundação e as cercas no perímetro do hipódromo que recebem maior destaque (VASCONCELOS, 2002).

Vasconcelos (2002) ainda menciona que, no Brasil, outras obras de grande importância, utilizando o pré-fabricado, só surgiram na década de 1950, com a execução de vários galpões pela construtora Mauá, na cidade de São Paulo.

2.3 LAJES

Lajes são elementos estruturais que podem exercer dupla função em uma estrutura: de placa e de chapa. Possuem o comportamento de placa quando recebem as ações verticais e as transmitem para os apoios, e comportam-se como chapas quando atuam como diafragmas horizontais rígidos, realizando a distribuição das ações horizontais entre os vários pilares da estrutura. Este comportamento de chapa é de extrema importância, principalmente em obras altas, pois conferem estabilidade à edificação. É por meio das lajes que os pilares se apoiam nos seus elementos de contraventamento, conferindo segurança para a estrutura com relação às ações laterais (PINHERO; RAZENTE, 2003).

Araújo (2008) menciona que as cargas atuantes nas lajes são originadas por: peso próprio da laje, revestimento, paredes sobre a laje, eventuais enchimentos e cargas acidentais (estabelecidas em função de sua utilização).

2.4 LAJE MACIÇA DE CONCRETO ARMADO

As lajes maciças são placas que possuem espessura uniforme, apoiadas em seu contorno. Recebem as cargas aplicadas nos pisos das edificações e as transmitem a seus apoios, que são, geralmente, as vigas. Estas descarregam os esforços nos pilares, os quais os transmitem para a fundação (SPOHR, 2008). Um modelo simplificado desse sistema pode ser observado na figura 1 abaixo.

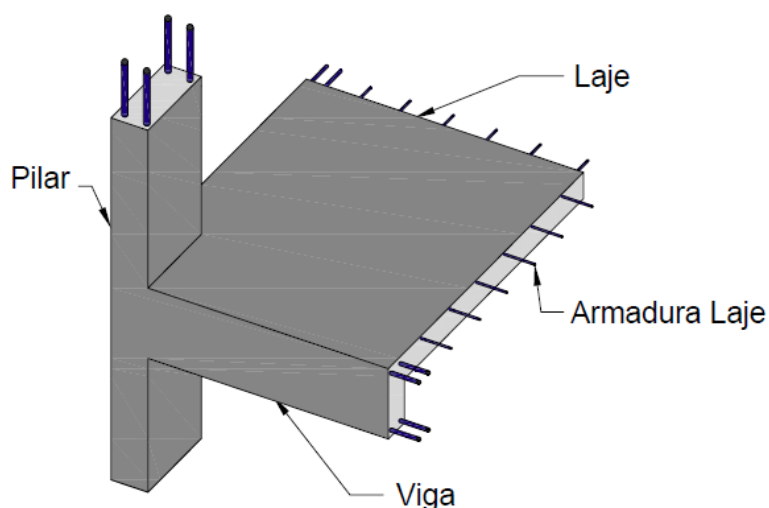


Figura 1: Representação de modelo estrutural com laje maciça
Fonte: Spohr, 2008, p.30.

Spohr (2008) ainda faz menção ao fato de que, pelo seu peso próprio, as lajes maciças não são adequadas para vencer grandes vãos, possuindo um vão médio econômico variando entre 3,5 m e 5 m.

Araújo (2008) cita a laje maciça como um sistema moldado *in loco*, executado sobre formas que possibilitam a determinação da sua geometria. Até adquirir a resistência requerida, é sustentado por cimbramentos. Por possuir pequena capacidade portante, necessita de grande quantidade de vigas, contribuindo significativamente na quantidade de concreto utilizado.

Sua grande utilização fez das lajes maciças um dos sistemas estruturais mais executados até hoje, gerando mão-de-obra bastante qualificada (ARAÚJO, 2008).

2.4.1 Prescrições normativas

Segundo a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento (ABNT, 2014) devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura das lajes maciças:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

2.4.2 Processo construtivo

A NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto – procedimento (ABNT, 2004) propõe a seguinte sequência executiva para as lajes maciças:

- a) montagem de formas de vigas e lajes;
- b) colocação das armaduras nas formas de vigas e lajes;
- c) concretagem das vigas e lajes;
- d) adensamento e acabamento do concreto;
- e) cura do concreto;
- f) retirada das formas e do escoramento.

2.4.2.1 Montagem de formas de vigas e lajes

A NBR 14931 (ABNT, 2004) define no item 7.1 o sistema de formas compreendendo as formas, o escoramento, o cimbramento, e os andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os elementos.

Usualmente as formas das lajes são constituídas por chapas de madeira compensada plastificadas ou de aço no assoalho unido ao cimbramento através

das escoras, longarinas e travessas, com o objetivo de prover sustentação e forma até que o concreto atinja resistência suficiente para portar-se (BRANDALISE; WESSLING, 2015).

As formas e escoramentos das lajes devem respeitar as prescrições da NBR 7190 (ABNT, 1997) quando estruturas de madeira, e da NBR 8800 (ABNT, 2008) quando estruturas de aço.

Segundo o item 7.2.2.2 da NBR 14931 (ABNT, 2004) o escoramento não deve sofrer deformações que prejudiquem o formato da estrutura ou causem esforços não previstos no concreto, pela ação de seu peso próprio, peso da estrutura e de cargas acidentais que possam ocorrer durante a execução da estrutura. Deve ser apoiado sobre cunhas, caixas de areia ou dispositivo de função semelhante, de modo a facilitar a remoção das formas futuramente.

No item 7.2.2.3 a NBR 14931 (ABNT, 2004) regra que as formas devem ser estanques ao ponto de evitar a perda da pasta de cimento; e ainda, que os elementos estruturantes das formas devem manter o formato e a posição das formas durante todo o seu período de utilização, havendo monitoramento e correção de deslocamentos não previstos nas formas de grandes vãos.

2.4.2.2 Colocação das armaduras nas formas de vigas e lajes

O item 8.1.5.5 da NBR 14931 (ABNT, 2004) regulamenta que as armaduras devem ser posicionadas sobre as formas das lajes e no interior das formas das vigas seguindo as especificações de projeto, de forma que no momento do lançamento do concreto se mantenham inalterados os espaçamentos das armaduras entre si e as faces internas das formas. Este mesmo item cita que o cobrimento especificado em projeto deve ser garantido por meio de espaçadores ou dispositivos adequados. Os espaçadores podem ser de concreto ou argamassa (com relação água/cimento não ultrapassando 0,5), plásticos ou metálicos desde que a parte em contato com a forma seja revestida de material plástico.

2.4.2.3 Concretagem das vigas e lajes

Usualmente o concreto utilizado na concretagem de vigas e lajes é de origem industrial, e o item 9.1.2.1 da NBR 14931 (ABNT, 2004) menciona que este concreto deve obedecer às especificações de projeto, com atenção para a resistência característica, o módulo de elasticidade e a durabilidade.

Anteriormente à concretagem, o item 9.2 da NBR 14931 (ABNT, 2004) define alguns cuidados preliminares:

- inspecionar as dimensões e posições das formas – de modo a assegurar a geometria das peças e da estrutura como um todo;
- realizar a limpeza da superfície das formas;
- verificar a condição de estanqueidade das juntas – de modo a evitar a perda de pasta;
- molhar formas, até a saturação, construídas de materiais que absorvam umidade ou facilitem a evaporação – de modo a minimizar a perda de água do concreto;
- conferir a posição e condição estrutural do escoramento, assegurando que a posição e as dimensões das formas sejam mantidas durante a concretagem, e que permita, com segurança, o tráfego de pessoal e equipamentos;
- verificação da montagem, posicionamento e cobrimento das armaduras.

2.4.2.4 Adensamento e acabamento do concreto

Conforme o item 9.6 da NBR 14931 (ABNT, 2004) o adensamento do concreto deve permitir que ele preencha todos os recantos das formas, sendo vibrado ou apiloado durante e imediatamente após seu lançamento. Este adensamento pode ser feito por meio de vibradores de imersão ou ainda, manualmente caso a altura da camada de concreto não ultrapasse os 20 cm. É importante que se evite a vibração da armadura pois isto pode levar ao aparecimento de vazios ao seu redor, comprometendo sua aderência.

O acabamento é tratado no item 9.8 da NBR 14931 (ABNT, 2004), o qual destaca que para obtenção de uma superfície durável e uniforme de concreto, é necessário que seu traço e consistência atendam aos requisitos de projeto e

condições de trabalhabilidade, de maneira que se obtenha um material homogêneo e compacto, sem a presença de vazios, evitando a vibração repetitiva ou muito demorada, fato este que pode levar a exsudação do concreto, processo que resulta na segregação do material e a migração do material fino e da água para a superfície do concreto, comprometendo a qualidade.

2.4.2.5 Cura do concreto

O item 10.1 da NBR 14931 (ABNT, 2004) recomenda que o concreto seja curado e protegido contra agentes prejudiciais a fim de evitar a perda de água pela superfície e garantir uma superfície resistente com uma capa superficial durável. Estes agentes prejudiciais podem ser de origem climática, como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuvas fortes, etc.; ou ainda de origem química e de processos executivos mal realizados como vibrações excessivas. Os elementos estruturais devem ser curados até que atinjam resistência característica a compressão igual ou maior que 15 MPa, conforme a NBR 12655 – Concreto de cimento Portland (ABNT, 2015).

2.4.2.6 Retirada das formas e do escoramento

Para uma remoção segura de formas e escoramento o item 10.2.2 da NBR 14931 (ABNT, 2004) propõe que ela não ocorra até o momento em que o concreto tenha resistência suficiente para suportar as cargas a serem impostas, evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas e resistir a danos superficiais durante a remoção, devido ao baixo valor do módulo de elasticidade do concreto, bem como a maior probabilidade de deformações quando solicitado com pouca idade. É de responsabilidade do projetista estrutural informar ao executor da obra o momento da retirada dos escoramentos e formas, por meio dos valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto.

A remoção das formas e do escoramento deve ser realizada de maneira a evitar choques e obedecendo o plano de desforma elaborado para a estrutura, conforme cita o item 10.2.3 da NBR 14931 (ABNT, 2004).

2.4.3 Vantagens

Uma das características das lajes maciças é a distribuição das reações nas vigas que as contornam, resultando em um melhor aproveitamento das vigas do pavimento, pois elas podem ser solicitadas de forma semelhante, dependendo apenas dos vãos (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007).

A seguir apresenta-se uma lista das vantagens deste sistema:

- formação de pórticos que garantem boa rigidez à estrutura de contraventamento (ALBUQUERQUE, 1999);
- oferecem funções de placa e chapa (LOPES, 2012);
- facilidade no lançamento e adensamento do concreto (FARIA, 2010);
- facilidade de instalação das tubulações elétricas e outros tipos de tubulações, antes da concretagem (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007);
- mão-de-obra bastante treinada, por ser durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto (ALBUQUERQUE, 1999).

2.4.4 Desvantagens

Como desvantagens das lajes maciças de concreto armado, podemos citar:

- apresenta grande quantidade de vigas, deixando a forma do pavimento muito recortada, assim, diminuindo a produtividade da obra (ALBUQUERQUE, 1999);
- recortes diminuem a possibilidade de reaproveitamento das formas (ALBUQUERQUE, 1999);
- alto consumo de madeira e formas para o escoramento (FARIA, 2010);
- tempo elevado para a execução das formas e o processo de desforma (FARIA, 2010);
- uso de concreto em locais onde não é solicitado (FARIA, 2010);
- elevado peso próprio resultando em reações mais significativas nos apoios (LOPES, 2012);
- limitação quanto à sua aplicação em grandes vãos (LOPES, 2012).

2.5 LAJES PRÉ-MOLDADAS

Flório (2004) define as lajes com vigotas pré-fabricadas como um sistema formado por nervuras, no qual as vigotas são pré-moldadas em concreto armado, podendo ser do tipo trilho ou treliça, espaçadas de maneira uniforme por meio de material leve, cobertas por uma capa de concreto, moldada *in loco*, com a função de distribuir os esforços atuantes, aumentar a resistência à flexão e nivelar o piso. A figura 2 traz uma representação do sistema de lajes pré-fabricadas.

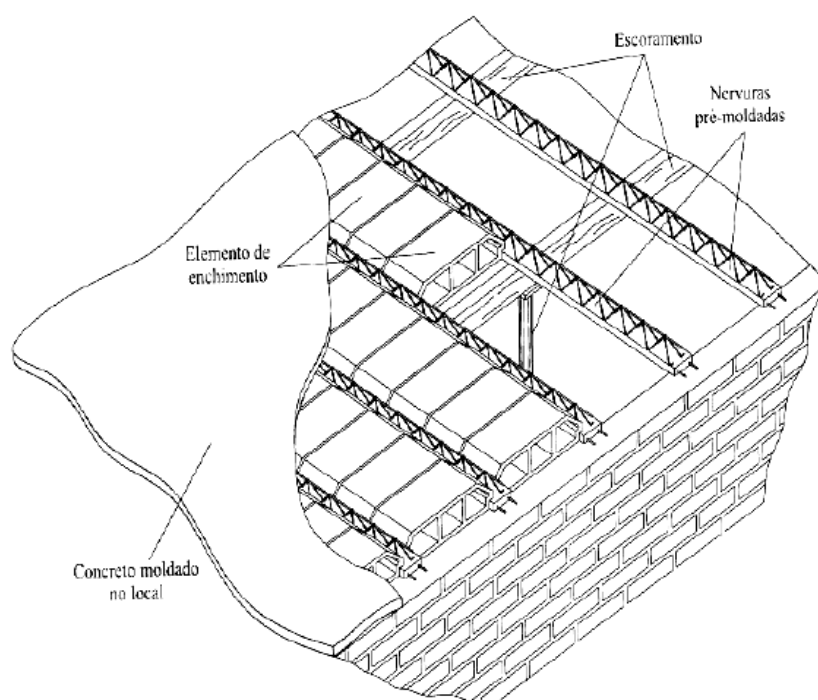


Figura 2: Laje formada por vigotas pré-fabricadas
Fonte: El Debs, 2000, p. 378.

Os elementos de material leve têm como função substituir parte do concreto na região tracionada e servir de sustentação ao concreto fresco que é aplicado na execução da capa (GASPAR, 1997). São materiais inertes, maciços ou vazados, e apesar de serem desconsiderados como elementos resistentes, é importante que sejam de boa qualidade, atendendo os requisitos da NBR 14859 - Laje pré-fabricada - requisitos parte 1 - lajes unidirecionais (ABNT, 2002a), quanto ao desempenho, propriedade e utilização (SILVA, 2012).

Gaspar (1997) cita que os elementos leves de enchimento são geralmente constituídos de blocos cerâmicos vazados, blocos de concreto leve ou blocos de EPS (poliestireno expandido), e devem apresentar as seguintes características:

- resistência mínima à carga de trabalho durante a montagem da laje;
- resistência mínima ao lançamento do concreto fresco;
- boa aderência às argamassas de revestimento;
- boa isolamento termo-acústica.

Os blocos cerâmicos são bastante difundidos, e além de seu baixo custo, propiciam boa aderência ao revestimento. Os blocos de concreto, apesar de mais pesados, ainda contribuem para o alívio de peso próprio das lajes, e por apresentarem maior resistência mecânica, são indicados para resistir a condições severas de lançamento de concreto fresco. Os blocos de EPS, possuem ótimas características isolantes termo-acústicas, além de boa resistência à compressão, baixa absorção de água, possibilidade de reaproveitamento de sobras, redução de perdas de concreto pela boa junção das peças e facilidade de corte e manuseio (GASPAR, 1997).

A NBR 14859 (ANBT, 2002a) define, no item 3.1.1, página 2, vigotas pré-fabricadas como

“[...]constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal. [...]”

Conforme cita Magalhães (2001), são usuais os seguintes tipos de vigotas pré-fabricadas:

- vigotas de concreto armado não protendido (VC), com seção transversal em forma de T invertido, com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto;
- vigotas de concreto protendido (VP), com seção transversal em forma de T invertido, com armadura de proteção pré-tracionada totalmente envolvida pelo concreto;
- vigotas com armação treliçada (VT), compostas por uma armação treliçada de aço e por uma base de concreto que envolve as barras inferiores da treliça.

A figura 3 representa a seção dos três diferentes tipos de vigotas citados, já inseridos na laje propriamente.

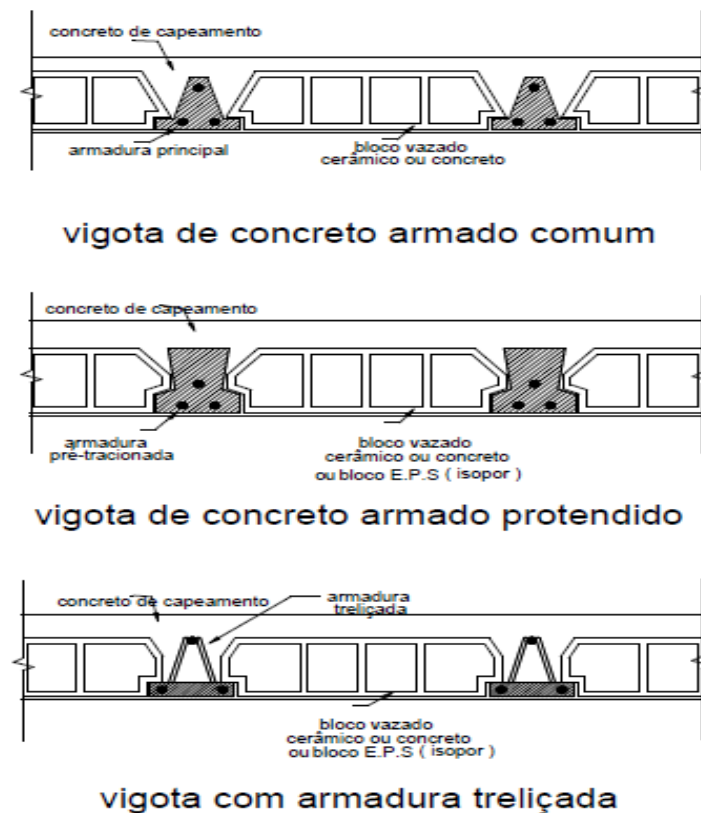


Figura 3: Tipos de vigotas pré-fabricadas
Fonte: Droppa Jr., 1999, p. 11.

Existem duas maneiras de se dispor as vigotas na laje. A primeira é dispor em apenas uma direção, no sentido do menor vão da laje; a essa configuração é dado o nome de laje unidirecional. A segunda maneira, conhecida como laje bidirecional, dispõe de vigotas com armação treliçada na direção do menor vão e nervuras transversais, moldadas no local, na outra direção (MAGALHÃES, 2001). Neste estudo serão utilizadas apenas as lajes pré-fabricadas unidirecionais.

Este sistema de lajes pré-fabricadas conserva a vantagem principal dos pré-fabricados: redução da quantidade de formas e escoramentos quando comparados aos sistemas estruturais comuns (DROPPA JR, 1999).

Medrano, Figueiredo e Carvalho (2005) afirmam que as lajes pré-fabricadas podem ser classificadas como um avanço às lajes maciças, pois elimina-se o concreto abaixo da linha neutra, o que resulta em uma diminuição

significativa do seu peso. Podem ser executadas em edifícios residenciais, comerciais, pontes, viadutos, fábricas e pequenas edificações; e tem se tornado uma opção muito viável devido à facilidade de execução, se comparadas a outros sistemas.

2.6 LAJES DE VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS

Pelo fato da solidarização da armadura da treliça com o concreto moldado no local para a concretagem da capa, as lajes de vigotas treliçadas podem ser classificadas como estruturas monolíticas (MAGALHÃES, 2001).

A vigota treliçada é executada industrialmente e usualmente composta por fios de aço CA-60 na forma de treliça espacial. A treliça é constituída pelo banzo inferior, com dois fios de aço paralelos na base, e pelo banzo superior, com um fio de aço no topo, ligados por eletrofusão a dois fios de aço diagonais em formato de sinusóide. Os fios inferiores são envoltos por uma base de concreto e quando necessário, podem ser acompanhados por armaduras de tração complementares (SILVA, 2012); conforme a figura 4.

Magalhães (2001) afirma que as diagonais da treliça conseguem proporcionar rigidez ao conjunto, excelentes condições de transporte e manuseio das peças, ligação entre o concreto moldado *in loco* e o concreto da base da vigota, e ainda podem combater as tensões de cisalhamento trabalhando como armaduras transversais.

A altura da treliça pode variar entre 7 e 25 cm. A distância entre as barras do banzo inferior permanece, geralmente, igual a 8 cm. Os fios do sinusóide normalmente tem uma distância de 20 cm (FLÓRIO, 2004).

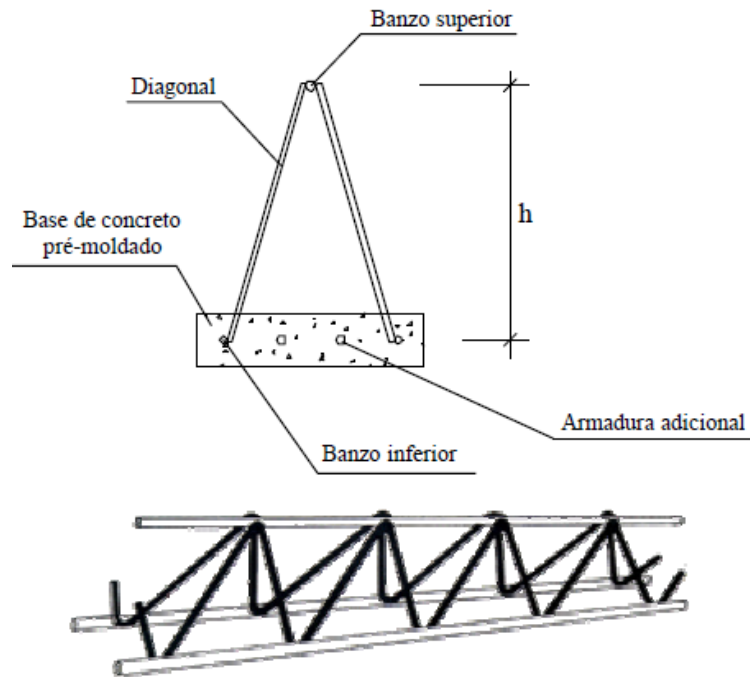


Figura 4: Seção e perspectiva do aço da vigota pré-fabricada treliçada
Fonte: Magalhães, 2001, p. 10.

A NBR 14862 – Armaduras treliçadas eletrossoldadas – requisitos (ABNT, 2002b) faz no item 4.5 a padronização das treliças e suas nomenclaturas. Como exemplo é designada uma armadura treliçada TR8634, que possui 8,0 cm de altura, fio do banzo superior com diâmetro de 6,0 mm, fios das diagonais com diâmetro de 3,4 mm e fios do banzo inferior com diâmetro de 4,2 mm.

Conforme cita Cunha (2012), as vigotas são geralmente produzidas com a medida da base de concreto variando entre 12 e 13 cm de largura e 3 a 4 cm de altura, como é exemplificado na figura 5.

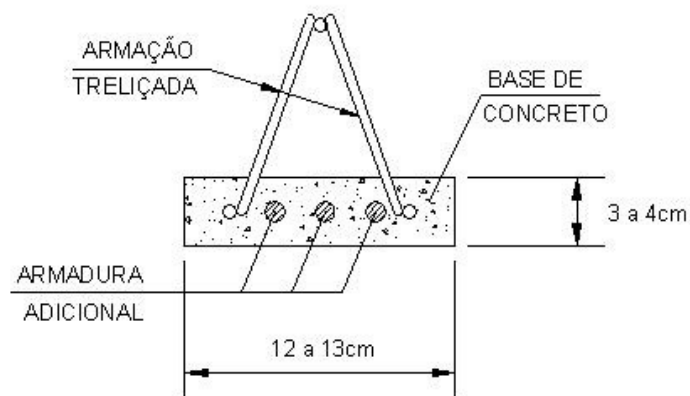


Figura 5: Dimensões usuais das vigotas pré-fabricadas treliçadas
Fonte: Cunha, 2012, p. 8.

Uma característica positiva das lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas é o fato da possibilidade de embutir, na capa de concreto ou entre os banzos da treliça, as instalações elétricas necessárias. Porém, não se recomenda o embutimento das instalações hidrossanitárias, devido a possibilidade de ocorrer a ruptura da tubulação pelo fato da laje ser um elemento deformável. (MEDRANO; FIGUEIREDO; CARVALHO, 2005).

2.6.1 Prescrições normativas

A NBR 14859 (ABNT, 2002a) define no item 4.1 as alturas das lajes pré-fabricadas em função das alturas padronizadas dos elementos de enchimento, conforme a tabela 1, com dimensões em centímetros.

Tabela 1: Alturas padronizadas das lajes pré-fabricadas

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

Fonte: Adaptado da NBR 14859-1, ABNT, 2002a.

No item 4.1.3 da NBR 14859 (ABNT, 2002a), define-se a designação da altura padronizada da laje, que deve ser composta por sua sigla, LC (vigotas de concreto armado), LP (vigotas de concreto protendido) ou LT (vigotas treliçadas), seguida da altura total h , da altura do elemento de enchimento h_e , seguida do símbolo “+” e da altura da capa h_c ; conforme exemplifica a tabela 2, com dimensões em centímetros.

Tabela 2: Designação das alturas padronizadas

Genérico	Exemplos
LC h ($h_e + h_c$)	LC 11 (7 + 4)
LP h ($h_e + h_c$)	LP 12 (8 + 4)
LT h ($h_e + h_c$)	LT 30 (24 + 6)

Fonte: Adaptado da NBR 14859-1, ABNT, 2002a.

Os intereixos são definidos no item 3.2 da NBR 14859 (ABNT, 2002a) como “[...]distância entre eixos de vigotas pré-fabricadas, entre as quais serão montados os elementos de enchimento”. Suas distâncias mínimas variam em função do tipo de vigota e das dimensões do elemento de enchimento, sendo os intereixos mínimos padronizados no item 4.2 da NBR 14859 (ABNT, 2002a) e estabelecidos na tabela 3. No caso de vigotas treliçadas com alturas maiores que 13 cm, a NBR 14859 (ABNT, 2002a) permite adotar intereixo mínimo de 40 cm.

Tabela 3: Intereixos mínimos padronizados

Tipo de vigota	Intereixos mínimos padronizados (cm)
VC	33,0
VP	40,0
VT	42,0

Fonte: Adaptado da NBR 14859-1, ABNT, 2002a.

2.6.2 Processo executivo

A execução das lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas deve seguir as recomendações da NBR 14931 (ABNT, 2004), de execução de estruturas de concreto, e também as recomendações da NBR 9062 (ABNT, 2001), de execução de estruturas de concreto pré-moldado.

Para este processo executivo foram adotados os passos descritos por Carvalho e Figueiredo Filho (2007); são eles: escoramento, colocação das vigotas, colocação dos elementos de enchimento, colocação das armaduras de distribuição e negativas, limpeza, concretagem e retirada do escoramento.

2.6.2.1 Escoramento

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007) o escoramento é composto por pontaletes e “guias mestres” (tábuas), as quais devem ser colocadas em espelho. Nesta etapa devem ser executadas as contraflechas, quando necessário.

Bocchi Jr. e Giongo (2007) mencionam que as tábuas devem ser posicionadas perpendicularmente às vigotas, com a maior dimensão perpendicular ao plano das lajes.

O escoramento deve ser posicionado de forma a diminuir os vãos das vigotas pré-fabricadas, para que estas resistam às ações provenientes da montagem e concretagem (BOCCHI JR; GIONGO, 2007).

2.6.2.2 Colocação das vigotas

As vigotas devem ser colocadas posicionando as lajotas (ou outro material de enchimento) nas extremidades, para que sirvam de gabarito do espaçamento entre as vigotas (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007).

Nesta etapa duas situações são possíveis, conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007):

- apoio das vigotas sobre estrutura de concreto armado: as vigotas devem apoiar-se sobre as formas alinhadas, niveladas, escoradas e já com a armadura posicionada, penetrando ao menos 5 cm nos apoios e no máximo igual a metade da largura da viga. A concretagem das vigas deve ocorrer em conjunto a da capa da laje;
- apoio das vigotas diretamente sobre a alvenaria: neste caso deve-se executar uma cinta de solidarização sobre a alvenaria. As vigotas devem penetrar nos apoios de modo semelhante ao caso anterior, e a concretagem da cinta deve, também, ocorrer em conjunto com a da capa.

2.6.2.3 Colocação dos elementos de enchimento

Nesta etapa Carvalho e Figueiredo Filho (2007) orientam a colocação dos elementos de enchimento, tubulação elétrica, caixas de passagem, entre outros.

Visando a economia é possível apoiar a primeira fila de elementos de enchimento de um lado sobre a viga ou parede, e de outro, sobre a vigota pré-fabricada. Desta forma é possível economizar uma vigota em cada painel de laje, além de facilitar a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas (SILVA, 2005).

2.6.2.4 Colocação das armaduras de distribuição e negativas

Além das armaduras de distribuição, neste passo Carvalho e Figueiredo Filho (2007) citam que deve-se colocar as armaduras negativas, quando

necessário, conforme indicação do projetista ou fabricante. A armadura negativa deve ser apoiada e amarrada sobre a armadura de distribuição, e esta colocada transversalmente às vigotas pré-fabricadas da laje.

Quando da utilização de vigotas treliçadas, a armadura de distribuição deve ser amarrada no banzo superior da treliça, impedindo que ela saia de posição durante a concretagem (SILVA, 2005).

Gaspar (1997) afirma que as bordas das lajes e a união entre painéis devem ser providos de armadura negativa, apoiadas e fixadas nas armaduras de distribuição.

2.6.2.5 Limpeza

Carvalho e Figueiredo Filho (2007) atentam para a limpeza cuidadosa da superfície das vigotas, evitando-se a presença de areia, pó, terra, óleo ou qualquer substância que prejudique a transferência de esforços entre as superfícies de contato. Além disso, deve ser feito o umedecimento da superfície antes da concretagem, evitando, porém, o acúmulo de água.

2.6.2.6 Concretagem

A concretagem da capa de concreto, conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007), deve ser acompanhada de alguns cuidados:

- colocação de passadiços de madeira para evitar que as lajotas se quebrem com o trânsito de pessoas e materiais;
- adensar o concreto para que ele penetre nas juntas entre as vigotas e os elementos de enchimento;
- efetuar boa cura, molhando bem a superfície da laje durante, pelo menos, três dias após a concretagem.

2.6.2.7 Retirada do escoramento

Carvalho e Figueiredo Filho (2007) mencionam que o escoramento deve ser retirado aproximadamente 15 dias após a concretagem. Nos edifícios de

múltiplos pavimentos, o escoramento do piso inferior não deve ser retirado antes do término da laje do pavimento seguinte.

A retirada dos pontaletes deve ser feita do centro para as extremidades, a fim de não produzirem esforços solicitantes (momentos fletores que tracionem a face superior da laje) para os quais a laje não foi dimensionada (BOCCHI; GIONGO, 2007).

2.6.3 Vantagens

O sistema de lajes pré-fabricadas de vigotas treliçadas apresenta uma série de vantagens frente às lajes maciças e outros tipos de lajes pré-fabricadas, a saber:

- fácil manuseio no transporte horizontal e vertical, devido ao seu baixo peso próprio (DROPPA JR., 1999);
- redução dos escoramentos, reduzindo, assim, mão-de-obra e materiais (DROPPA JR., 1999);
- as barras diagonais tendem a criar uma ligação contínua entre as vigotas e a capa de concreto, resultando em boa resistência a tensões de cisalhamento (ALBUQUERQUE, 1999);
- reduz a possibilidade do aparecimento de fissuras, pela boa aderência proporcionada entre as vigotas e a capa de concreto (DROPPA JR., 1999);
- facilita a colocação de nervuras moldadas *in loco*, perpendiculares às vigotas (DROPPA JR., 1999);
- possibilidade de embutir as instalações elétricas entre a capa de concreto e a base das vigotas (MAGALHÃES, 2001);
- reduz a quantidade de estoques e movimentação de materiais e pessoas no canteiro de obras, pois diminui a mão-de-obra de ferreiros, armadores e carpinteiros, bem como, aumenta a rapidez da execução da obra (MAGALHÃES, 2001).

2.6.4 Desvantagens

Apesar das inúmeras vantagens, Magalhães (2001) atenta para alguns cuidados que merecem destaque, pois caso não atendidos trarão desvantagens se comparados a outros sistemas; são eles:

- a armadura diagonal das treliças só poderá ser considerada como resistente às tensões de cisalhamento, caso esteja eficazmente ancorada na região de compressão do concreto;
- no caso de lajes contínuas, no momento da concretagem, deve-se verificar o posicionamento da armadura negativa para que se garanta o valor de altura útil d especificada em projeto;
- em edifícios mais altos é preciso analisar o plano da laje na transferência de ações horizontais, de modo que a laje apresente o comportamento de diafragma;
- deve ser verificado com rigor o comportamento para o estado limite de deformações excessivas.

2.7 ANALOGIA DE GRELHA

Para o dimensionamento das lajes será utilizada a Analogia de Grelha. Este método de dimensionamento, conforme afirma Silva (2012), vem sendo muito utilizado na análise estrutural de pavimentos, seja por projetistas quanto por pesquisadores, em programas de cálculo estrutural. Os resultados satisfatórios pela utilização de recursos computacionais, tornam a Analogia de Grelha um método atrativo a ser utilizado.

“O processo consiste em substituir uma placa (laje) por uma malha equivalente de vigas (grelha equivalente), a qual, para efeito de cálculo, passa a representar a placa” (SILVA, 2005, p. 164). Ainda conforme Silva (2005) o mesmo procedimento pode ser utilizado para pavimentos com lajes maciças, com ou sem vigas, ou por lajes nervuradas.

As ações distribuídas na laje se dividem entre os elementos de grelha, conforme a área de influência de cada um deles, e ainda podem ser

consideradas uniformemente distribuídas ao longo dos elementos ou concentradas nos nós (SILVA, 2005).

É de interesse que a rigidez à flexão e à torção sejam semelhantes entre a laje e os elementos da grelha equivalente, pois desta forma, quando submetidos a carregamentos iguais, obtenha-se os mesmos esforços solicitantes e deslocamentos (MEDRANO; FIGUEIREDO FILHO; CARVALHO, 2005).

A figura 6 mostra um pavimento composto por dois panos de lajes maciças, cinco vigas e seis pilares, e ao lado a grelha utilizada para representá-lo.

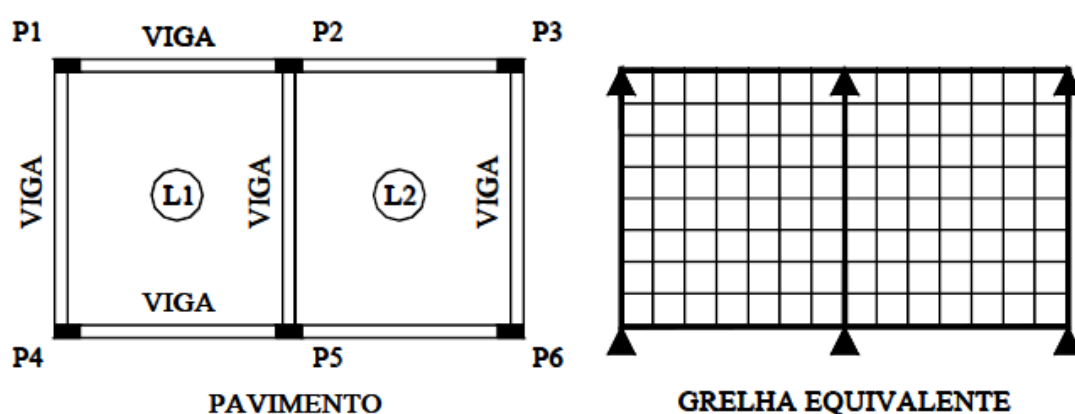


Figura 6: Grelha equivalente de um pavimento em concreto armado
Fonte: Silva, 2005, p. 165.

2.8 ESTUDO DO PROJETO

De maneira a elaborar os quantitativos e orçamentos, é necessário conhecer o projeto da edificação, suas dimensões e os elementos estruturais nele dispostos. O projeto no qual este estudo foi baseado, trata-se de uma edificação de, originalmente, 4 pavimentos mais a caixa d'água; sendo o pavimento térreo destinado à garagem e uma sala comercial, e três pavimentos tipo, destinados aos apartamentos. São estes pavimentos tipo que serão multiplicados dentro do *software* para que a edificação seja simulada. A torre da caixa d'água não será levada em consideração na comparação das lajes, visto que habitualmente ela é construída em laje maciça, independentemente do tipo de laje utilizado no restante da edificação.

A figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, um corte longitudinal e um corte transversal da edificação, retirados do projeto arquitetônico. Os pavimentos, incluindo os simulados futuramente, possuem pé-direito de 3,15 metros.

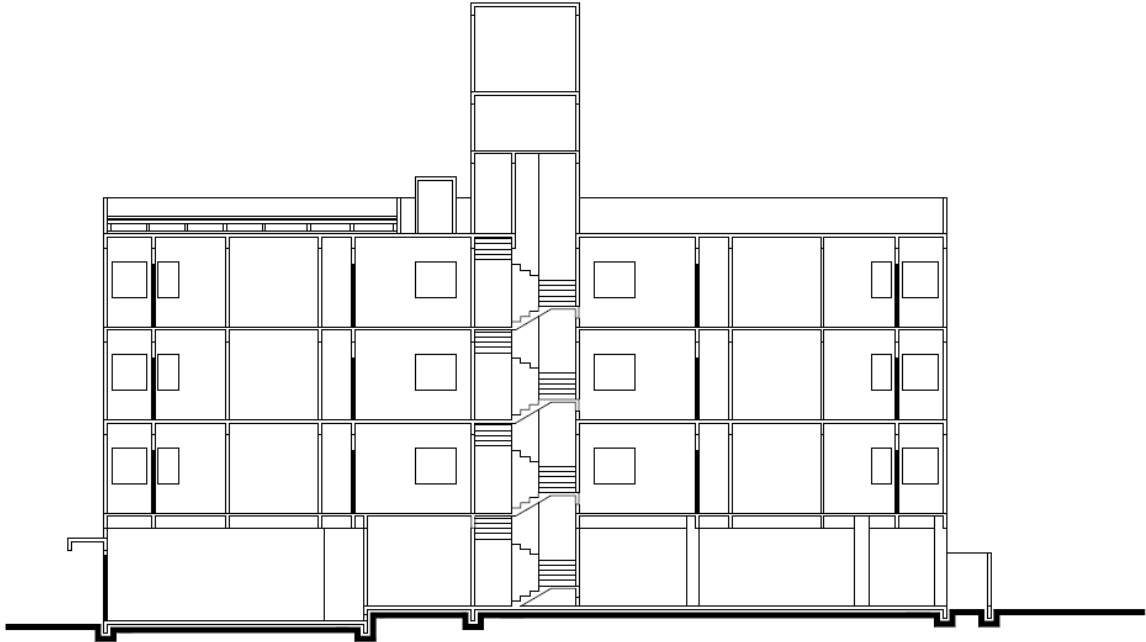


Figura 7: Corte longitudinal da edificação
Fonte: Adquirida pelo autor, 2017.

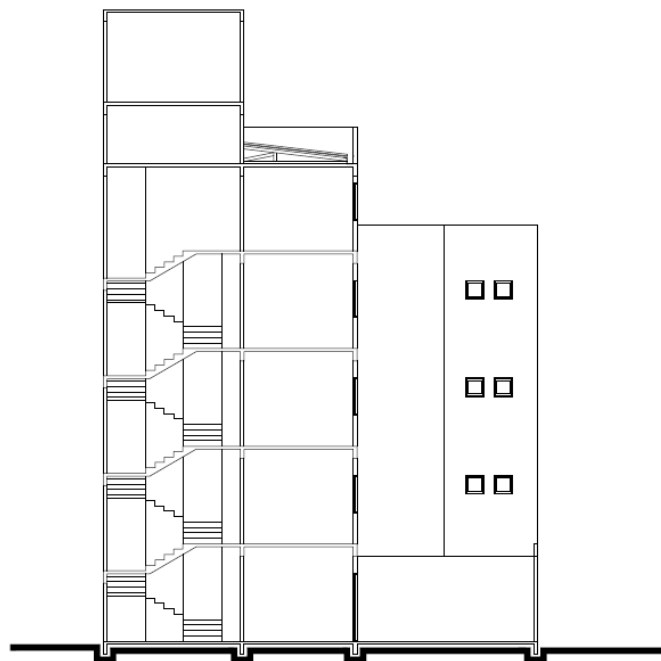


Figura 8: Corte transversal da edificação
Fonte: Adquirida pelo autor, 2017.

A área de panos de laje em quatro pavimentos tem um total de 1143,4 m², e em oito pavimentos, 2232,4 m². Na figura 9 é apresentada a planta de formas do piso do primeiro pavimento, com os devidos panos de lajes, pilares e vigas dispostos pelo engenheiro projetista. Com auxílio do *software* Eberick pode-se obter a área de panos de lajes, resultante em 304,0 m².

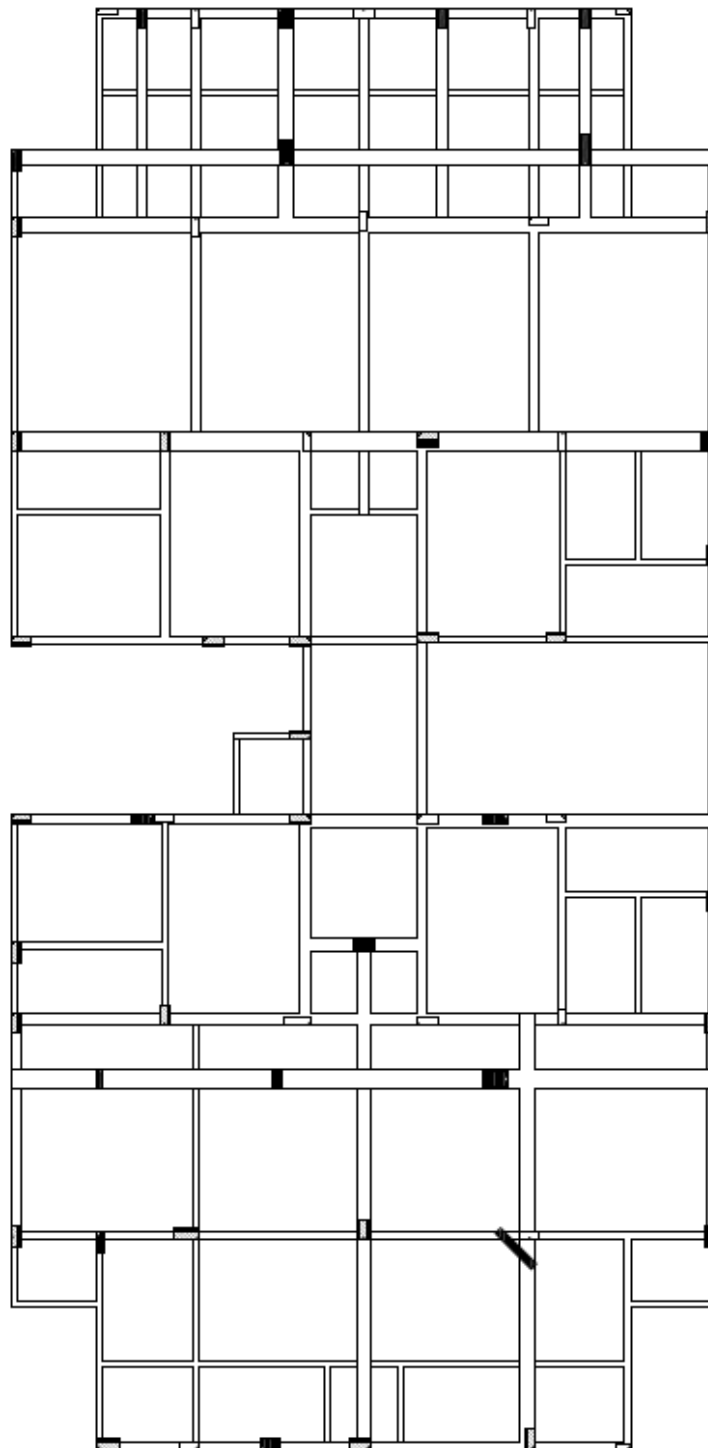


Figura 9: Planta de formas do piso do primeiro pavimento
Fonte: Adquirida pelo autor, 2017.

A figura 10 mostra a planta de formas referente aos pisos do segundo e terceiro pavimentos e à laje de cobertura. A área de panos de lajes total de cada pavimento é de 279,8 m².

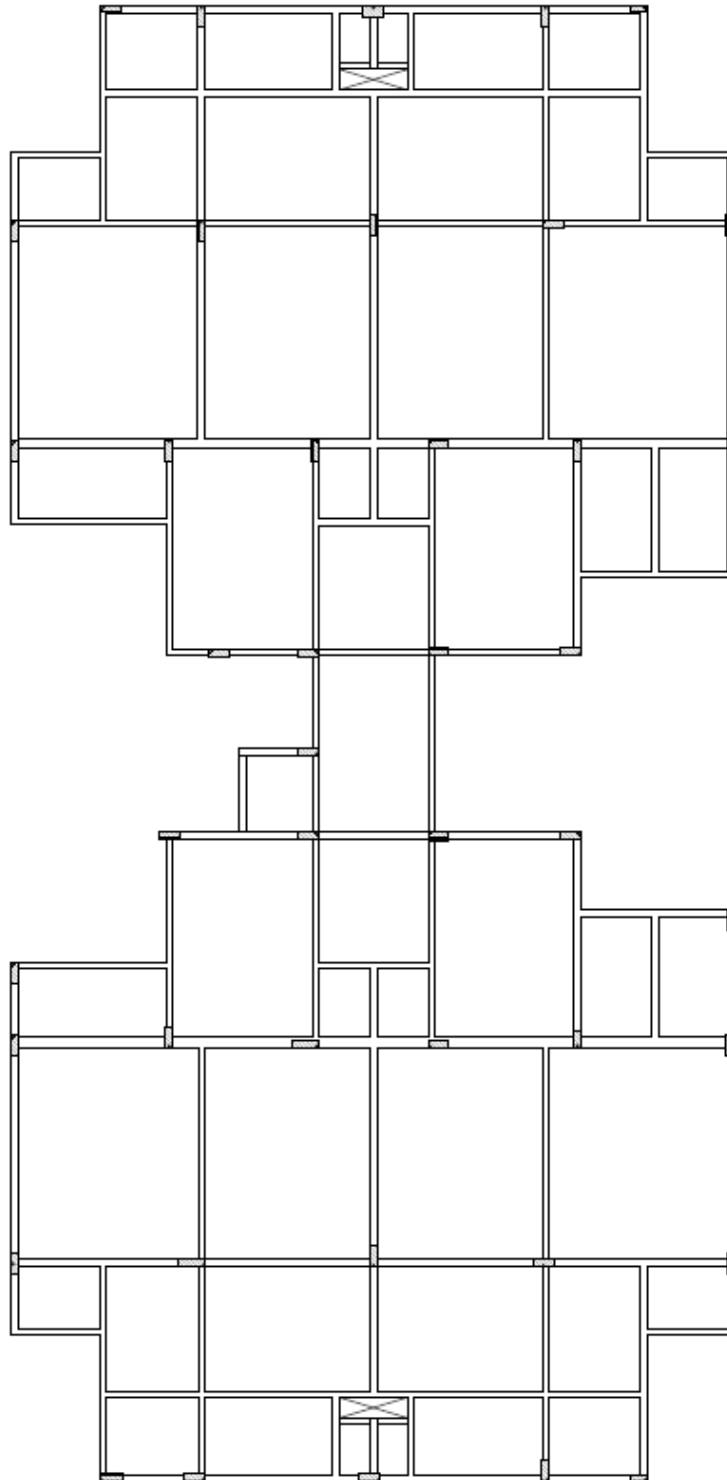


Figura 10: Planta de formas dos pavimentos segundo, terceiro e cobertura
Fonte: Adquirida pelo autor, 2017.

3 METODOLOGIA

Gil (2008, p. 27) cita que uma pesquisa exploratória “[...]tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. Sendo assim, com base em seus objetivos, este estudo se classifica como exploratório pelo fato de realizar uma comparação inicial entre as lajes maciças e lajes pré-fabricadas treliçadas de concreto armado. Ainda pelos seus procedimentos técnicos esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa bibliográfica, pois foi necessária uma revisão teórica de materiais elaborados por diversos autores. Com base na abordagem é de natureza quali-quantitativa, de modo que avalia os resultados expressando-os numericamente, buscando estabelecer relações entre eles, bem como procura conhecer as particularidades dos mesmos.

Para a obtenção dos objetivos propostos, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os dois tipos de lajes apresentados, levando em consideração para levantamento de dados: livros, artigos, teses, dissertações, manuais técnicos e normas. Foram abordados aspectos como história, definições, prescrições normativas, processos executivos, entre outros.

Após esta etapa, as lajes maciças e pré-fabricadas treliçadas de concreto armado foram simuladas no *software* estrutural, variando-se o número de pavimentos em casa simulação, mas mantendo o pavimento tipo do edifício.

Posteriormente realizou-se a composição do custo unitário para o pavimento tipo definido anteriormente, baseando-se em referências bibliográficas específicas; e assim, foram realizadas as análises e comparação de custos entre as lajes maciças e as lajes pré-fabricadas treliçadas.

Ao final do trabalho foi realizada uma pesquisa de opinião com cinco engenheiros civis, de modo a conhecer suas preferências e motivos de escolha entre um ou outro sistema de laje.

A seguir, na figura 11, é apresentado um diagrama descrevendo o procedimento realizado, e após, é explicado de forma mais específica os passos necessários para o desenvolvimento deste estudo.

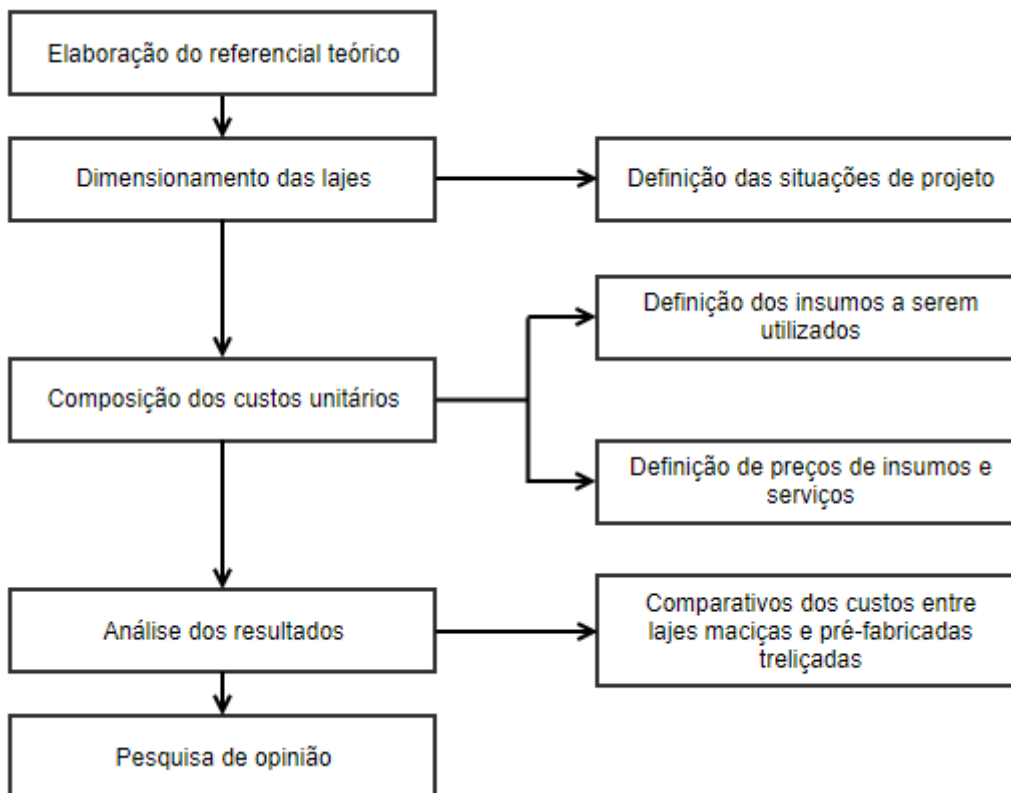


Figura 11: Diagrama da metodologia
Fonte: Autoria própria, 2017.

3.1 Descrição dos elementos estruturais, cargas atuantes e materiais utilizados

A qualidade do concreto a ser utilizado em projetos de estruturas de concreto depende da classe de agressividade ambiental do meio na qual a edificação se localiza, conforme o item 7.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014). Para este estudo foi definido que a estrutura estará em meio urbano, que corresponde a classe de agressividade ambiental II (agressividade moderada). Para este caso, a classe mínima do concreto armado é C25, que corresponde a um $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias de idade. O cobrimento nominal das armaduras das peças estruturais, ainda relacionado com a classe de agressividade ambiental, é de 25 mm para lajes maciças, segundo a tabela 7.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), e de 15 mm para lajes pré-fabricadas, segundo a tabela 3 da NBR 9062 (ABNT, 2001).

Obedecendo o proposto pela NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 1980), na tabela 2 do item 2.2.1.2, foram definidas as seguintes cargas atuantes:

- cargas de laje de piso: 150 kgf/m² em quartos, salas, cozinhas e banheiros; 200 kgf/m² em áreas de serviço e despensas;
- cargas de laje de forro: 50 kgf/m².

A velocidade do vento foi definida em 42 m/s por meio do mapa de isopleias fornecido pelo próprio *software*.

São propostos dois modelos de edificações a serem simulados por meio do *software*: quatro pavimentos e oito pavimentos.

3.2 Dimensionamento das lajes maciças de concreto armado e lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas

Para o dimensionamento das lajes maciças foram utilizados os aços CA-50 e CA-60 e sua altura ficou definida em 10 cm. Para o dimensionamento das lajes pré-fabricadas treliçadas foram utilizadas as vigotas TR 08645, que conforme entrevista realizada com os fabricantes da região, são as mais utilizadas atualmente. Para os elementos de enchimento, foram adotadas tabelas cerâmicas de 8 cm de altura. A capa de concreto da laje foi definida em 4 cm de altura, resultando numa altura total de 12 cm.

3.3 Composições e custos de insumos

A definição das composições de custos unitários, dos custos dos insumos utilizados nas composições unitárias, bem como os valores referentes à mão-de-obra, foi baseada nas tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o Estado do Paraná, emitidas em maio de 2017, e que é gerido pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O SINAPI estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de obras e serviços de engenharia.

3.4 Software

O *software* escolhido, Eberick, é destinado ao projeto de estruturas de concreto armado moldado *in loco* e concreto pré-moldado, podendo ser

representados os diferentes níveis de pavimentos presentes no projeto arquitetônico. O lançamento da estrutura é realizado diretamente sobre as plantas do projeto arquitetônico. É possível definir diversas situações para cada estrutura, por meio dos diferentes processos estruturais existentes. O Eberick fornece uma visualização tridimensional da estrutura dimensionada. Os diversos recursos de detalhamento e dimensionamento estão de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Por meio de seu uso é possível obter os insumos necessários definidos a partir do dimensionamento da estrutura, e ainda, os valores das flechas e deslocamentos de cada elemento estrutural, momentos e reações que cada qual está sendo submetido.

Nesse estudo o *software* foi utilizado apenas para gerar as informações referentes aos quantitativos de materiais das lajes e aos deslocamentos horizontais provenientes das cargas de vento e horizontais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

É importante destacar que as vigas e pilares da edificação não foram redimensionados conforme deveriam em uma situação real de construção, portanto, neste estudo, permaneceram com as mesmas dimensões em todas as simulações. Ressalta-se que devido à adição de novos pavimentos, os esforços solicitantes tiveram suas grandezas intensificadas e os elementos estruturais deveriam ser dimensionados.

O que se pode notar foi que, surpreendentemente, os deslocamentos horizontais resultantes da ação do vento na edificação permaneceram iguais quando comparados os dois tipos de lajes e os deslocamentos horizontais resultante da ação das cargas horizontais tiveram mínima diferença, com média na casa dos 0,5 cm, assim sendo, a mudança do tipo de laje não influenciou na estabilidade global desta edificação em particular. Acredita-se que isso ocorreu devido ao formato retangular da edificação, mas como não há base científica para uma afirmação precisa, fica aberta a oportunidade de um estudo futuro sobre este quesito.

4.1 Laje maciça em quatro pavimentos

Para a composição unitária houve a necessidade de realizar algumas mudanças nas tabelas do SINAPI, uma vez que as mesmas não apresentavam exatamente o que se desejava. As mudanças feitas serão apontadas no decorrer deste estudo.

A tabela 4 indica a composição das formas da laje maciça. Optou-se por formas com chapas de madeira plastificadas que podem ser utilizadas até 4 vezes. Não houve necessidade de alteração, já que a mesma é calculada diretamente em reais por metro quadrado.

Tabela 4: Composição das formas em quatro pavimentos

FUES	92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M ²	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/M ²	%
Insumo	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	5,63	0,06	0,23
Insumo	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 (10 kN), incluso tripé e forçado	MES	0,3970	5,04	2,00	8,05
Insumo	40270	Viga de escoramento h20, de madeira, peso de 5,00 a 5,20 kg/m, com extremidades plásticas	M	0,0300	44,00	1,32	5,31
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,0970	16,86	1,64	6,58
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,5280	20,59	10,87	43,72
Composição	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada plastificada, e = 17 mm. Af_12/2015	M2	0,3410	26,34	8,98	36,12
TOTAL						24,87	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

Na tabela 5 é apresentada a composição relativa ao concreto das lajes. Uma vez que o que se pretendia era encontrar o custo por metro quadrado foi necessário ajustar a tabela, calculando-se a área preenchida pelo volume de 1 metro cúbico de concreto. Como a altura da laje foi definida em 10 cm, bastou dividir os valores da tabela por 10, e assim, encontrar o valor por metro quadrado. O consumo de concreto da tabela do SINAPI foi modificado pelo consumo real fornecido pelo dimensionamento do *software*.

Tabela 5: Composição do concreto

FUES	92726	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M ²	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/M ²	%
Insumo	1527	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	M3	0,10996	248,02	27,273	92,55
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,0085	20,59	0,175	0,59
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	0,0512	20,71	1,060	3,60
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	0,0586	16,27	0,953	3,24
Composição	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. Af_06/2015	CHP	0,0044	0,82	0,004	0,01
Composição	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,0127	0,22	0,003	0,01
TOTAL						29,47	100,00

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam as composições das parcelas de aço, que segundo o dimensionamento do Eberick tiveram bitolas necessárias em 6,3 mm e 8 mm para CA-50, e 5,0 mm para CA-60. Como as tabelas de aço do SINAPI são compostas em quilos de aço, foi preciso dividir o total de aço fornecido pelo *software* pelo total da área de panos de laje, tendo dessa maneira, um consumo de aço por metro quadrado.

Tabela 6: Composição do aço CA-50 6,3 mm

FUES	92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6.3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015_P	KG	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/KG	UN/M ²	R\$/M ²	%
Insumo	337	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	7,1	0,18	0,03	0,21	2,50
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	1,3330	0,13	0,17	1,56	0,20	2,44
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0105	16,83	0,18	0,01	0,21	2,49
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0646	20,59	1,33	0,08	1,56	18,71
Composição	92801	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 6.3 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,25	5,25	1,17	6,14	73,86
TOTAL								8,32	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

Tabela 7: Composição do aço CA-50 8,0 mm

FUES	92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8.0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015_P	KG	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/KG	UN/M ²	R\$/M ²	%
Insumo	337	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	7,1	0,18	0,02	0,14	2,61
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,7280	0,13	0,09	0,58	0,07	1,39
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0078	16,83	0,13	0,01	0,10	1,93
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0475	20,59	0,98	0,04	0,77	14,38
Composição	92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 8.0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,42	5,42	0,79	4,28	79,69
TOTAL								5,37	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

Tabela 8: Composição do aço CA-60 5,0 mm

FUES	92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5.0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015_P	KG	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/KG	UN/M ²	R\$/M ²	%
Insumo	337	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	7,1	0,18	0,03	0,21	2,18
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	2,1180	0,13	0,28	2,50	0,32	3,39
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0140	16,83	0,24	0,02	0,28	2,90
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0855	20,59	1,76	0,10	2,08	21,71
Composição	92800	Corte e dobra de aço CA-60, diâmetro de 5.0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,66	5,66	1,18	6,68	69,79
TOTAL								9,57	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

Somando os valores das tabelas anteriores foi possível obter o valor total em reais por metro quadrado e o valor total das lajes da edificação, os quais são apresentados na tabela 9 e no gráfico a seguir.

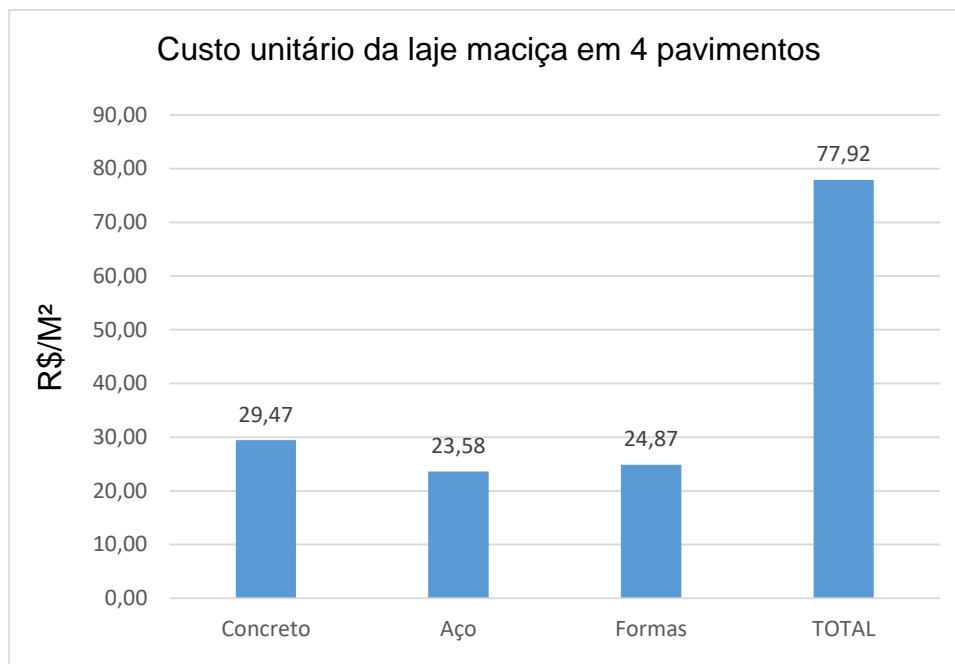


Figura 12: Gráfico - Custo unitário da laje maciça em quatro pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 9: Custo total da laje maciça em quatro pavimentos

	CUSTO TOTAL	R\$	%
Concreto		33.693,39	41,5
Aço		26.964,28	33,2
Formas		20.604,01	25,4
TOTAL		81.261,68	100,00

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2 Laje maciça em oito pavimentos

A laje maciça em oito pavimentos permaneceu com as mesmas considerações abordadas anteriormente, diferenciando apenas nas formas que passaram a ser utilizadas até 8 vezes, conforme a tabela 10. Como não houve mudanças nos custos das composições unitárias por metro quadrado de aço e concreto, aqui serão apresentados somente os resultados finais e não as composições separadas.

Tabela 10: Composição das formas em oito pavimentos

FUES	92522	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M ²	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/M ²	%
Insumo	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	5,63	0,056	0,31
Insumo	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 (10 kN), incluso tripé e forçado	MES	0,3970	5,04	2,001	11,03
Insumo	40270	Viga de escoramento h20, de madeira, peso de 5,00 a 5,20 kg/m, com extremidades plásticas	M	0,0300	44,00	1,320	7,27
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,0780	16,86	1,315	7,25
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,4040	20,59	8,318	45,84
Composição	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada plastificada, e = 17 mm. Af_12/2015	M2	0,1950	26,34	5,136	28,30
TOTAL						18,15	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

O gráfico indica os valores de custo unitário, seguido da tabela 11 de custo total.

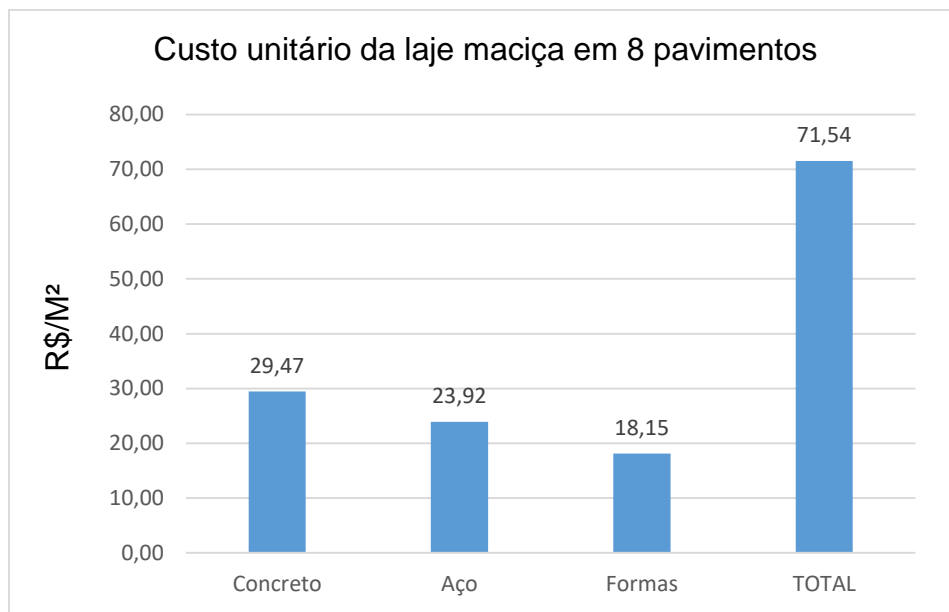


Figura 13: Gráfico - Custo unitário da laje maciça em oito pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 11: Custo total da laje maciça em oito pavimentos

	CUSTO TOTAL	R\$	%
Concreto		66.667,20	45,4
Aço		54.124,99	36,9
Formas		25.910,24	17,7
TOTAL		146.702,44	100,00

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.3 Laje treliçada em quatro pavimentos

Para a laje treliçada foi necessário o uso de apenas duas tabelas de composição do SINAPI e com fins de comparação com a laje maciça, na parcela de formas foi considerado o escoramento; na parcela de aço, o aço de reforço; e o concreto de forma semelhante à laje maciça. As vigotas e tabelas cerâmicas são apresentadas separadas, sem material de comparação com as lajes maciças. As tabelas 12 e 13 apresentam as devidas composições. Da mesma forma que a laje maciça, a composição referente ao concreto teve de ser ajustada para o cálculo de metros cúbicos de concreto por metro quadrado, e, definida a altura da laje em 12 cm e sabendo as dimensões de vigotas e tabelas foi possível encontrar o fator que divide os valores da tabela.

Tabela 12: Composição de aço e formas da laje treliçada

FUES	74202/2	LAJE PRE-MOLDADA P/PISO, SOBRECARGA 200KG/M2, VAOS ATE 6,0M/E=12CM, C/LAJOTAS E CAP.C/CONC FCK=25MPA, 4CM, INTER- EIXO 38CM, C/ESCORAMENTO (REAPR.3X) E FERRAGEM NEGATIVA	M ²	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/M ²	%
Insumo	39	Aço CA-60, 5,0 mm, vergalhão	KG	0,4710	3,48	1,64	2,21
Insumo	3746	Laje pré-moldada treliçada (lajotas + vigotas) para piso, unidirecional, sobrecarga de 200 kg/m2, vão até 6,00 m (sem colocação)	M ²	1,0000	47,79	47,79	64,37
Insumo	4491	Peça de madeira nativa / regional 7,5 x 7,5cm (3x3) não aparelhada (p/forma)	M	0,2900	6,24	1,81	2,44
Insumo	5061	Prego de aço polido com cabeça 18 x 27 (2 1/2 x 10)	KG	0,0300	7,2	0,22	0,29
Insumo	6189	Tábua madeira 2a qualidade 2,5 x 30,0cm (1 x 12") não aparelhada	M	0,1700	7,94	1,35	1,82
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,1600	16,86	2,70	3,63
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,1600	20,59	3,29	4,44
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	0,4000	20,71	8,28	11,16
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	0,4400	16,27	7,16	9,64
TOTAL						74,24	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

Tabela 13: Composição do concreto da laje treliçada

FUES	92726	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M ²	CONSUMO UNIT.	R\$ UNIT.	R\$/M ²	%
Insumo	1527	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	M ³	0,0640	248,02	15,878	91,87
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,0054	20,59	0,112	0,65
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	0,0328	20,71	0,679	3,93
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	0,0375	16,27	0,610	3,53
Composição	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. Af_06/2015	CHP	0,0028	0,82	0,002	0,01
Composição	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,0081	0,22	0,002	0,01
TOTAL						17,28	100

Fonte: SINAPI – Com desoneração. Maio de 2017. PR.

De posse desses dados foi possível encontrar o custo unitário da laje treliçada e o custo total, que são apresentados pela tabela 14 e pelo gráfico seguinte.

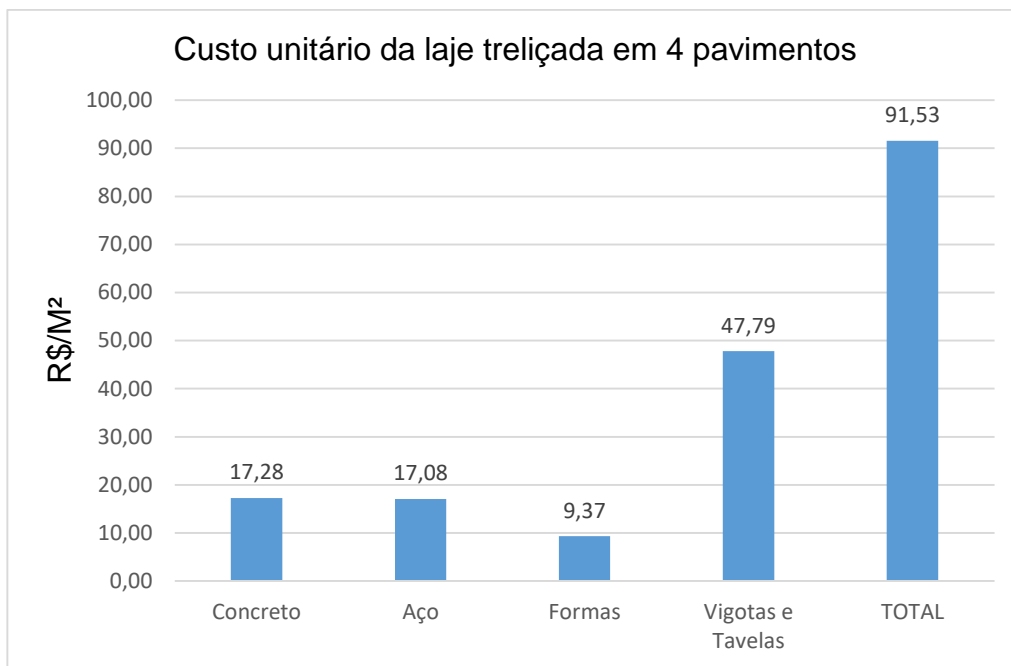


Figura 14: Gráfico - Custo unitário da laje treliçada em quatro pavimentos
 Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 14: Custo total da laje treliçada em quatro pavimentos

CUSTO TOTAL	R\$	%
Concreto	19.762,05	19,2
Aço	19.516,05	19,0
Formas	8.936,14	8,7
Vigotas e Tabelas	54.600,08	53,1
TOTAL	102.814,32	100,00

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.4 Laje treliçada em oito pavimentos

A laje treliçada em oito pavimentos, teve pelo dimensionamento do Eberick, igual consumo de materiais por metro quadrado que a laje treliçada em quatro pavimentos, por isso neste tópico só será apresentada a tabela 15 com o custo total da obra.

Tabela 15: Custo total da laje treliçada em oito pavimentos

CUSTO TOTAL	R\$	%
Concreto	39.102,39	19,3
Aço	38.613,59	19,1
Formas	16.759,74	8,3
Vigotas e Tabelas	108.029,30	53,3
TOTAL	202.505,02	100,00

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.5 Comparativos

A partir dos dados apresentados anteriormente se torna possível fazer um comparativo entre eles, de maneira a definir uma escolha que forneça o menor custo visando a execução de lajes. A figura 15 nos mostra um gráfico que representa o valor por metro quadrado de laje, na situação de quatro pavimentos.

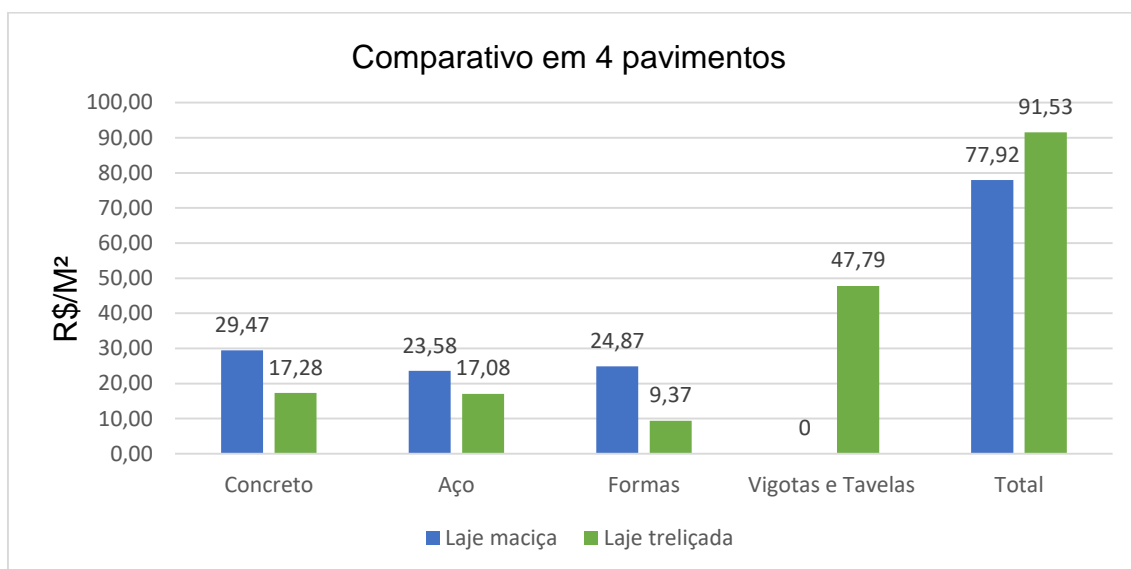


Figura 15: Gráfico - Comparativo de custo - R\$/m² - em quatro pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

Nota-se que a laje treliçada deixou de ser uma opção viável quando a parcela de vigotas e tabelas foi comparada, isso pelo alto custo das vigotas necessárias para o projeto em estudo. O valor total mostrou a laje maciça fornecendo uma economia de R\$ 13,61 por metro quadrado. O mesmo ocorreu na situação de oito pavimentos, conforme a figura 16, onde novamente a parcela de vigotas e tabelas foi decisiva para a economia da laje maciça em relação à laje treliçada, que se mostrou R\$ 19,99 por metro quadrado mais barata.

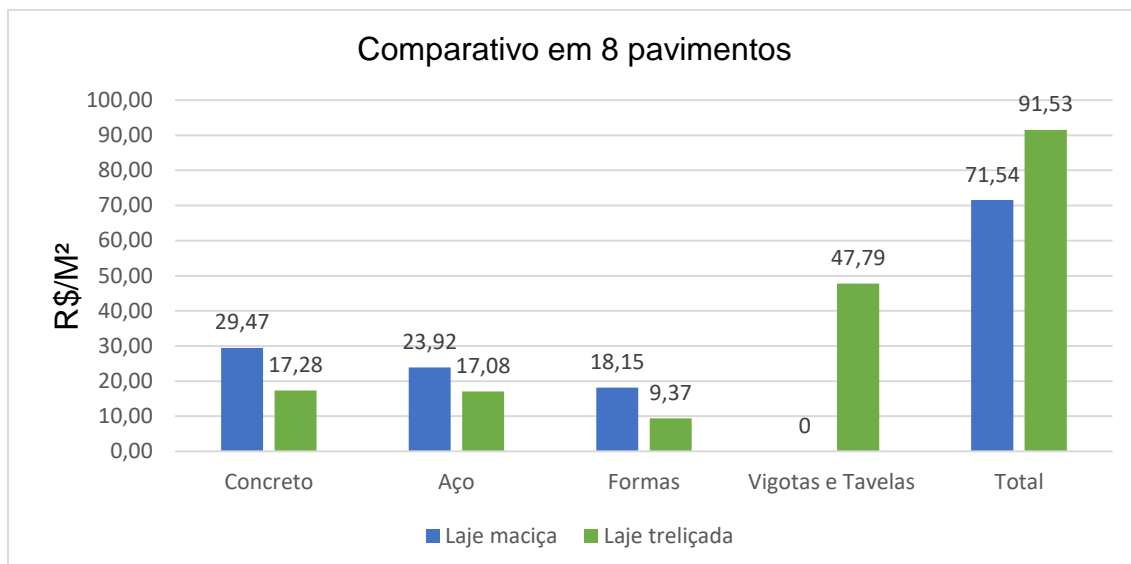


Figura 16: Gráfico - Comparativo de custo - R\$/m² - em oito pavimentos
Fonte: A autoria própria, 2017.

Outro resultado inesperado e que deve ser levado em consideração, ocorreu na análise do tempo de execução das lajes pelas composições do SINAPI, o qual mostrou que, ao contrário do senso comum, foram necessárias mais horas de trabalho por metro quadrado nas lajes treliçadas do que nas maciças. Foram considerados os serviços de formas, armação e concretagem, com as funções descritas nas tabelas 16 e 17. A figuras 17 e 18 mostram gráficos comparativos dos tempos de serviço de cada laje.

Tabela 16: Tempo de execução em quatro pavimentos

Função	Maciça	Treliçada
	h/m²	h/m²
Ajudante de Carpinteiro	0,10	0,16
Carpinteiro	0,56	0,17
Pedreiro	0,05	0,43
Servente	0,06	0,48
Ajudante de Armador	0,03	-
Armador	0,21	-
TOTAL	1,02	1,24

Fonte: A autoria própria, 2017.

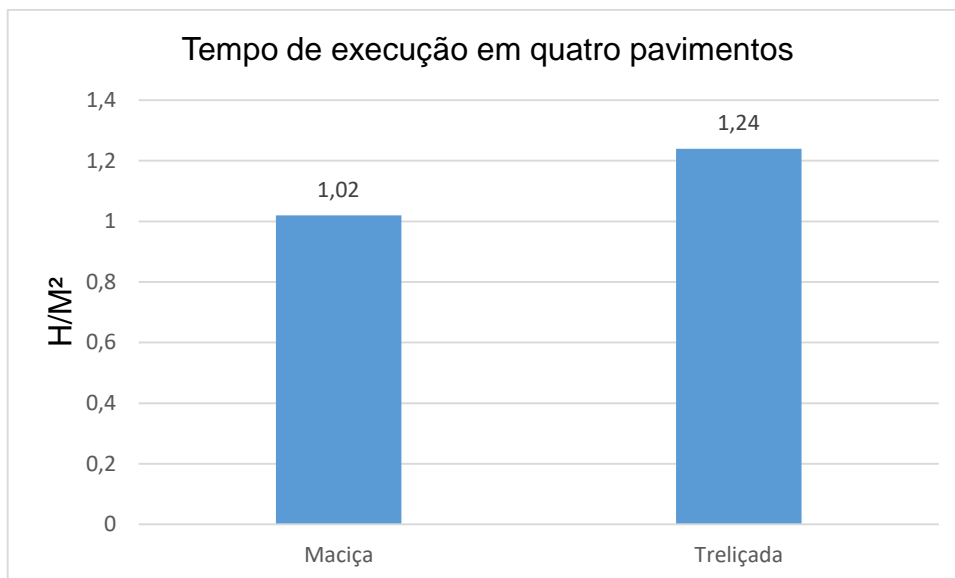


Figura 17: Gráfico - Tempo de execução em quatro pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 17: Tempo de execução em oito pavimentos

	Maciça	Treliçada
Função	h/m²	h/m²
Ajudante de Carpinteiro	0,08	0,16
Carpinteiro	0,44	0,17
Pedreiro	0,05	0,43
Servente	0,06	0,48
Ajudante de Armador	0,03	-
Armador	0,21	-
TOTAL	0,87	1,24

Fonte: Autoria própria, 2017.

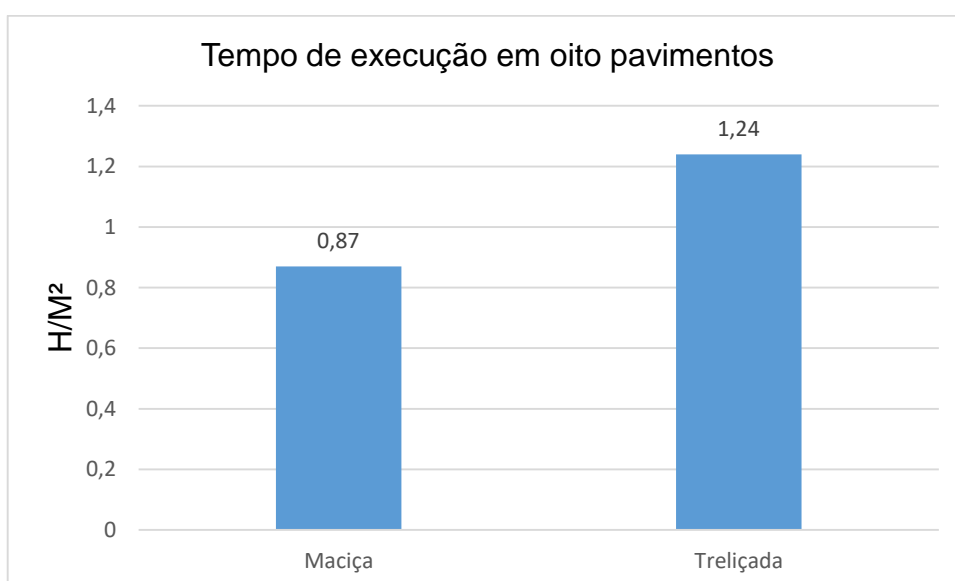


Figura 18: Gráfico - Tempo de execução em oito pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

Com o objetivo de trazer ao estudo uma das vantagens das lajes pré-fabricadas, seu baixo peso quando comparada as lajes maciças e possível diminuição de esforços, apresenta-se a seguir nas figuras 19 e 20, dois gráficos que fazem esse comparativo nas duas situações de projeto.

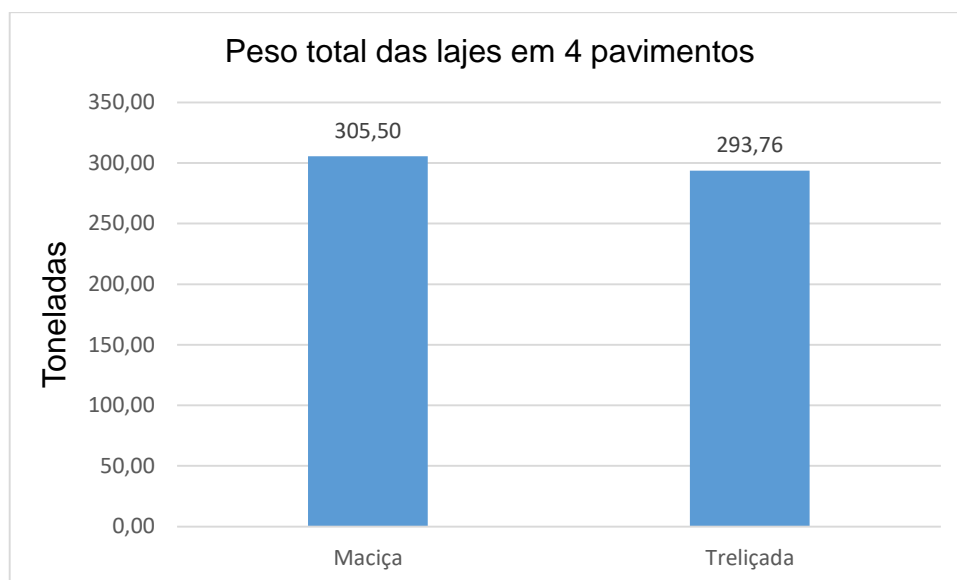


Figura 19: Gráfico - Peso total em quatro pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

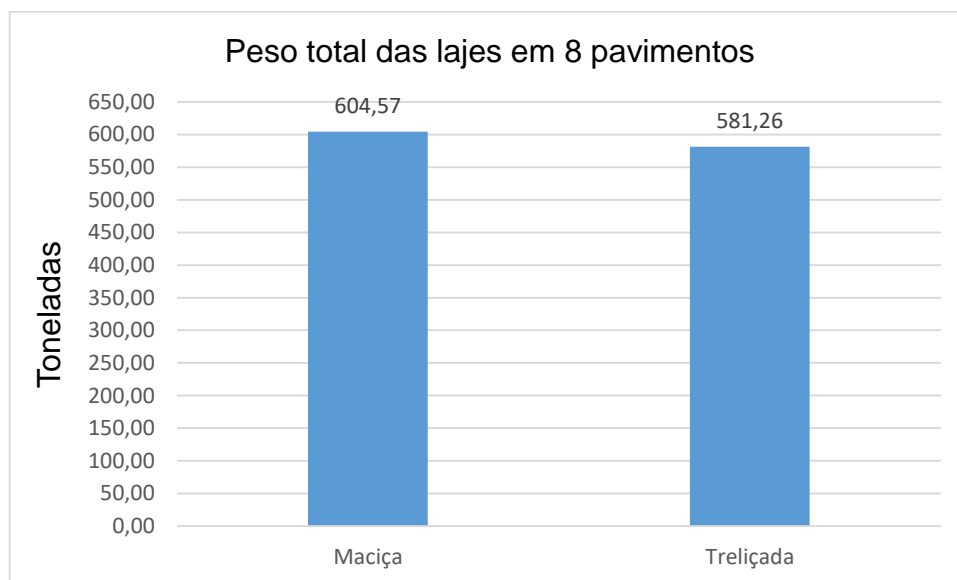


Figura 20: Gráfico - Peso total em oito pavimentos
Fonte: Autoria própria, 2017.

A laje treliçada não atendeu satisfatoriamente as expectativas quanto ao peso próprio, quando na análise em quatro pavimentos mostrou-se 11,74 toneladas mais leve que a laje maciça, e 23,31 toneladas a menos na simulação

de oito pavimentos. Essa diferença, de apenas cerca de 4,0 %, pode não ter influência significativa no dimensionamento de vigas e pilares de menores seções quando analisada a estrutura global.

4.6 Transporte vertical

Existe também, um fator muitas vezes negligenciado na escolha do sistema de lajes treliçadas, mas que confere um custo a mais em sua execução: o transporte vertical das vigotas. Com o propósito de incluir este fator neste estudo, é apresentada na tabela 18, a composição unitária do serviço. Esta foi desenvolvida com base na composição do transporte vertical de tábuas presente na TCPO, uma vez que o SINAPI e a própria TCPO não possuem composições para o transporte vertical de vigotas. A composição original tinha como unidade metros cúbicos de madeira, sendo assim, foi preciso calcular a quantidade de vigotas presentes em 1 metro cúbico. Tomou-se 4 metros como comprimento médio de vigotas, e tendo 8 centímetros de altura, foi possível chegar em um valor de 24 vigotas por metro cúbico.

Tabela 18: Transporte vertical de vigotas

TRANSPORTE VERTICAL DE VIGOTAS COM ELEVADOR OU GUINDASTE						
	M ³	CONSUMO UNIT.		R\$ UNIT.	R\$/M ³	
		ATÉ 4 ^a LAJE	ATÉ 8 ^a LAJE		ATÉ 4 ^a LAJE	ATÉ 8 ^a LAJE
Maquinista elevador	H	0,15	0,24	17,79	2,67	4,27
Servente	H	0,6	0,96	16,27	9,76	15,62
TOTAL					12,43	19,89

Fonte: Adaptado da TCPO, 2010.

Nas lajes maciças também ocorre a situação de transporte vertical de formas, porém, como este é feito geralmente em no máximo dois pavimentos, devido a desforma de uma laje e a concretagem da próxima, não resulta em um valor significativo que mereça ser estudado.

4.7 Pesquisa de opinião

Uma pesquisa de opinião foi realizada com cinco engenheiros civis, com diferentes tempos de atuação no mercado, com o intuito de saber sobre suas preferências entre o uso de lajes maciças e lajes treliçadas.

Dos cinco engenheiros entrevistados, um deles está a um ano atuando na área, dois estão a cinco anos e outros dois estão a trinta e cinco e quarenta anos na profissão. Os cinco entrevistados residem e trabalham no sudoeste do Paraná, projetando e executando obras nesta região, majoritariamente nas cidades de Francisco Beltrão e Pato Branco.

Todos responderam às seguintes perguntas:

- a) em seus anos de atuação como engenheiro, você teve mais contato com lajes maciças ou treliçadas?
- b) em seus projetos você tem preferência por algum dos dois sistemas citados?
- c) quais os motivos que levam a sua escolha por um ou outro tipo de laje?
- d) você já realizou algum orçamento comparativo entre lajes maciças e treliçadas para uma mesma obra?
- e) você segue, em seus projetos, algum padrão de escolha de laje dependendo da altura da edificação a ser construída?

Em relação a primeira pergunta, todos afirmaram que tiveram praticamente o mesmo contato com lajes maciças e treliçadas em seus anos de trabalho, porém, houveram diferentes respostas quanto as outras perguntas da pesquisa. Três dos engenheiros, o recém-formado e os dois mais experientes, afirmaram ter preferência pela laje maciça em seus projetos, e os motivos são variados. Os três concordam que a laje maciça confere mais segurança aos trabalhadores, pelo fato de não ter pontos frágeis, suscetíveis a acidentes, como acontece com as tabelas cerâmicas e EPS nas lajes treliçadas. Os dois engenheiros com maior tempo de serviço, afirmam que a laje maciça possui a vantagem de ter uma espessura menor que a treliçada, com a possibilidade de poder embutir facilmente a tubulação, diferente da laje treliçada que possui espessura maior, pela altura das treliças mais a capa de concreto, e ainda pela armadura negativa e a dificuldade de embutir a tubulação por entre as treliças. Outro fato ressaltado por eles tem relação com o apoio das lajes, uma vez que a laje maciça é apoiada

em suas quatro bordas, conferindo uma vantagem sobre a treliçada, que possui apoios em apenas duas de suas bordas. Um desses engenheiros afirmou que hoje trabalha com contrapiso e fundo de lajes zero, e esse é um dos maiores motivos que o levam a escolha pela laje maciça. Os dois chamaram atenção para um fato um quanto recente e muito importante, que pode orientar as escolhas futuras: a norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (2013). Eles entendem que pela espessura e materiais que a compõe, as lajes treliçadas conseguem atender mais facilmente os requisitos impostos pela norma, principalmente quando se trata dos desempenhos termo-acústicos.

Um dos engenheiros com 5 anos de experiência afirmou não ter preferência por um ou outro sistema, e o outro disse ter preferência pela laje treliçada pelo fato de ter projetado apenas obras de pequeno vulto, porém ambos concordaram que as lajes treliçadas possuem melhor desempenho termo-acústico.

Quando questionados sobre o desenvolvimento de orçamentos para comparação de custos das lajes antes da execução da obra, apenas os dois engenheiros mais experientes afirmaram realizá-los, e ainda, de uma forma costumeira em seus projetos. O engenheiro recém-formado, ressaltou que já fez uso dos dois sistemas, e que a opção de não realizar comparativo de custos se deve ao fato de sua construtora estar em parceria com uma empresa de vigotas em perfil metálico de formato “U”, onde a treliça é encaixada, assim a concretagem da laje é feita juntamente com a vigota.

Sobre a última pergunta da pesquisa, a escolha da laje relacionada com a altura da edificação, apenas um dos engenheiros mais experientes afirmou este ser um fator que o influencia, de forma que em obras com até dois pavimentos é interessante utilizar a laje treliçada, mas quando existem muitos pavimentos, ou seja, várias repetições, o uso da laje maciça se faz mais vantajoso. Ressaltou ainda, que a parcela de formas não está sendo decisiva pois a ampla reutilização faz dela muito econômica.

Outro fato que não faz parte das perguntas da pesquisa, mas que foi apontado pelos quatro engenheiros mais experientes, foi sobre como a construção civil está se dirigindo para o uso das lajes pretendidas. Segundo eles, cada vez mais este sistema, amplamente vantajoso, está sendo utilizado no mercado, e que futuramente ele deverá ser o mais empregado nas obras, visto

que permite vencer maiores vãos com um número reduzido de vigas e pilares, dando liberdade para o projeto arquitetônico.

As figuras 21, 22 e 23 resumem, em gráficos, os resultados mais expressivos desta pesquisa de opinião.

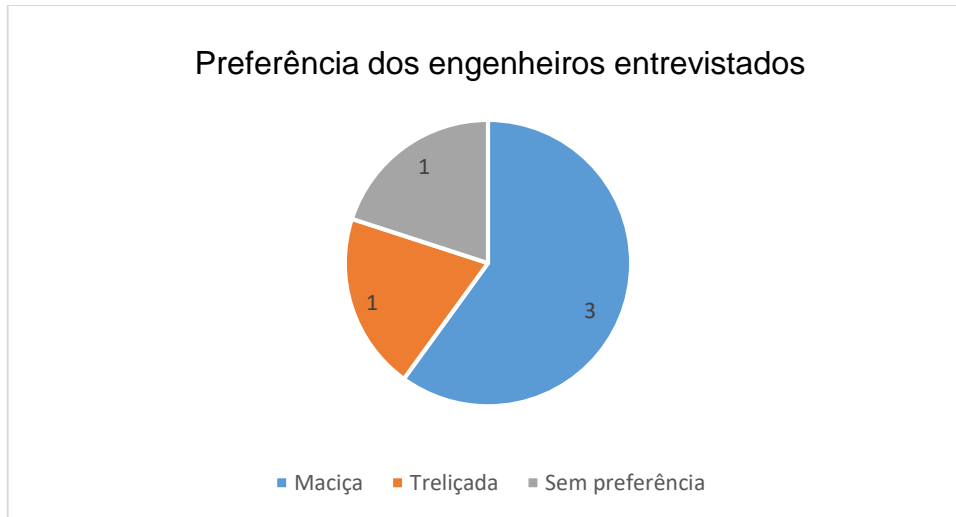


Figura 21: Gráfico - Preferência de sistema de laje
Fonte: Autoria própria, 2017.

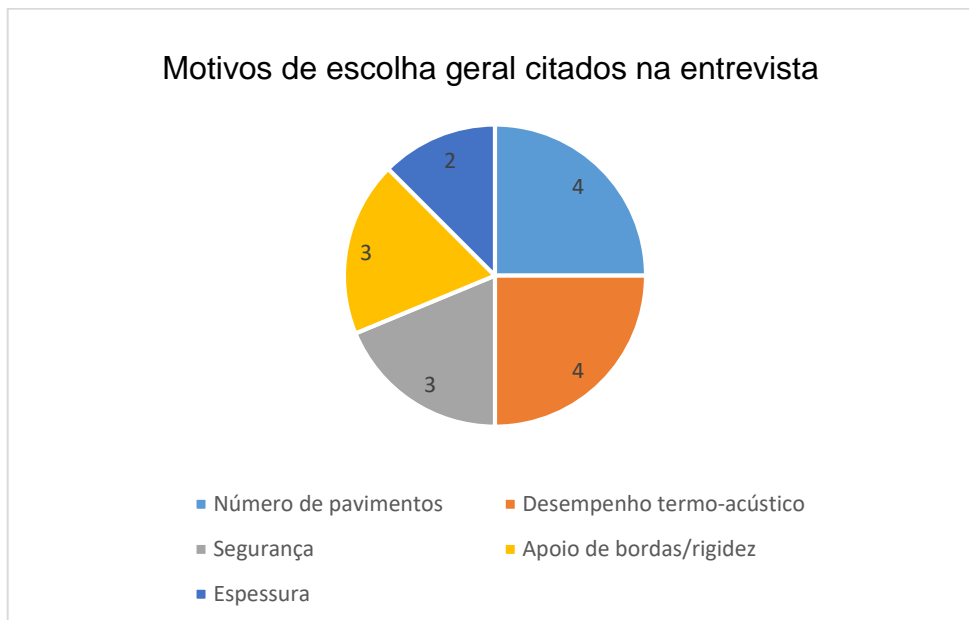


Figura 22: Gráfico - Motivos de escolha dos sistemas de laje
Fonte: Autoria própria, 2017.

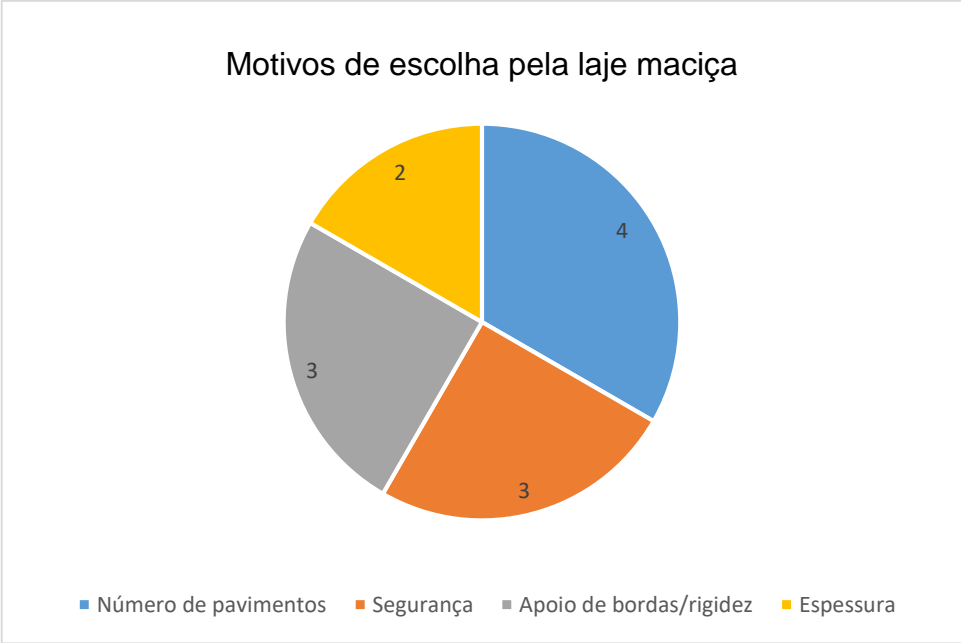


Figura 23: Gráfico - Motivos de escolha pela laje maciça
Fonte: Autoria própria, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lajes maciças de concreto armado e lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas são os sistemas estruturais em maior uso na região sudoeste do Paraná, mas que ainda geram dúvidas no momento de sua escolha, devido à falta de parâmetros ou estudos de comparação. É de conhecimento geral daqueles que trabalham na construção civil que cada tipo de laje possui suas particularidades, tendo custos, tempo de execução e funções estruturais e arquitetônicas distintas. Pelo senso comum, a laje treliçada é mais econômica e mais rápida de se executar que a laje maciça, porém confere menor rigidez global à estrutura da edificação.

Esse estudo se baseou, quase que por completo, nas tabelas orçamentárias fornecidas pelo SINAPI para o Estado do Paraná, e os resultados obtidos através delas conflitaram com o que os profissionais da engenharia civil encontram em sua rotina. Aqui, foi constatado que as lajes treliçadas são mais onerosas que as maciças. Essa contraposição de valores, se deu principalmente quando foram analisados os preços das vigotas treliçadas, que aumentaram consideravelmente o valor total das lajes pré-fabricadas. Talvez, uma pesquisa de mercado em nossa região, possa trazer preços mais compatíveis com o que se encontra em obra, revertendo o quadro de custos.

Outro aspecto que chamou atenção e que merece ser analisado com mais cuidado por cada engenheiro em seus projetos, é o tempo de execução de cada laje. Novamente aqui, os resultados encontrados divergiram do que se esperava. Sabe-se que cada obra tem suas particularidades, e que cada equipe, de cada empresa, tem seu tempo diferente de trabalho, levando mais ou menos tempo para execução de um determinado serviço. A partir do que foi fornecido pelas tabelas do SINAPI, as lajes treliçadas não expuseram o que é, talvez, uma das suas principais vantagens: redução do tempo de execução. Sabendo que os índices utilizados pelo SINAPI provêm de médias de observação dos serviços, é necessário que cada engenheiro saiba das capacidades de sua equipe, para assim, poder ter uma análise mais condizente com sua realidade.

A pesquisa de opinião realizada mostrou que, salvo algumas divergências de respostas, os engenheiros entrevistados tem optado pelo uso de lajes

treliçadas apenas em obras de pequeno vulto, e que quando existem muitas repetições de pavimentos, o investimento em formas de boa qualidade que possibilitam várias reutilizações para as lajes maciças, se torna interessante, a fim de não afetar o orçamento de maneira negativa. Também foi possível notar a direção da construção civil ao uso das lajes pretendidas, que segundo os entrevistados, já se mostra muito interessante nas obras com grande volume, e que futuramente poderá ser utilizado em edificações de menor grandeza, podendo vir a dominar o mercado pelos seus notáveis benefícios.

Ao final deste estudo, fica registrado que a partir do dimensionamento proposto pelo *software* estrutural utilizado, a obra em questão não apresentou diferenças de estabilidade global no uso dos dois tipos de laje, tampouco na variedade de altura de suas simulações. Assim, fica sugerido para trabalhos futuros a análise dos fatores que podem ter influenciado nesta semelhança. E ainda, como a redução do peso das lajes, apresentada aqui, influencia nas seções de vigas e pilares e nas cargas que chegam até a fundação.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 14859 – 1: Laje pré-fabricada – requisitos parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002a.

_____. **NBR 14862: Armaduras treliçadas eletrossoldadas – requisitos**. Rio de Janeiro, 2002b.

_____. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ALBUQUERQUE, Augusto T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios de concreto armado**. 1999. Dissertação – Universidade de São Paulo. Disponível em:

<http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2017.

ARAÚJO, Anderson R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. Dissertação – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo. Disponível em:

<<http://docplayer.com.br/12076620-Estudo-tecnico-comparativo-entre-pavimentos-executados-com-lajes-nervuradas-e-lajes-convencionais.html>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

BASTOS, Paulo S. dos S. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula da disciplina de Estruturas de Concreto I do curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2006a. Disponível em:
<<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

_____. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Notas de aula da disciplina de Sistemas Estruturais I do curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2006b. Disponível em:
<http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BRANDALISE, Guilherme M.; WESSLING, Luan I. **Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Paraná, Brasil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5565/1/PB_COECI_2015_1_13.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2017.

BOCCHI JR., Carlos F.; GIONGO, José S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em:
<http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/EstruturasConcretoll/Giongo_Lajes%20Nervuradas-2007.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CARVALHO, Roberto C.; FIGUEIREDO FILHO, Jasson R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3. ed. São Carlos. Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2007.

CUNHA, Mateus O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. 2012. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em:
<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/.../2012ME_MateusOrtigosaCunha.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

DIAS, Ricardo H. **Análise numérica de pavimentos em edifícios de lajes nervuradas**. 2003. Dissertação – Universidade de São Paulo. Disponível em:
<http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2003ME_RicardoHenriqueDias.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

DROPPA JR., Alonso. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://site.abcic.org.br/pdf/PCD22_DroppaJr.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2017.

EL DEBS, Mounir K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2000.

FARIA, Marcel P. **Estrutura para edifícios em concreto armado: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas**. 2010. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26057/000755698.pdf?...>. Acesso em: 15 mar. 2017.](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26057/000755698.pdf?...)

FLÓRIO, Márcio C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. 2004. Dissertação – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4630/DissMCF.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. 1997. Dissertação – Universidade de São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde.../Dissertacao_Ricardo_GasparOK.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LOPES, André F. de O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/1916973-Estudo-tecnico-comparativo-entre-lajes-macicas-e-nervuradas-com-diferentes-tipos-de-materiais-de-enchimento.html>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MAGALHÃES, Fábio L. **Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada**. 2001. Dissertação – Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-17102001-164837/pt-br.php>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

MEDRANO, Mário L. O.; FIGUEIREDO FILHO, Jasson R.; CARVALHO, Roberto C. **Estudo de pavimentos formados por vigotas pré-moldadas** - Influência de nervuras transversais .2005. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. Disponível em:
<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/155.pdf>.
Acesso em: 04 abr. 2017.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em:
<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>.
>. Acesso em: 15 mai. 2017.

PINHEIRO, Libânio M.; RAZENTE, Julio A. **Estruturas de Concreto**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003. Disponível em:
<<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/17%20Lajes%20nervuradas.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

SANTOS, Roberto E. dos. **A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído**. Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação. Universidade Católica de Goiânia, 2006. Disponível em:
<http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05_biblioteca/acervo/santos_cultura/santos_cultura.htm>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. 2005. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. Disponível em:
<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>.
Acesso em: 20 mar. 2017.

SILVA, Bernard R. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 2012. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em:
<http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2013-08-22T093756Z-4550/Publico/SILVA,%20BERNARD%20RIGAO%20DA.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SILVA, Marcos A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. Dissertação – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. Disponível em:
<<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Projeto%20Lajes%20Nervuradas.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). 2017. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655>. Acesso em: 12 jul. 2017.

SPOHR, Valdi H. **Análise comparativa** - Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas .2008. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2008-09-02T112928Z-1707/Publico/VALDIHENRIQUESPOHR.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

TCPO, Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos. 13ª edição. São Paulo: Pini, 2010.

VASCONCELOS, Anilton C. **O concreto no Brasil**: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.