

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO
UNICERP
Graduação em Engenharia Civil

DARDIELE MENDES SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA ENTRE LAJE
MACIÇA E LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA UNIDIRECIONAL**

PATROCÍNIO - MG
2018

DARDIELE MENDES SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA ENTRE LAJE
MACIÇA E LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA UNIDIRECIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Universitário do Cerrado Patrocínio
– UNICERP, como requisito para elaboração
do trabalho de conclusão de curso.

Orientador: Prof. Esp. Marcelo de Oliveira

PATROCÍNIO

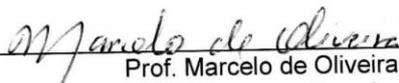
2018

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

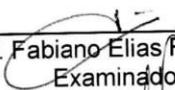
Aos 6 dias do mês de julho de 2018, às 20:00 horas, em sessão pública na sala 701-06 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Marcelo de Oliveira e composta pelos examinadores:

1. Prof. Fabiano Elias Reis Abrahão
2. Prof. Me. Alexander Souza Grama,

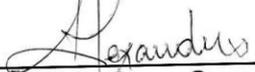
a aluna Dardiele Mendes Santos apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Estudo comparativo de viabilidade técnico-econômica entre laje maciça e laje pré-moldada treliçada unidirecional como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: O Avaliador 01 decidiu pela aprovação e o Avaliador 02 decidiu pela aprovação, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela aprovação do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.



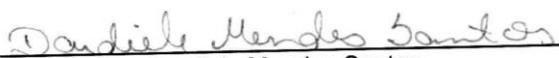
Prof. Marcelo de Oliveira
Presidente da Banca Examinadora



Prof. Fabiano Elias Reis Abrahão
Examinador 01



Prof. Me. Alexander Souza Grama
Examinador 02



Dardiele Mendes Santos
Aluna

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus que permitiu que tudo acontecesse da melhor maneira possível e ter me dado força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio em todo momento da minha vida.

Ao meu marido, que me apoiou em todos os momentos e me deu força para vencer mais essa etapa da minha vida.

Aos meus amados irmãos, sobrinhos que entenderam a minha ausência, acompanharam a minha dedicação e torceram por mim.

Aos meus colegas de classe, que me trouxeram alegria nos momentos de tristeza.

À instituição UNICERP, coordenador e aos professores por me proporcionar conhecimento.

Ao Alexander e ao Tiago que me deram oportunidade de conhecimento por meio do estágio.

Enfim, agradeço a todos que de um modo ou de outro fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Os principais parâmetros utilizados para indicar a viabilidade de determinado processo é seu desempenho técnico e econômico. Este trabalho, propõe um estudo comparativo entre concepções estruturais distintas de lajes: lajes maciças tradicionais e lajes pré-moldadas compostas por vigotas treliçadas unidirecionais. Apresenta, além da revisão bibliográfica, abordando as características construtivas de cada sistema estrutural, as principais prescrições normativas relacionadas ao projeto e execução das mesmas. Para um mesmo painel de lajes padrão adotado para cálculo, foi realizado o dimensionamento para ambos os sistemas estruturais com auxílio do Software computacional Eberick, extraindo os quantitativos de materiais necessários. A seguir realiza-se a composição embasando no TCPO 13 (Tabela de Composição de Preços para orçamentos – 13ª edição) e o custo de insumos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Com os resultados obtidos verificou-se uma diferença percentual de 16,57% a mais do custo total da laje maciça em relação à laje pré-moldada, evidenciando a usualidade desta última em casas populares, em caso de não reutilização da forma.

Palavras-chave: Concepção estrutural. Lajes. Custo-benefício.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lajes maciças em duas etapas distintas.	12
Figura 2: Formas para laje maciça sendo confeccionada.....	13
Figura 3: Laje maciça pronta para receber a concretagem.....	13
Figura 4: Escoramento e montagem das vigotas treliçadas para laje com lajotas cerâmicas..	16
Figura 5: Vigotas e lajotas devidamente escoradas.....	17
Figura 6: Planta baixa arquitetônica proposta.....	22
Figura 7: Croqui da planta de forma	23
Figura 8: Modelo tridimensional da estrutura processada.....	24
Figura 9: Detalhamento estrutural da laje maciça	25
Figura 10: Detalhamento da laje pré-moldada	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo quantitativo de concreto, aço e forma em ambas as lajes	24
Tabela 2: Dados das vigotas pre-moldadas	26
Tabela 3: Preços e composições para a laje maciça	27
Tabela 4: Preços e composições para a laje pré-moldada	28
Tabela 5: Comparativo de custo total.....	29

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamento

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

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo geral	11
1.2 Objetivo específico	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. Principais conceitos	11
2.2 Lajes maciças	12
2.2.1 Vantagens e desvantagens da laje maciça	14
2.3 Lajes pré-moldadas	15
2.3.1 Vantagens e desvantagens da laje pré-moldada	18
3. DESENVOLVIMENTO.....	20
3.1 INTRODUÇÃO	20
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.4. CONCLUSÕES	29
3.5. REFERÊNCIAS.....	30
4. CONCLUSÃO.....	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
6. REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O sistema estrutural de concreto armado é constituído, em regra, por pilares, vigas e lajes, sendo este último elemento estrutural, o que apresenta maior possibilidades de concepção estrutural, sendo então o tema abordado neste trabalho.

Correa, 1991 disserta que a escolha do sistema estrutural a ser utilizado pode compreender uma tarefa bastante complexa, pois envolve aspectos interdependentes entre si, onde destaca-se as ações atuantes e natureza dos carregamentos, finalidade do edifício, materiais a serem utilizados, entre outros.

A constante busca por melhorias e aprimoramento das diversas áreas do mercado desencadeou o surgimento de novas tecnologias, logo, no campo da construção civil não foi diferente. A demanda por produtividade aliada à economia, originou o sistema construtivo com uso de elementos de concreto pré-fabricados, que tem como característica a melhor gestão da obra, facilidades de execução, otimização da mão de obra e conseqüente economia.

Gaspar, 1997 afirma que com a existência do pré-moldado, reduz em até 40% a mão de obra no canteiro, o que permite uma maior praticidade e rapidez na obra, contribuindo para o aumento na qualidade da execução e diminuindo o desperdício.

Cabe destacar que o tema deste estudo foi escolhido pela sua relevância prática na construção civil, onde comumente surgem questionamentos em relação a viabilidade da aplicação de determinada concepção estrutural, tanto em aspectos técnicos como econômicos. Desse modo, este trabalho visa servir como um parâmetro comparativo, uma vez que somente a economia não é fator determinante para escolha do sistema estrutural.

A laje maciça e a laje composta por vigotas treliçadas unidirecionais cumprem funções muito semelhantes. É necessário então, observar as particularidades de cada edificação, a disponibilidade de mão de obra e as possíveis imposições arquitetônicas, a fim de decidir qual modelo estrutural atenderá satisfatoriamente as finalidades da edificação.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver comparativo de custos e analisar a viabilidade técnico-econômica entre a utilização de laje treliçada pré-moldada e o sistema estrutural de laje maciça.

1.2 Objetivo específico

A partir de uma mesma concepção estrutural de uma residência unifamiliar popular extraída do caderno da Caixa Econômica Federal (2017), com área total de 43,80 m², será calculado o quantitativo de materiais referentes à estrutura para ambos os sistemas estruturais, com base no dimensionamento realizado com auxílio do Software computacional Eberick. Logo, será realizado o comparativo de custos segundo o TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos) 13ª edição e o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Principais conceitos

Figueiredo, 1989 conceitua a laje como uma placa, composta por concreto armado ou protendido, com folhas planas sujeitas principalmente a ações normais ao seu plano.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118:2014 (ABNT NBR 6118:2014) laje é a denominação atribuída às placas de concreto que possuem superfície plana, que se sujeitam as ações normais de seu plano.

As lajes podem ser caracterizadas de acordo com o esquema de cálculo, composição e forma e ainda o tipo de apoio, variando assim sua classificação. Como o intuito do trabalho não visa detalhar o processo de dimensionamento, tais classificações não serão abordadas.

2.2 Lajes maciças

A laje maciça é composta por concreto e armadura de aço longitudinal que são dispostas a fim de resistir aos esforços de tração provenientes da flexão, e para a situação de lajes armadas em uma direção, armadura secundária. Para sua execução é necessário o uso de fôrmas e escoras, podendo ser de madeira ou metálica. Essas escoras atuam como apoio até que o concreto esteja curado e atinja a sua resistência final de dimensionamento. Na figura (1), vemos uma laje maciça já concretada e outra faixa da laje por concretar.



Figura 1: Lajes maciças em duas etapas distintas.

Fonte: acervo do autor.

A execução da laje maciça requer determinada atenção e deve ser respeitada as prescrições dispostas na ABNT NBR 6118:2014. Brandalise e Wessling 2015, classificam as etapas da execução da seguinte maneira:

A primeira etapa compreende a confecção da forma de madeira e escoras, que deve ser adequada a necessidade da obra. Posteriormente é necessária a colocação das armaduras de acordo com o projeto estrutural, seguida da instalação de caixas, tubos e eletrodutos. Em seguida é preciso preparar e lançar o concreto, para subsequente adensamento e cura do mesmo.

Por fim retira-se as formas e escoras. Na figura (2), apresenta-se o início da montagem da forma para a laje maciça.



Figura 2: Formas para laje maciça sendo confeccionada
Fonte: acervo do autor.

Importante mencionar que as caixas de passagem e eletrodutos referentes a instalação elétrica, devem ser posicionados observando o projeto elétrico e hidrossanitário, para evitar futuras complicações, sendo necessário utilizar esperas de isopor de modo a atender as necessidades tanto hidráulicas quanto elétricas. Também podem ser utilizados tubos para demarcar o lugar onde será disposto o encanamento ou fiação podendo ser retirados posteriormente e substituídos pelos meios corretos.

Na figura (3) é apresentada laje pronta para concretagem, com a armadura e os eletrodutos já posicionados.



Figura 3: Laje maciça pronta para receber a concretagem
Fonte: acervo do autor.

Na fase de lançamento de concreto, onde usualmente é utilizado concreto usinado, fornecido por empresas especializadas, o mesmo deve estar de acordo com o previsto na ABNT NBR 14931:2004. No item 9.1.2.1 da norma citada, destaca que todas as considerações requeridas devem ser seguidas pelo projeto, portanto o concreto deve atingir a resistência característica, slump e módulo de elasticidade adequados, considerando-se ainda as condições de lançamento, adensamento e cura do concreto, para se obter a durabilidade da estrutura.

Quanto à cura do concreto, o item 10.1 da ABNT NBR 14931:2004, preconiza que enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório, deve ser protegido prevenindo a ocorrência e aparição de agentes químicos, ventos, mudanças repentinas na temperatura, devendo ser assegurada a resistência da superfície evitando à superveniência de fissuras e garantindo a aderência do concreto as barras de armadura.

Já na fase de finalização quando ocorre a retirada das fôrmas e escoramentos, é estabelecido, de acordo com o item 10.2.2 da ABNT NBR 14931:2004, que apenas pode ocorrer a retirada das fôrmas e escoramentos quando o concreto atingir sua resistência máxima à compressão, ou seja, quando este tiver a capacidade de suportar a carga imposta pela estrutura num todo, segundo a ABNT NBR 6118:2014, aos 28 dias. Evitando assim que ocorra deformações ou ainda excesso de carga que não está de acordo com o projeto.

Importante destacar o previsto no item 10.2.3 da ABNT NBR 14931:2004, que prevê que a fôrmas e escoramentos não podem ser retirados de qualquer forma, uma vez que não pode ocorrer choques nem movimentos bruscos que podem causar deformação a estrutura, para tanto deve-se obedecer ao plano de desforma que é previamente elaborado de acordo com o projeto

2.2.1 Vantagens e desvantagens da laje maciça

Lopes 2012, lista as principais vantagens da laje maciça da seguinte maneira:

- Oferece funções de placa e membrana (chapa);
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);
- A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;

Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.

Lopes 2012, também apresenta para a laje maciça as seguintes desvantagens:

- Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
- Elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
- Custo relativamente elevado;
- Devido aos limites impostos, apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a forma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção;
- Tempo muito elevado para execução das fôrmas e da desforma.

2.3 Lajes pré-moldadas

Chave 1979, as lajes pré-moldadas são constituídas por vigas pré-fabricadas de concreto armado, que são espaçadas entre si por material inerte, ou seja, que não apresenta função estrutural: usualmente utiliza-se EPS (poliestireno expandido) ou cerâmica. E são solidarizadas entre si por uma capa de concreto moldada no local.

De acordo com a ABNT NBR 14859-1:2016, no item 3.1, as lajes pré-fabricadas podem ser compreendidas como elementos estruturais constituídos por concreto estrutural, executadas industrialmente ou no próprio canteiro de obra, mas fora do local definitivo de utilização, sob rigorosas condições de controle de qualidade.

Parcialmente ou totalmente envolvida pelo concreto estrutural encontra-se a armadura que irá constituir a armadura inferior de tração da laje, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal. Na figura (4) estão as vigotas treliçadas sendo colocadas espaçadas com lajotas cerâmicas.



Figura 4: Escoramento e montagem das vigotas treliçadas para laje com lajotas cerâmicas

Fonte: acervo do autor.

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho 2005, as instalações elétricas podem ser embutidas na capa de concreto, apoiadas sobre os elementos de enchimento, e no caso de se utilizar nervuras treliçadas podem passar por entre os banzos da treliça. Para instalações hidrossanitárias não é recomendável que sejam embutidas, pois, como a laje é um elemento deformável, pode provocar a ruptura da tubulação prejudicando o uso.

Com relação às fôrmas e escoramentos, Carvalho e Figueiredo Filho 2005, comentam que os elementos pré-moldados têm a capacidade além de suportar seu próprio peso, suportar os elementos de enchimento, o concreto da capa e uma pequena carga acidental durante as fases de montagem e concretagem. Na figura (5) se vê a parte de baixo de uma laje de pré-moldada já com o vão entre as vigotas totalmente preenchidas pelas lajotas cerâmicas.

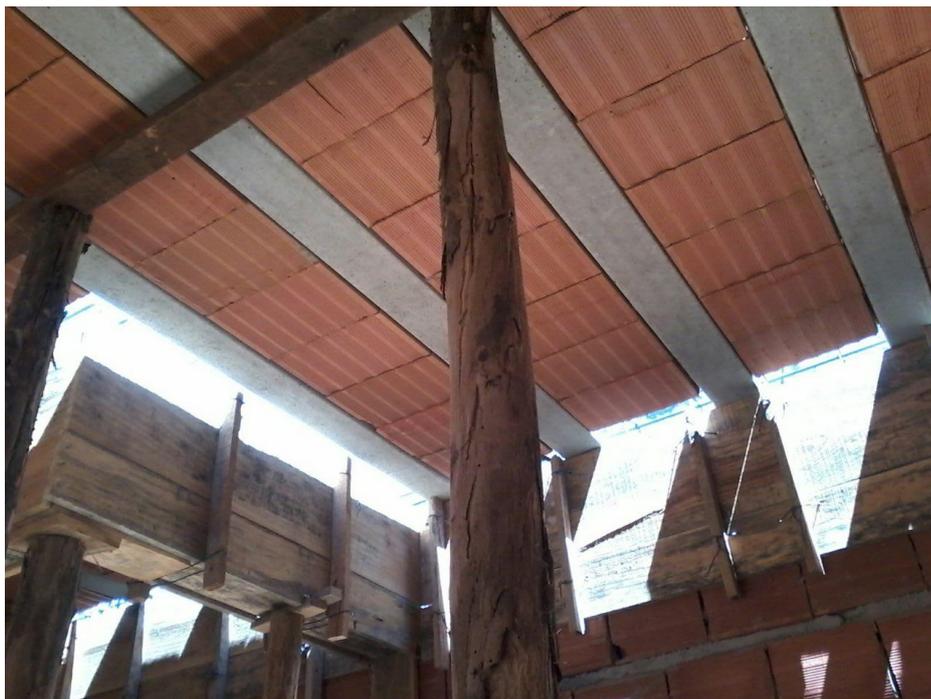


Figura 5: Vigotas e lajotas devidamente escoradas

Fonte: acervo do autor.

A execução das lajes pré-fabricadas treliçadas segue as prescrições da ABNT NBR 14931:2004 de execução de estruturas de concreto igualmente as de laje maciça simples e, da ABNT NBR 9062:1985 de execução de pré-moldados. As etapas de execução são divididas da seguinte maneira: fabricação das vigotas, armazenamento e transporte, instalação e escoramento das vigotas, preenchimento, instalação das guias de acabamento, instalação das esperas, lançamento do concreto e cura do concreto.

As vigotas podem ser produzidas no local da obra onde serão instaladas posteriormente, mas comumente são produzidas em indústrias e empresas especializadas em pré-moldado. A produção se dá com a colocação das treliças dentro de fôrmas metálicas preparadas com desmoldante, com altura e largura requisitada em projeto, tanto da treliça quanto das especificações do fornecedor da treliça, para altura de capa e da concretagem do banzo inferior.

As vigotas após atingirem a resistência mínima para a desforma são retiradas da forma e armazenadas. Após a cura, as vigotas podem ser transportadas para serem armazenadas no local da obra, ou serem instaladas. A etapa de instalação e escoramento das vigotas consiste em dispor as vigotas nos vãos com suas dimensões pré-determinadas em projeto.

Com as vigotas já dispostas de acordo com a largura do preenchimento desejado, são distribuídas as peças de cerâmica (lajotas) ou EPS, de maneira que os vãos entre vigotas sejam fechados para permitir a concretagem. A instalação das guias depende apenas das etapas anteriores ao preenchimento, podendo ser instalada já no início da distribuição das lajotas, ou EPS, porém sua funcionalidade apenas se dá no momento da concretagem.

A instalação das esperas para rede elétrica, esgoto e hidráulica do edifício é realizada antes da concretagem, por ser mais simples, podendo apenas remover o elemento de enchimento onde for necessário, passar os eletrodutos no interior das lajotas, deixar canos de espera amarrados a malha utilizada para controle de fissuração, ou treliças, executando o recorte nos mesmos para passagem.

Ao concluir as etapas anteriores asperge água sobre todas as lajotas cerâmicas afim de saturá-las para não haver a perda de água do concreto para os materiais inertes e se dá a concretagem sobre vigotas, tornando todo o conjunto em uma estrutura única e rígida.

Após concluir todas as etapas é necessária a cura correta do concreto, para garantir a resistência final exigida em projeto, molhando a laje durante os 7 dias posteriores ao lançamento, evitando assim trincas e fissuras na laje devido à falta de água para a reação da água com o cimento utilizado no concreto.

A remoção das escoras na laje treliçada ocorre igualmente a da laje maciça, seguindo as mesmas normas, exigindo que seja realizada somente após o concreto ter adquirido resistência suficiente para suportar a carga imposta ao elemento estrutural, para que não ocorra deformações que excedam as tolerâncias especificadas no projeto e resista aos danos para a superfície durante a remoção, de acordo com os aspectos estabelecidos na ABNT NBR 14931:2004.

2.3.1 Vantagens e desvantagens da laje pré-moldada

De acordo com Brumatti 2008, as lajes pré-moldadas treliçadas apresenta como principal vantagem, a economia de concreto, por ser um tipo particular de laje nervurada, devido a utilização de elemento de enchimento na seção tracionada da laje, possui boa capacidade portante no momento de montagem da laje, onde as próprias vigotas e elementos de enchimento representam a forma da laje, conseqüentemente reduzindo tempo e aumentando produtividade.

O mesmo autor destaca também as desvantagens, tendo como limitação principal, vencer grandes vãos, devido ao seu comportamento estrutural ser usualmente considerado como elemento isolado, e em função disso sofrer maior fissuração e deformação. Desse modo, via de regra, não é recomendada para edifícios multipavimentos que apresentam cargas concentradas, como por exemplo cargas de parede, e também por não realizar função de contraventamento.

3. DESENVOLVIMENTO

ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA ENTRE LAJE MACIÇA E LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA UNIDIRECIONAL.

DARDIELE MENDES SANTOS¹
PROF.ESP. MARCELO DE OLIVEIRA²

RESUMO

Os principais parâmetros utilizados para indicar a viabilidade de determinado processo é seu desempenho técnico e econômico. Este trabalho, propõe um estudo comparativo entre concepções estruturais distintas de lajes: lajes maciças tradicionais e lajes pré-moldadas compostas por vigotas treliçadas unidirecionais. Apresenta, além da revisão bibliográfica, abordando as características construtivas de cada sistema estrutural, as principais prescrições normativas relacionadas ao projeto e execução das mesmas. Para um mesmo painel de lajes padrão adotado para cálculo, foi realizado o dimensionamento para ambos os sistemas estruturais com auxílio do Software computacional Eberick, extraindo os quantitativos de materiais necessários. A seguir realiza-se a composição embasando no TCPO 13 (Tabela de Composição de Preços para orçamentos – 13ª edição) e o custo de insumos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Com os resultados obtidos verificou-se uma diferença percentual de 16,57% a mais do custo total da laje maciça em relação à laje pré-moldada, evidenciando a usualidade desta última em casas populares, em caso de não reutilização da forma.

Palavras-chave: **Concepção estrutural. Lajes. Custo-benefício.**

1 Discente do curso de Engenharia Civil do Unicerp.

2 Professor orientador e docente do Curso de Engenharia Civil do UNICERP.

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema estrutural de concreto armado é constituído, em regra, por pilares, vigas e lajes, sendo este último elemento estrutural, o que apresenta maior possibilidades de concepção estrutural, sendo então o tema abordado neste trabalho.

Correa, 1991 disserta que a escolha do sistema estrutural a ser utilizado pode compreender uma tarefa bastante complexa, pois envolve aspectos interdependentes entre si, onde destaca-se a as ações atuantes e natureza dos carregamentos, finalidade do edifício, materiais a serem utilizados, entre outros.

A constante busca por melhorias e aprimoramento das diversas áreas do mercado desencadeou o surgimento de novas tecnologias, logo, no campo da construção civil não foi diferente. A demanda por produtividade aliada à economia, originou o sistema construtivo com uso de elementos de concreto pré-fabricados, que tem como característica a melhor gestão da obra, facilidades de execução, otimização da mão de obra e consequente economia.

Gaspar, 1997 afirma que com a existência do pré-moldado, reduz em até 40% a mão de obra no canteiro, o que permite uma maior praticidade e rapidez na obra, contribuindo para o aumento na qualidade da execução e diminuindo o desperdício.

Cabe destacar que o tema deste estudo foi escolhido pela sua relevância prática na construção civil, onde comumente surgem questionamentos em relação a viabilidade da aplicação de determinada concepção estrutural, tanto em aspectos técnicos como econômicos. Desse modo, este trabalho visa servir como um parâmetro comparativo, uma vez que somente a economia não é fator determinante para escolha do sistema estrutural.

A laje maciça e a laje composta por vigotas treliçadas unidirecionais cumprem funções muito semelhantes. É necessário então observar as particularidades de cada edificação, a disponibilidade de mão de obra e as possíveis imposições arquitetônicas, a fim de decidir qual modelo estrutural atenderá satisfatoriamente as finalidades da edificação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para análise dos custos, a figura abaixo apresenta o projeto arquitetônico da residência popular proposta para este trabalho, constituído por dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro social, resultando numa área total de 43,80 m².

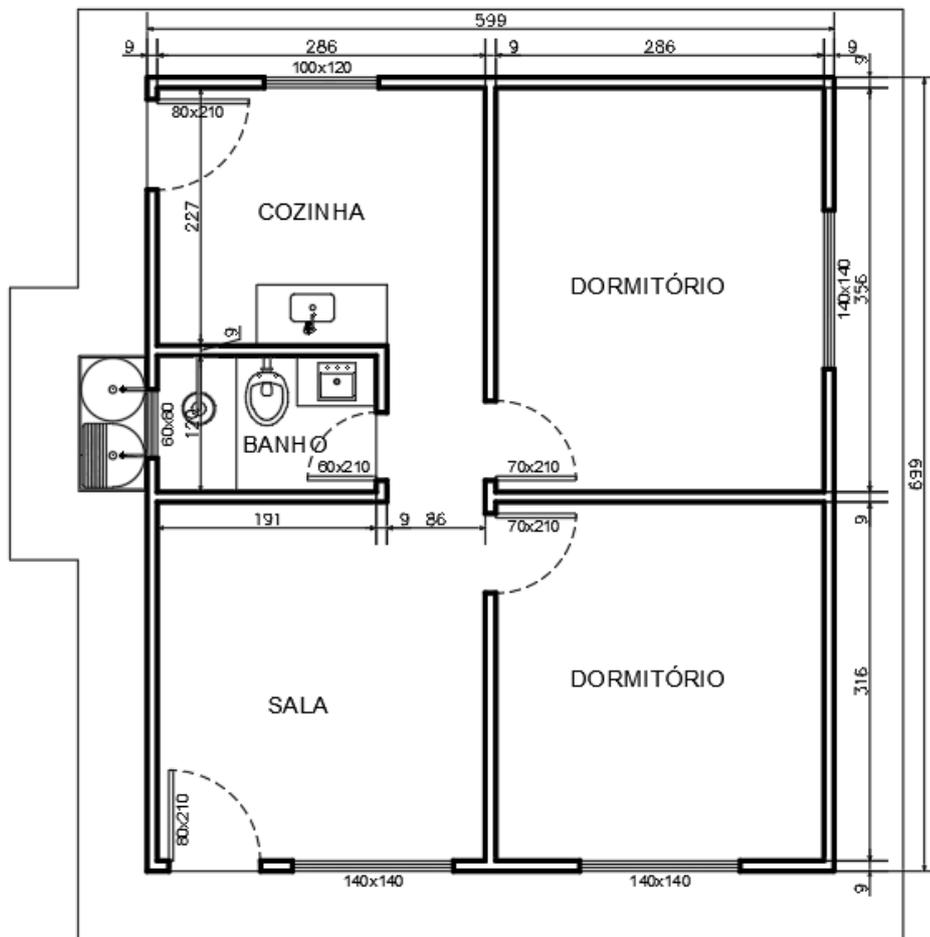


Figura 6: Planta baixa arquitetônica proposta

Fonte: 2017, Caixa - Adaptado pelo autor.

A partir da análise do projeto arquitetônico é proposta a concepção estrutural apresentada abaixo, na figura (7), do croqui da planta de forma extraído do Eberick após o lançamento das vigas e pilares.

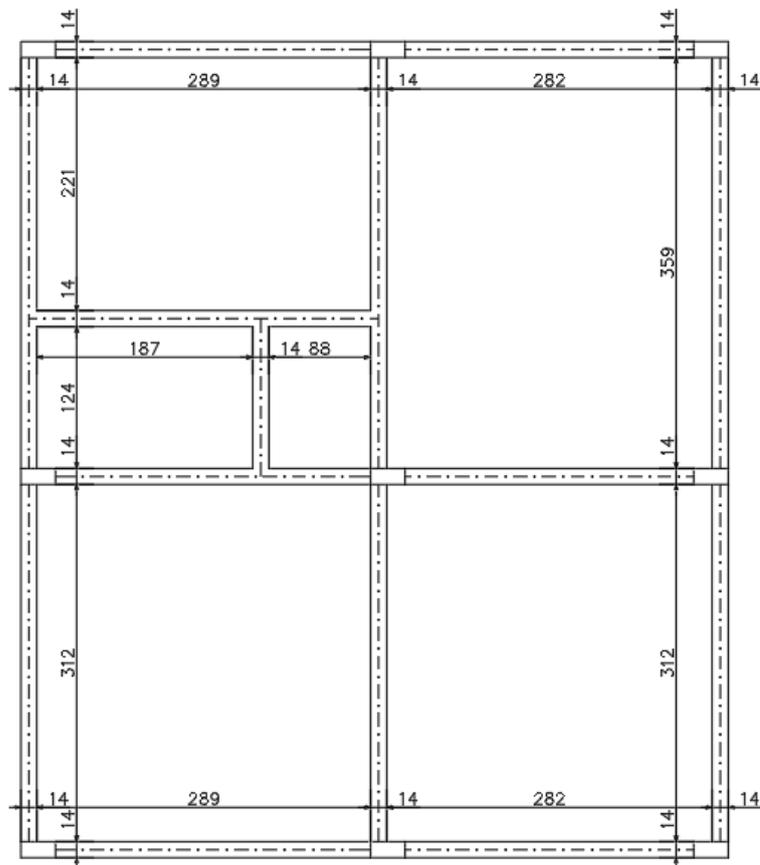


Figura 7: Croqui da planta de forma

Fonte: Adaptado pelo autor.

O modelo estrutural foi então processado no Software AltoQI Eberick, com as seguintes características de entrada:

- Altura do pavimento: 3,00 metros
- Resistência característica do concreto à compressão: 25 MPa.
- Sem aplicação de ventos (por apresentar apenas um pavimento, optou-se por desconsiderar)
- Carga de paredes nas vigas baldrame: 675 kgf/m
- Sobrecarga acidental (forro sem acesso a pessoas - NBR6120/1980): 50 kgf/m²
- Carga permanente na cobertura (considerado 2,5 cm de argamassa de cimento, cal e areia): 50 kgf/m²
- Carregamento do telhado na laje: 120 kgf/m²
- Carregamento da caixa de água na laje L3: 520 kgf/m²
- Espessura da laje maciça: 8 cm

- Espessura da laje pré-moldada: 13 cm (Enchimento de 8 cm e capa de 5 cm)
- Material de enchimento da laje pré-moldada: EPS
- Entre eixos das vigotas da laje pré-moldada: 37 cm.

Como resultados obtiveram os seguintes valores, expressos na tabela (1):

Tabela 1: Comparativo quantitativo de concreto, aço e forma em ambas as lajes

	Elemento estrutural	Laje maciça	Laje pré-moldada
Quantidade de concreto (m ³)	Pilar	1.20	1.20
	Viga	3.70	3.80
	Laje	3.00	2.30
Quantidade de aço (kg)	Pilar	135.3	136.1
	Viga	189.3	189.8
	Laje	85.6	47.3
Quantidade de forma	Pilar	26.1	26.20
	Viga	65.80	65.80
	Laje	37.90	0.00

Fonte: Acervo do autor.

Pelo comparativo podemos observar que por apresentar vãos relativamente pequenos a quantidade de concreto, aço e formas nas vigas e pilares são praticamente os mesmos, sendo notada uma diferença substancial tão somente nos quantitativos da laje.

A figura (8) apresenta o modelo dimensionado no Eberick, pode-se analisar que como a fundação não foi a proposta desse trabalho a mesma não foi otimizada, embora tenha sido calculada automaticamente pelo software.

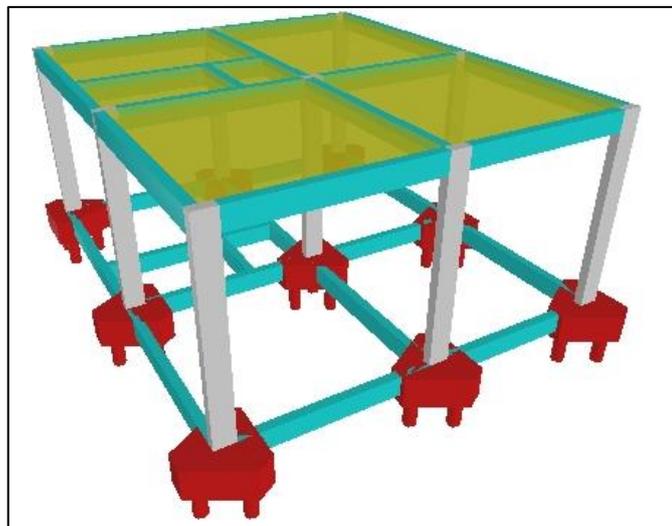


Figura 8: Modelo tridimensional da estrutura processada

Fonte: Acervo do autor.

A figura (9) apresenta o detalhamento estrutural da laje maciça, sendo importante ressaltar o método de cálculo adotado pelo Eberick para dimensionamento de laje maciça é a analogia de grelhas. Observa-se que o resultado foi somente de armaduras positivas, devido a rotulação, desconsiderando a continuidade das mesmas.

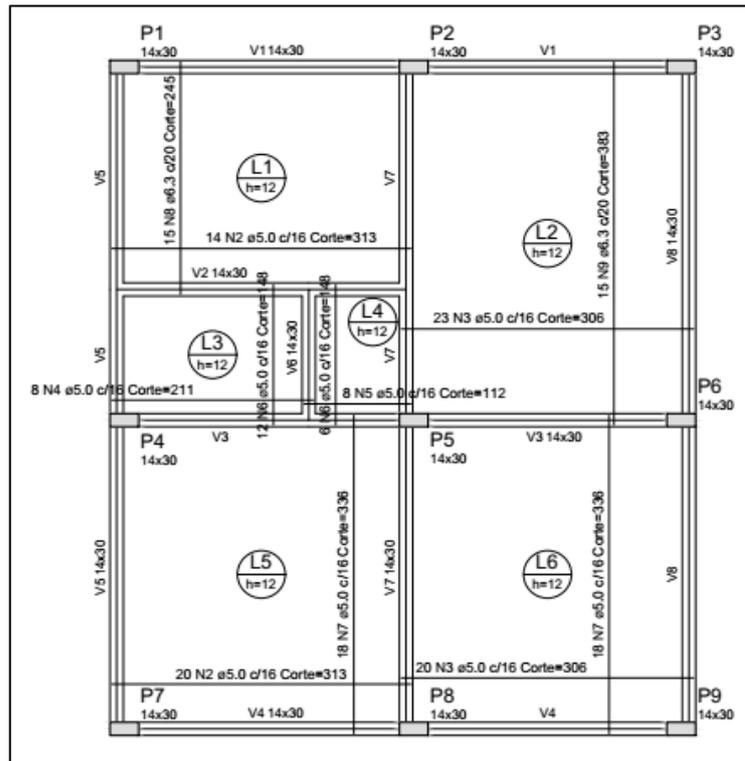


Figura 9: Detalhamento estrutural da laje maciça

Fonte: Acervo do autor.

Na figura (10) pode-se observar a forma da laje do tipo pré-moldada. Observa-se nessa figura que foi preservada a ideia de concepção estrutural adotada na laje maciça para restringir as diferenças ao máximo ao tipo da laje.

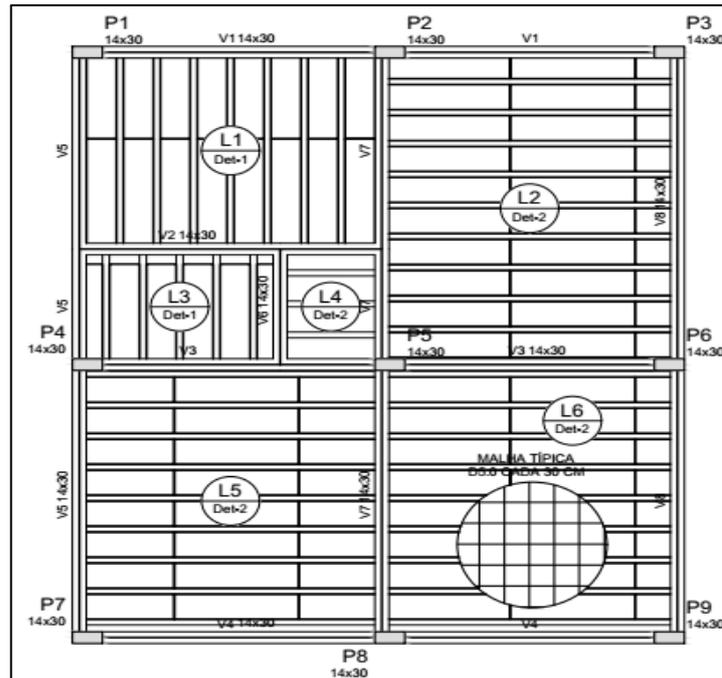


Figura 10: Detalhamento da laje pré-moldada

Fonte: Acervo do autor.

Na tabela (2) pode-se observar a ferragem adicional que deverá ser posicionada em cada vigota da laje, bem como características geométricas da laje e os principais parâmetros do cálculo das armaduras.

Tabela 2: Dados das vigotas pré-moldadas.

Laje	Altura do enchimento (m)	Altura da capa (m)	Carregamento (kgf)	Vão	Momento fletor (tf.m)	Área de aço (cm ²)	Tipo de aço	Armadura adicional
L1	0,08	0,05	384	2,35	0,265	0,67	CA-60	2 D 5.0
L2	0,08	0,05	384	2,96	0,421	1,29	CA-50	2 D 8.0
L3	0,08	0,05	904	1,38	0,216	0,54	CA-60	2 D 4.2
L4	0,08	0,05	384	1,02	0,050	0,13	CA-60	
L5	0,08	0,05	384	3,03	0,441	1,36	CA-50	2 D 8.0
L6	0,08	0,05	384	2,96	0,421	1,29	CA-50	2 D 8.0

Fonte: Acervo do autor.

A determinação dos custos das lajes foi realizada da seguinte forma: os dados relativos a consumo por unidade de medida unitária (h, m², m, kg, etc) foram extraídos das composições do TCPO 13 e os valores de insumos retirados do SINAPI. Usou-se como referência o estado de Minas Gerais e o mês de setembro de 2017. Na tabela (3) estão anotadas as composições para a edificação em laje maciça bem como os custos correntes no mercado de cada insumo.

Tabela 3: Preços e composições para a laje maciça

Forma feita em obra para lajes, com chapa compensada plastificada, e=12mm - unidade: m ²					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor (R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,406	11,77	17,75	208,92
Carpinteiro	h	1,624	15,70	70,99	1114,54
Chapa compensada plastificada (espessura: 12mm)	m ²	1,25	18,59	54,64	1015,76
Pontaletes 3" x 3"	m	2,6	8,51	113,65	967,16
Tábua 1" x 8"	m	1,3	9,86	56,83	560,34
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,02	5,60	0,88	4,93
Prego 15x15 com cabeça	kg	0,05	8,82	2,19	19,32
Escoramento metálico para vigas de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade: m ² (para lajes maciças)					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor (R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,66	11,77	28,85	339,56
	loc/u				
	m/m				
Escora metálica	ês	2,77	5,49	121	664,29
Armadura de aço para lajes, CA-50, corte e dobra na obra - unidade: kg					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor (R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Ajudante de armador	h	0,051	11,77	4,37	51,38
Armador	h	0,051	15,70	4,37	68,54
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	um	11,4	0,23	975,84	224,44
Barra de aço CA-50	kg	1,1	3,16	94,16	297,55
Arame recozido n. 18	kg	0,02	7,67	1,71	13,13
Concreto estrutural virado em obra, controle "A", consistência para vibração, brita 1 - unidade: m ³					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor (R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Servente	h	6	10,25	18,00	184,50
Areia lavada do tipo média	m ³	0,828	60	2,48	149,04
Pedra britada 1	m ³	0,836	51,6	2,51	129,41
Cimento Portland CP-II-E-32	kg	367	0,34	1101,00	374,34
Betoneira elétrica, potência de 2 HP, capacidade para 400 litros.	h proc	0,306	48,32	0,918	44,36

Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura - unidade: m ³					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor (R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Pedreiro	h	1,65	15,7	4,95	77,72
Servente	h	4,50	10,25	13,5	138,38
Vibrador de imersão elétrico, potência de 1 HP	h proc	0,2	48,32	0,6	28,99

Fontes: TCPO 13, SINAPI - MG Set/2017, adaptado pelo autor.

De modo semelhante, os resultados encontrados para a laje do tipo treliçada estão descritos na tabela (4).

Tabela 4: Preços e composições para a laje pré-moldada

Escoramento metálico para vigas de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m - unidade: m ² (para lajes pré-moldadas)					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor(R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Ajudante de carpinteiro	h	0,2	11,77	8,74	102,87
	loc/u				
	m/mê				
Escora metálica	s	0,85	5,49	37	203,13
Pontaletes 3" x 3"	m	1,1	8,51	48,08	409,16

Laje Pré-fabricada comum para piso ou cobertura, intereixo 38 cm (capeamento 4 cm) - unidade: m ²					
Componentes	Unid.	Consumos	Valor(R\$)	Quantidade	Valor final (R\$)
Carpinteiro	h	0,73	15,70	31,91	500,99
Armador	h	0,15	15,70	6,56	102,99
Pedreiro	h	0,44	15,70	19,23	301,91
Servente	h	1,88	10,25	82,18	842,35
Areia lavada do tipo média	m ³	0,0489	60,00	2,14	128,40
Pedra britada n. 1	m ³	0,0111	51,60	0,49	25,28
Pedra britada n. 2	m ³	0,0332	51,60	1,45	74,82
Cimento portland CP-II-E-32	kg	15	0,34	656,00	223,04
Barra de aço CA-50	kg	1,89	3,16	82,62	261,08
Laje pré-fabricada convencional para cobertura	m ²	1	28,30	43,71	1236,99
Prego 18x27	kg	0,03	7,83	1,32	10,34
Pontaletes de 3"	m	1,71	8,51	74,74	636,04
Sarrafo 1" x 4"	m	0,97	6,60	42,40	279,84
Tábua 1" x 12"	m	0,56	14,79	24,48	362,06
Betoneira elétrica, potência 2 HP, capacidade 400 L.	h proc	0,0123	48,32	0,54	25,98

Fontes: TCPO 13, SINAPI - MG Set/2017, adaptado pelo autor.

Para encontrar o resultado total somou-se o custo de cada etapa de cada laje. Desse resultado parcial, montou-se a tabela (5), que apresenta também o resultado final: o somatório de todas as etapas para cada uma das lajes.

Tabela 5: Comparativo de custo total

	Laje maciça		Laje pré-moldada	
Formas	R\$	3.890,97	R\$	-
Escoramento	R\$	1.003,85	R\$	715,16
Armadura	R\$	655,04	R\$	-
Concreto	R\$	881,65	R\$	-
Transporte / Lançamento	R\$	245,08	R\$	-
Laje pré-moldada	R\$	-	R\$	5.012,11
Total	R\$	6.676,59	R\$	5.727,27

Fontes: Acervo do autor.

3.4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, observa-se que para esse projeto exemplo a laje maciça ficou 16,57% mais cara que a laje de vigotas pré-moldadas treliçadas. Ambas apresentam duração de atividade, produtividade e custos diferentes entre si, que resultou nessa diferença, justificando a comum utilização de lajes pre-moldadas em casas populares, desconsiderando o reaproveitamento da forma.

Observa-se que a etapa que apresenta custo mais elevado na laje maciça são as formas, custo esse inexistente na laje pré-moldada. No entanto, caso seja considerado, por exemplo, a reutilização da mesma forma para 3 residências do mesmo padrão, realizando o rateio desse custo, a laje maciça pode então apresentar custo inferior ao da laje treliçada, a mesma comparação pode ser realizada para edifícios multipavimentos.

É de suma importância que todas as vantagens e desvantagens de cada sistema estrutural seja avaliada de acordo com as particularidades da edificação, como por exemplo as ações atuantes, podendo ser decisivas no projeto final.

Vale destacar que o intuito desse trabalho não visa propor a melhor solução estrutural a ser empregada, pois esse fator não é apenas econômico, mas sim apresentar os dados obtidos de

modo que sirvam como parâmetros comparativos para projetos semelhantes relacionando a concepção estrutural com o custo total da edificação.

Outras comparações entre os diversos tipos de laje podem ser feitas semelhantemente a essa exposta nesse trabalho. Como por exemplo a laje de vigotas protendidas, a laje nervurada, a laje alveolar, entre outras.

3.5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos - Elaboração. Rio de Janeiro: 2014, 238p.

_____. **NBR 6120/1980**: Cargas para o cálculo de estruturas e edificações - Procedimento – Elaboração. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

_____. **NBR 14859-1/2016**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

_____. **NBR 14931/2004**: Execução de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CAIXA – SINAPI – Preço de Insumos. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-mg/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MG_092017_NaoDesonerado.zip> Acesso em 05 de novembro de 17.

CARVALHO, R. C; PARSEKIAN, G. A; FILHO, J. R. F; MACIEL, A. M. Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto. **1º Encontro Nacional de Pesquisa- Projeto-Produção em concreto pré-moldado.** São Carlos, 2005.

CHAVES, Roberto. **Manual do construtor: para engenheiros, mestres de obras e profissionais de construção em geral.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2012.

CORREA, M. R. S. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios.** 1991. 435 f. Tese (Doutorado em Estruturas) - Universidade de São Paulo: Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos, SP.

FLÓRIO, Márcio C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado.** Tese de Pós-Graduação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. 1997. 112 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

VAN ACKER, Arnold. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: ABCIC, 2003.

TCPO – **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. 13ª edição. São Paulo. Pini. 2008.

4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos, observa-se que para esse projeto exemplo a laje maciça ficou 16,57% mais cara que a laje de vigotas pré-moldadas treliçadas. Ambas apresentam duração de atividade, produtividade e custos diferentes entre si, que resultou nessa diferença, justificando a comum utilização de lajes pre-moldadas em casas populares, desconsiderando o reaproveitamento da forma.

Observa-se que a etapa que apresenta custo mais elevado na laje maciça são as formas, custo esse inexistente na laje pré-moldada. No entanto, caso seja considerado, por exemplo, a reutilização da mesma forma para 3 residências do mesmo padrão, realizando o rateio desse custo, a laje maciça pode então apresentar custo inferior ao da laje treliçada, a mesma comparação pode ser realizada para edifícios multipavimentos.

É de suma importância que todas as vantagens e desvantagens de cada sistema estrutural seja avaliada de acordo com as particularidades da edificação, como por exemplo as ações atuantes, podendo ser decisivas no projeto final.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale destacar que o intuito desse trabalho não visa propor a melhor solução estrutural a ser empregada, pois esse fator não é apenas econômico, mas sim apresentar os dados obtidos de modo que sirvam como parâmetros comparativos para projetos semelhantes relacionando a concepção estrutural com o custo total da edificação.

Outras comparações entre os diversos tipos de laje podem ser feitas semelhantemente a essa exposta nesse trabalho. Como por exemplo a laje de vigotas protendidas, a laje nervurada, a laje alveolar, entre outras.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos - Elaboração. Rio de Janeiro: 2014, 238p.

_____. **NBR 6120/1980**: Cargas para o cálculo de estruturas e edificações - Procedimento – Elaboração. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

_____. **NBR 14859-1/2016**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

_____. **NBR 14931/2004**: Execução de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CAIXA – SINAPI – Preço de Insumos. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-mg/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MG_092017_NaoDesonerado.zip> Acesso em 05 de novembro de 17.

CARVALHO, R. C; PARSEKIAN, G. A; FILHO, J. R. F; MACIEL, A. M. Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto. **1º Encontro Nacional de Pesquisa- Projeto-Produção em concreto pré-moldado.** São Carlos, 2005.

CHAVES, Roberto. **Manual do construtor: para engenheiros, mestres de obras e profissionais de construção em geral.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2012.

CORREA, M. R. S. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios.** 1991. 435 f. Tese (Doutorado em Estruturas) - Universidade de São Paulo: Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos, SP.

FLÓRIO, Márcio C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado.** Tese de Pós-Graduação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção.** 1997. 112 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

VAN ACKER, Arnold. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** Tradução por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: ABCIC, 2003.

TCPO – **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos.** 13ª edição. São Paulo. Pini. 2008.