

## ESTUDO ORÇAMENTÁRIO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS EM LAJE MACIÇA E LAJE NERVURADA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Nathali Barbosa Resende<sup>1\*</sup>  
Felipe Pereira Melo

### RESUMO

O presente estudo comparativo retrata os aspectos relevantes para escolha e construção de laje maciça ou laje nervurada, transparecendo suas vantagens e desvantagens. No trabalho, foram relatados os métodos para o cálculo e as técnicas de construção. Foi analisado, como objeto de estudo, um projeto residencial vertical de dois pavimentos, e, a partir dele, foram comparados os custos entre a laje maciça e a laje nervurada com enchimento de bloco EPS. Também foram verificadas a viabilidade para a edificação do projeto e a eficácia do sistema no projeto estudado. Para as verificações estruturais do projeto, foi utilizado o *software* Eberick V8 Gold da AltoQi, fundamentado na norma brasileira NBR 6118:2014. O programa descrito acima permite fazer todos os cálculos e verificações estruturais, a análise e a composição de materiais gastos, englobando, também, os diagramas de momento fletor e de cisalhamento, etc. Em conjunto com o programa, mas no sentido de dar suporte ao custo, foi utilizada outra ferramenta, que é o livro TCPO 14 – Tabelas de Composição de Preços para Orçamento, e, também, a planilha de preços Setop, que permitiu formalizar o custo do sistema analisado no estudo, levantando em tabelas, os valores de mão de obra e material, e garantindo o levantamento de todo o custo da comparação feita, podendo assim, viabilizar em qual se enquadra o objeto de pesquisa.

**Palavras-chave:** Lajes maciças. Lajes nervuradas. Viabilidade.

### 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi apresentar o estudo comparativo para análise orçamentária entre as estruturas de lajes maciças e lajes nervuradas, levando em consideração o grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado. Pretende-se facilitar a escolha dos profissionais da área no momento da criação de projetos estruturais residenciais de acordo com o mercado local. Não foi analisada a obra aqui em estudo quanto ao seu desenvolvimento financeiro, levando-se em conta fluxo e retorno de investimento, entre outras questões. Logo, o foco do trabalho tratou do custo da obra sem levar em consideração correções monetárias e negociações para aquisição de preço.

Segundo Araújo (2003), as empresas procuram novas tecnologias na tentativa da redução de custos e desperdícios que envolvam os empreendimentos. Para isto, se aplicado aos

---

<sup>1\*</sup> Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro universitário do Sul de Minas – UNIS/MG.  
nathybarbosa777@hotmail.com

sistemas estruturais como em lajes, é imprescindível um estudo minucioso, pois, dependendo da redução de materiais utilizados e da quantidade de pavimentos, os ganhos econômicos e financeiros poderão ser consideráveis, não somente pela redução de materiais aplicados às obras, mas, também, pelo tempo de execução do projeto.

O projeto estrutural da construção civil está entre os mais elaborados da obra, representando em torno de 15% a 20% no custo total da construção. Franca & Fusco (1997) também ressaltam que um abatimento de aproximadamente 10% no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma diminuição de 2%, o que significa execução de movimentos de terra, soleiras, rodapés, peitoris e coberturas juntos em termos práticos.

A pergunta-problema deste trabalho é: qual é tipo de laje mais indicada em edificações residenciais, levando-se em consideração o aspecto da viabilidade orçamentaria? Ponderando apenas os materiais aplicados a obra, e as obras são locais e particulares, onde o levantamento de dados ocorre de forma diária. O principal ponto a ser considerado na elaboração de orçamento é a redução de custos na execução da obra.

Em decorrência do grande volume representativo do concreto em relação ao volume total utilizado na estrutura, torna-se imprescindível o orçamento entre os tipos de lajes mais indicados para utilização da edificação. São objetivos específicos deste trabalho: Realizar um comparativo orçamentário entre lajes nervuradas e lajes maciças em edificações residenciais; Identificar a viabilidade do uso de lajes nervuradas em edificações residenciais; Verificar se há redução de custos na utilização de lajes nervuradas a partir da análise de um projeto estrutural; Verificar o volume de materiais utilizados nos dois modelos estruturais como: volume de concreto, volume de fôrmas e quantidade de aço.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão abordados os sistemas e elementos estruturais, tais como; fundação, viga, pilar, fôrma, laje maciça e nervurada, a fim de apresentar conceitos, de fôrma bem sucinta e simplificada, para a compreensão desses sistemas. As lajes são elementos estruturais constituídos de concreto armado, e seu estudo permite a correta alocação de recursos, materiais e demais relações econômicas que correspondem ao tempo estimado de execução, a qualidade e a segurança.

## 2.1 Concreto Armado

O concreto armado surgiu no século XIX, em conjunto com a Revolução Industrial. Estima-se que em 1849, na França, foi construída o primeiro modelo. Em 1902, Morsch publicou a 19ª edição de sua monumental obra, Teoria e a prática do concreto armado, que em muitos aspectos é válida até hoje. Em 1940 surgiu a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como consequência da elaboração da própria NB-1(1) – Norma para o projeto e execução de estruturas de concreto armado (FUSCO, 2012).

Concreto é um elemento composto da mistura de vários materiais, tais como: areia, cimento e brita, aos quais são adicionados água, com a finalidade de confeccionar elementos para construção, como vigas, lajes, pilares, fundações e pavimentos, entre outros. (SALGADO, 2009).

## 2.2 Sistemas e elementos estruturais

As estruturas ou os sistemas estruturais são compostos por elementos dispostos de forma racional e adequada na estrutura; eles são responsáveis por receber e transmitir os esforços na estrutura. Elementos, por sua vez, são peças com uma ou duas dimensões preponderantes diante das demais como, por exemplo, fundação, vigas, pilares e lajes (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013).

Goldman (2004) define sistema construtivo como um processo que contém elevado nível de industrialização e de organização, que se pode denominar como um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

### 2.2.1 Fundação

Conforme a norma CP 2004 (1972 *apud* BELL, 1985, p. 1), pode-se definir fundação como: “Parte da estrutura que está em contato direto com solo e por sua vez tem a função de transmitir as cargas a este”.

Dessa forma, a fundação tem por finalidade principal distribuir e transmitir as cargas permanentes e dinâmicas da superestrutura para o substrato do solo, evitando os recalques elevados de forma diferentes e prejudiciais à superestrutura. As dimensões das sapatas, que se encontram nas fundações, são compatíveis com carregamento do solo, capacidade de carga do

solo e o tipo de superestrutura em análise são fatores fundamentais para escolha do modelo de fundação utilizado na edificação, de acordo com Bell (1985).

### 2.3 Pilares

Pilar é um elemento da estrutura posicionado verticalmente, que tem como função receber os esforços diagonais da edificação e transferi-los para os elementos de fundações. O sistema laje–viga–pilar geralmente está associado.

Os pilares em concreto armado são calculados para resistir à compressão e à flambagem. O concreto possui pouca resistência aos esforços de tração, mas resistem razoavelmente bem à compressão; eles também devem conter uma armadura transversal que sirva de apoio à armadura longitudinal para a concretagem e que evite a flambagem do pilar, quando este estiver em carga (GOLDMAN, 2004).

### 2.4 Vigas

Viga é um elemento da estrutura posicionado horizontalmente, que tem como função receber os esforços verticais das lajes e transferi-los para os pilares ou quando utilizada como apoio de um pilar *carga concentrada*; esta transfere o peso das lajes e dos demais elementos (paredes, portas, pilares etc.) às colunas (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013).

De acordo com a NBR6118:2014:

A seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições: a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma; b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931 (ABNT, NBR6118:2014, p. 73).

As vigas de concreto armado possuem ferragens longitudinais dimensionadas para suportar os esforços de tração, desprezando, então, a resistência à tração do concreto, por esta ser muito baixa. As vigas também recebem ferragens auxiliares distribuídas transversalmente ao longo da sua seção, denominadas *estribos*. Possuem a finalidade de levar as forças cisalhantes até os apoios.

## 2.5 Lajes

As lajes maciças dividem-se em dois grupos: armadas numa direção e armadas em duas direções. Lajes maciças armadas numa direção são as lajes cuja relação entre o lado maior e o lado menor seja superior a dois; na direção do menor vão ocorrem os maiores esforços solicitantes, ou seja, de maior magnitude, sendo esse lado chamado direção principal e outro lado chamado de direção secundário (FUSCO, 2012).

Segundo a definição de Pinheiro (2003), lajes são elementos planos, em geral horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta nomeada de *espessura*. As lajes têm como principal função receber carregamentos dos pavimentos em que estão situados, provenientes de pessoas, veículos, móveis e equipamentos; esses carregamentos são transferidos para os apoios.

Em relação ao ponto de vista estrutural, segundo Carvalho e Figueiredo (2013), as lajes são elementos estruturais com superfícies planas, em que a dimensão perpendicular à superfície denominada espessura, é relativamente pequena se comparada às demais dimensões (comprimento e largura), sujeitas às ações normais, principalmente em seus planos.

### 2.5.1 Lajes Maciças

As lajes maciças são descritas por meio dos seguintes itens: definição e características do sistema, prescrições estas de acordo com a NBR6118:2014 vantagens e desvantagens e seu processo construtivos.

Spohr (2008) define sistema convencional de laje maciça, sendo sistema estrutural de concreto armado constituído de laje maciça, vigas e pilares, sendo que as lajes são responsáveis por receber os carregamentos provenientes da utilização e transmitir para vigas que transmitem para os pilares e estes às fundações.

Araújo (2003) ressalta que lajes maciças são placas de espessuras uniformes, apoiadas ao longo de seu contorno; esses apoios, ora alvenarias, ora vigas, são muito utilizados em edifícios residenciais por tratar-se de vãos relativamente pequenos.

## 2.6 Orçamento na construção civil

Nos dias atuais torna-se indispensável a prática do orçamento em qualquer empreendimento a ser realizado; um orçamento bem realizado dá uma visão ampla da construção como um todo, e será por meio dele que se verificará a viabilidade ou não do projeto.

A falta ou a má execução do orçamento leva inúmeras obras a paralisações, como se pode constatar em Divinópolis; muitos ainda têm essa etapa como algo banal, acreditam que a sua realização não seja viável a vários tipos de projetos, mas, para um projeto de pequeno porte a um de grande porte, sua necessidade torna-se, senão obrigatório, de grande importância para se evitarem problemas futuros.

Por meio do orçamento, conforme afirma Sampaio (1989, p. 55), “é possível analisar a viabilidade econômico-financeira do empreendimento, efetuar o levantamento dos materiais e dos serviços e mão de obra, necessários para cada etapa de serviço”, elaborar o cronograma físico e efetuar o acompanhamento sistemático da aplicação da mão de obra e materiais no empreendimento.

No orçamento por estimativas são levados em consideração os principais serviços, calculando-se seus custos de maneira simplificada e rápida; faz-se necessário um arquivo com valores unitários e atuais, a fim de que os cálculos unitários não sejam trabalhosos.

Realizado a partir das macro-quantidades, quando ainda não se dispõe de informações muito detalhadas sobre o projeto, na fase de elaboração do orçamento, são utilizadas apenas as taxas de custos por m<sup>2</sup> ou custo por m<sup>3</sup>; são levados em considerações a experiência em projetos anteriores ou projetos semelhantes e conhecidos (TCPO, 2012).

No orçamento por modelagem é alcançado um maior nível de precisão e confiabilidade possível. Não se podem considerar apenas os serviços e os sistemas construtivos, devem ser levadas em consideração também todas as informações sobre o processo de construir, ou seja, como, onde e de que maneira serão realizados todos os trabalhos (TCPO, 2012).

Para Cardoso (2011); “Custo direto é resultado da soma de todos os custos unitários dos serviços necessários para a construção da edificação”. Para o estabelecimento das demandas usuais dos serviços relacionados a construção em concreto armado, podem ser utilizadas informações demonstradas nas tabelas 1 e 2.

**Tabela 1**– Demanda usual pelos serviços de fôrmas, armação e concretagem para a execução da estrutura de concreto armado relativa a 1 m<sup>2</sup> de construção

DEMANDA PARA 1 M <sup>2</sup> DE CONSTRUÇÃO				
SERVIÇO	UNIDADE	MÍN.	MED.	MÁX.
Fôrmas	m <sup>2</sup>	1,99	2,17	2,58
Armação	kg	19,70	22,69	39,38
Concretagem	m <sup>3</sup>	0,17	0,24	0,31

Fonte: TCPO – 14 (2012, p. 78).

**Tabela 2** – Demanda usual pelos serviços de fôrmas, armação e concretagem para a execução da estrutura de concreto armado relativa a 1 m<sup>3</sup> de construção

DEMANDA PARA 1 M <sup>3</sup> DE ESTRUTURA				
SERVIÇO	UNIDADE	MÍN.	MED.	MÁX.
Fôrmas	m <sup>2</sup>	8,01	9,01	12,52
Armação	kg	81,78	91,68	160,00
Concretagem	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00

Fonte: TCPO – 14 (2012, p. 78).

As unidades básicas de composição de custos podem ser unitárias, ou seja, representados a uma unidade de medida (quando ele é mensurável, por exemplo: kg de armação, m<sup>3</sup> de concreto, unidade de telhas etc.).

De acordo com o Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (Sinduscon-MG) (2007, p. 16), “O objetivo básico do CUB/m<sup>2</sup> é disciplinar o mercado de incorporação imobiliária, servindo como parâmetro na determinação dos custos dos imóveis”.

### 2.6.2 Mão de obra

O custo da mão de obra é obtido através da consideração entre salários dos colaboradores em conjunto com a carga horária necessária para a execução de certa parcela da obra, ainda devem ser considerados encargos sociais, e demais perspectivas legais que venham a se enquadrar (MATTOS, 2006).

Ainda segundo Mattos (2006), quando se admite um pedreiro que gasta 1 h para fazer 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de bloco cerâmico, será por meio dessa premissa que o total de mão de obra de alvenaria será calculado. A produtividade afeta diretamente a composição de custo.

Goldman (2004, p. 125) ressalta que: “Este é um item que além de ter um peso de custos bastante considerável em relação ao empreendimento, muito pode ser feito pela otimização e controle”.

## **2.7 Materiais e equipamentos utilizados na obra**

Na elaboração do orçamento ainda devem ser considerados os materiais; esta fase consiste no levantamento do consumo de todos os materiais e equipamentos utilizados para a construção do empreendimento, considerando as quantidades levantadas com seus respectivos preços de mercado. Silva (2006, p. 4) observa que “Os custos diretos unitários dos serviços de construção são conhecidos pela consulta a tabelas de composições de consumo unitário”.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo, serão abordados os quesitos que nos permitem comparar a estrutura nos dois casos estudados. Em meio a uma comparação, será lançado um projeto residencial de dois pavimentos em um software embasado na NBR 6118:2014. Neste programa serão gerados dados que permitem confrontar os critérios que influenciam diretamente no custo que contemporaneamente existe no mercado de trabalho e as diferenças estruturais e financeiras decorrentes da edificação destes projetos, demonstrando assim, a maior viabilidade de laje para o tipo de estrutura do projeto. Outra abordagem, neste capítulo, é o objeto de estudo e como se chegou às comparações em meio ao programa e os métodos que foram utilizados para elaboração deste estudo.

Na realização deste estudo, foi necessária, primeiramente, uma grande pesquisa sobre estrutura de concreto armado e, principalmente, sobre lajes, apontado os diferentes tipos de lajes e analisando as suas principais características.

Mediante às leituras atribuídas, pôde ser classificado como uma pesquisa bibliográfica, pois, através de livros, artigos e normas, deu-se o embasamento para realização do estudo. É também uma pesquisa experimental, pois são analisados critérios no objeto de estudo e manipulados em um programa de computador, descrevendo e comparando os resultados para alcançar a viabilidade na estrutura trabalhada. De acordo com Gil (2007, p. 53), uma “pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, e selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

Por fim, este estudo é classificado como uma pesquisa explicativa, fundamentada nas diversas orientações geradas durante o decorrer de toda a análise feita, demonstrando todos os fatores intermitentes na estrutura do estudo.

O estudo utilizou a abordagem quantitativa, pois neste são mensurados vários quesitos influentes diretamente na análise feita. A pesquisa quantitativa caracteriza-se “pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas” (RICHARDSON, 2011, p. 70).

Objeto de estudo é um projeto residencial vertical de dois pavimentos com áreas iguais de 57,95 m<sup>2</sup>, totalizando uma área de 115,90 m<sup>2</sup>, e com suas respectivas alturas de 2,70 m e na parte superior, um reservatório com elevação de 1,60 m. Para dados de projeto, serão adotados os seguintes quesitos para fins de dimensionamento da estrutura:

**Quadro 1:** Dados para fins de dimensionamento.

	MACIÇA	NERVURADA
CONCRETO	25 MPa	25 MPa
COBRIMENTO	2,5 cm	2,5 cm
ESPESSURA DA LAJE	12 cm	15 cm
ESPESSURA DAS NERVURAS	–	12 cm

**Fonte:** Da autora.

Na análise estrutural e comportamental do presente objeto de estudo, apesar de ele ter uma altura considerável para ação de ventos, não foi atribuída a carga de vento, pois a NBR 6123:2013 é bem clara ao dizer que a carga de vento atua e modifica os pilares e vigas, e o presente estudo refere-se às lajes.

No dimensionamento das lajes nervuradas, deve ser adotado um tipo de material que irá preencher os espaços vazios. Nesta situação, serão adotados blocos de EPS com dimensão 10x40x40 e, para suas nervuras, serão adotadas vigotas pré-moldadas de 12 cm de largura. Para que possa produzir todo o dimensionamento, deve ser feita a locação dos pilares e vigas para que se possa constituir as lajes.

No caso do projeto proposto, foram divididos em:

- No pavimento térreo, foram duas lajes;
- No pavimento tipo, foram divididos em três;

Para as lajes nervuradas do pavimento tipo, foram divididas em duas lajes nervuradas e uma laje maciça. Esta diferença existe porque a dimensão da laje que foi adotada maciça é muito pequena e não dispunha de espaço para serem feitas nervuras na região.

### 3.1 Processamento de dados

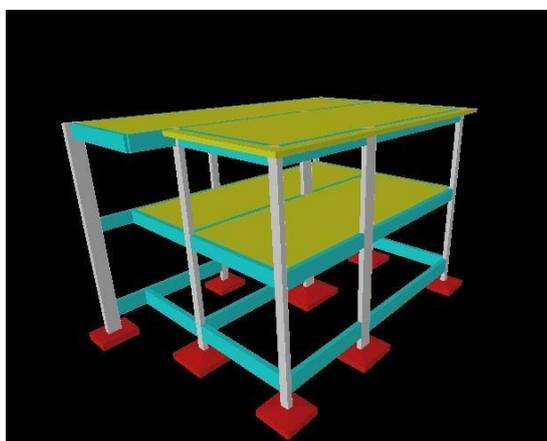
Iniciado o pré-dimensionamento e com os dados e projeto, inicia-se o cálculo estrutural. Deve-se levar em consideração a grande importância desta etapa, pois é nela que está a parte essencial para uma boa edificação. É nos cálculos de estrutura que se pode reduzir grande parte do custo de uma obra, para se ter esta economia tudo depende da metodologia empregada pelo engenheiro responsável.

Neste estudo, adota-se como ferramenta de cálculo, o *software* Eberick V8 Gold da empresa Alto QI. Este programa, voltado para a estrutura de concreto armado, engloba desde análises estruturais até cálculos de dimensionamento e detalhamentos de estruturas.

Neste, será lançada toda a estrutura a ser analisada neste trabalho, para que possam ser tiradas as conclusões pertinentes ao objeto estudado, lembrando que o método utilizado pelo programa é o de cálculo por pórtico. De maneira resumida, será orientado como se chega ao final de um lançamento estrutural no programa.

Primeiramente, são definidos os níveis, as alturas que terá cada pavimento de sua estrutura. Com os níveis estipulados, é lançado no programa o seu projeto arquitetônico. Após lançada a arquitetura, deve-se colocar o projeto na escala do programa de 1:50 – cada um centímetro (1 cm) equivale a cinquenta metros (50 m) e posicionar à origem. Feito isto, deve-se conferir a arquitetura quanto à espessura das paredes para não haver incompatibilidade dos pilares e vigas. Após esta análise, faz-se a locação dos pilares, vigas e lajes, seguindo os parâmetros que a NBR 6118:2014 classifica. Após lançados os pilares, as vigas e as lajes, cria-se, também, a fundação. Feito isso, é possível observar a estrutura em pórtico 3D, como mostra a Figura 1.

**Figura 1:** Pórticos do projeto em estudo.



**Fonte:** Da autora.

Certo de que sua estrutura está montada, são aplicadas às cargas que são a provável atuação na estrutura e no cálculo. Estas cargas são seguidas da NBR 6120:2000. Nestas condições, foram seguidas as condições de aplicação da NBR 6118:2014. No caso do projeto estudado, foram aplicadas, no pavimento térreo, as seguintes cargas:

- a) Cargas das paredes sobre as lajes, que vai de acordo com a altura e o comprimento equivalente;
- b) Para revestimento, segundo a NBR 6120:2000, foram adotados 100 Kgf/m<sup>2</sup>;
- c) Sobrecarga de 150 Kgf/m, de acordo com NBR 6120:2000.

No pavimento tipo, foram adotadas as seguintes cargas verticais:

- a) Cargas das paredes sobre as lajes;
- b) Sobrecarga de 50 Kgf/m<sup>2</sup>, de acordo com a NBR 6120:2000;
- c) Peso do reservatório de água;
- d) Peso do revestimento de 100 Kgf/m<sup>2</sup>

Neste aspecto, foram estipuladas todas as cargas atuantes na estrutura analisada. As lajes maciças foram todas engastadas umas nas outras; já as lajes nervuradas não foram, pois, muitos autores descrevem que não é uma boa opção o engastamento de lajes nervuradas. Segundo Pinheiro e Razente (2003, p. 9):

Para as lajes nervuradas, procura-se evitar engastes e balanços, visto que, nesses casos, têm-se esforços de compressão na face inferior, região em que a área de concreto é reduzida. Nos casos em que o engastamento for necessário, duas providências são possíveis: limitar o momento fletor ao valor correspondente à resistência da nervura à compressão; utilizar mesa na parte inferior, situação conhecida como laje dupla, ou região maciça de dimensão adequada.

Terminados todos os carregamentos e com a estrutura montada, faz-se a análise do programa, permitindo verificar todo o dimensionamento feito, depois, deve-se aguardar os resultados. O software disponibiliza várias informações para análise e correções. No programa, são gerados o diagrama de atuação das cargas, as flechas nas lajes, as seguintes utilizações de aço nas vigas, pilares e lajes, planta de fôrmas, todos os cálculos da fundação, etc.

Para o presente estudo, como são analisados somente lajes, para as lajes maciças foram geradas as flechas nas lajes, diagrama de atuação de cargas e reações de apoios.

Nas lajes maciças temos, nas imagens abaixo, as flechas que atuam nas lajes a flecha máxima que a NBR 6118:2014 atribui para as lajes é na pequena fórmula:

$$\lambda = \frac{\ell}{250}$$

Para observação das lajes maciças e nervuradas, as flechas não devem ultrapassar 2,6 cm. Assim, temos os seguintes valores de flechas para os dois pavimentos estudados, no quadro abaixo:

**Quadro 2:** Flechas analisadas na estrutura com lajes maciças.

LAJES	DESLOCAMENTO (ENVOLTÓRIA)				ERRO ESTIMADO EM %
	ELÁSTICO	IMEDIATOS	DEFERIDOS	TOTAL	
L1	0,31	0,24	0,22	0,46	-0,10
L2	0,47	0,32	0,31	0,63	-0,16
PAVIMENTO TIPO					
LCO1	0,19	0,12	0,13	0,25	0
LCO2	0,37	0,24	0,24	0,48	0
LCO3	0,28	0,18	0,18	0,36	0

**Fonte:** autor da pesquisa

Para as lajes nervuradas, temos o quadro de flechas seguinte.

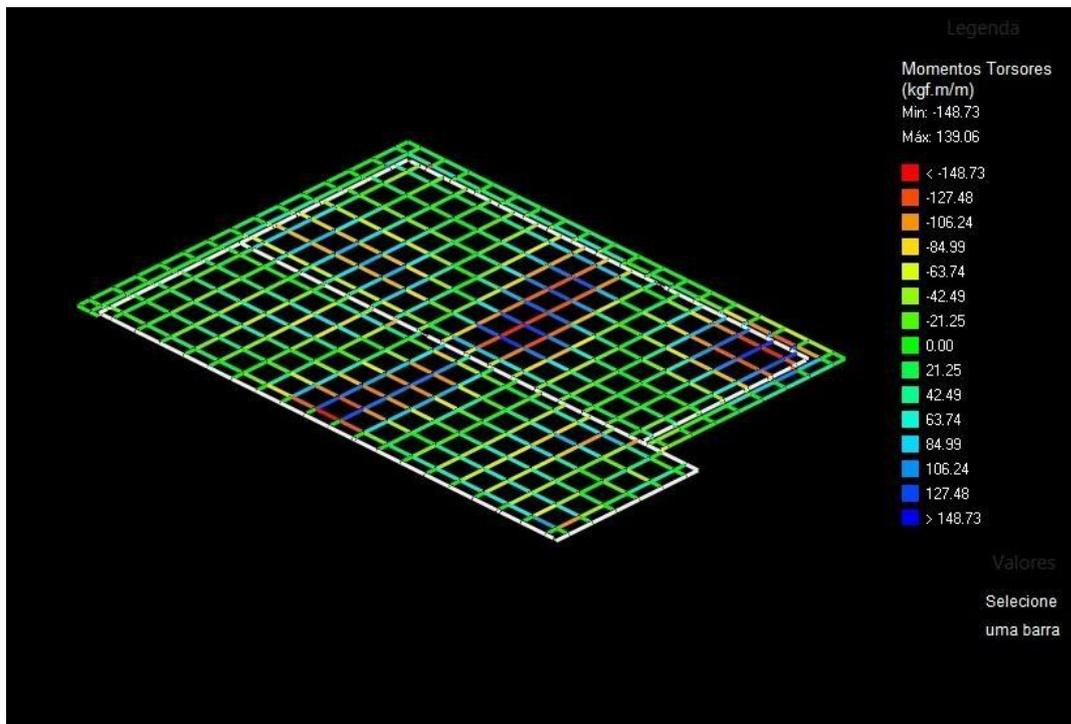
**Quadro 3:** Flechas analisadas na estrutura com lajes nervuradas.

LAJES	DESLOCAMENTO (ENVOLTÓRIA)				ERRO ESTIMADO EM %
	ELÁSTICO	IMEDIATOS	DEFERIDOS	TOTAL	
L1	0,53	0,54	0,48	1,02	-3,56
L2	0,90	1,26	1,14	2,4	-0,47
PAVIMENTO TIPO					
LCO1	0,34	0,25	0,25	0,5	-2,78
LCO2	0,62	0,63	0,63	1,25	-4,16
LCO3	0,32	0,21	0,21	0,42	-0,25

**Fonte:** Da autora.

Para os diagramas de atuação de cargas, o programa lança diversas funções, como diagrama de momento, força cortante, momento torçor e vários outros. Nestes diagramas, através de cores, mostra-se que quanto mais colorido os quadriculados maior é a atuação de cargas. Abaixo, a figura ilustra esta etapa.

**Figura 2:** Atuação de forças no diagrama.



**Fonte:** Da autora.

Como a estrutura é apoiada em vigas, são provocadas reações nos apoios. Com isso, no programa é gerado um diagrama mostrando as reações de apoio nas vigas. Por fim, com toda a estrutura montada e analisada, devem ser feitos os devidos reajustes, acertos e correções. Inicia-se, então, a importação dos desenhos para o Autocad (programa voltado para desenhos arquitetônicos) e coloca-os nas pranchas e formatos.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste estudo, serão feitas comparações nas lajes em destaque, viabilizando através de dados, a que melhor se enquadra nas condições para perfeita execução da obra.

Serão comparados dados relacionados com o peso da estrutura, no material gasto para edificação da estrutura e no custo e mão de obra. Ao final, sempre viabilizando a melhor situação para o projeto que está em estudo.

No contexto, serão indicadas as lajes com os respectivos nomes:

- a) Para as lajes do pavimento térreo, serão L1 e L2;
- b) Para as lajes do pavimento tipo, serão LCO1, LCO2 e LCO3;

Esta denominação será para diferenciar os dois pavimentos.

#### 4.1 Comparação quanto ao peso da estrutura

Após analisados os parâmetros que permitem o pré-dimensionamento, devem ser analisadas as cargas que serão aplicadas na estrutura, estas cargas influenciam diretamente na estabilidade da mesma.

Para fins de análise e comparação, foram aplicadas as mesmas cargas nas duas estruturas e, assim, obtivemos os seguintes valores.

Para lajes maciças obtivemos:

**Quadro 4:** Cargas atuantes nas lajes maciças.

LAJE MACIÇA				
TÉRREO				
		SOBRECARGA (Kgf/m <sup>2</sup> )		
NOME	PESO PRÓPRIO (Kgf/m <sup>2</sup> )	ADICIONAL	ACIDENTAL	LOCALIZADA
L1	300	100	150	276 (kgf/m) 214 (kgf/m)
L2	300	260	150	–
LAJE MACIÇA				
PAVIMENTO TIPO				
		SOBRECARGA (Kgf/m <sup>2</sup> )		
NOME	PESO PRÓPRIO (Kgf/m <sup>2</sup> )	ADICIONAL	ACIDENTAL	LOCALIZADA
L1	300	100	50	–
L2	300	210	50	–
L3	300	100	50	–

**Fonte:** Da autora.

Como nas lajes maciças, as nervuradas também possuem suas cargas verticais atuantes, conforme segue abaixo:

**Quadro 5:** Cargas atuantes nas lajes nervuradas.

LAJE NERVURADA				
TÉRREO				
		SOBRECARGA (Kgf/m <sup>2</sup> )		
NOME	PESO PRÓPRIO (Kgf/m <sup>2</sup> )	ADICIONAL	ACIDENTAL	LOCALIZADA
L1	228	100	150	276 (kgf/m) 214 (kgf/m)
L2	228	260	150	–
LAJE NERVURADA				
PAVIMENTO TIPO				
		SOBRECARGA (Kgf/m <sup>2</sup> )		

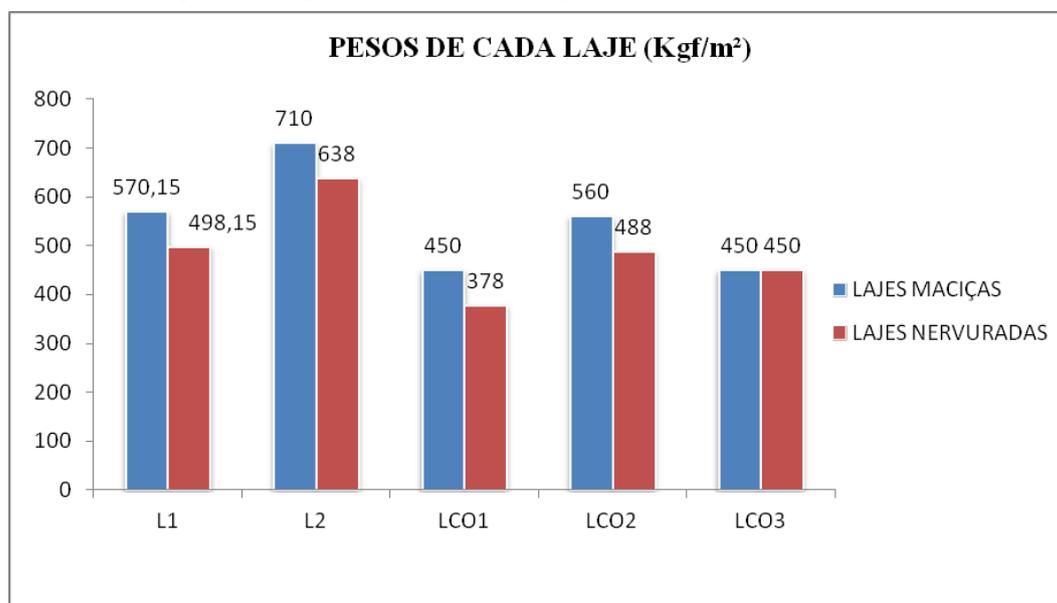
NOME	PESO PRÓPRIO (Kgf/m <sup>2</sup> )	ADICIONAL	ACIDENTAL	LOCALIZADA
L1	228	100	50	–
L2	228	210	50	–
L3	300	100	50	–

Fonte: Da autora

Nesta análise, pode ser observado que há diferenças que influenciam diretamente nas demais estruturas empregadas como vigas, pilares e, principalmente, na fundação. O grande diferencial, nesta etapa, é o peso próprio da estrutura que nas lajes nervuradas pôde ser observado está diferença em relação às lajes maciças. O influente direto, nesta questão, é o preenchimento nas lajes nervuradas, com blocos EPS, reduzindo a camada de concreto e, consequentemente, o peso próprio da estrutura.

Abaixo, o Gráfico 1, demonstra o peso relativo em cada laje, levando em consideração o peso próprio, a sobrecarga, a carga adicional e as concentradas, todas cargas influentes nas lajes.

**Gráfico 1:** Comparação do peso relativo em cada laje



Fonte: autor da pesquisa

Nesta comparação, houve uma diferença de 10,51%, ou seja, de 288 kgf/m<sup>2</sup> no peso da estrutura, comprovando, assim, que as lajes nervuradas, mesmo com uma de suas lajes sendo maciça, ainda provocam uma diferença considerável em seu peso. Desta forma, aliviam-se as tensões aplicadas na fundação, tornando-se uma estrutura mais simples para fins de dimensionamento.

## 4.2 Comparação quanto ao material utilizado

Esta etapa refere-se à quantidade de material que será gasto no presente estudo, levando em consideração todos os materiais gastos. Será verificada a diferença entre os dois métodos analisados e qual deles garante maior viabilidade para o objeto de estudo. A análise engloba as quantidades de concreto, aço e forma. No estudo, foram levantados os seguintes valores para as deduções de diferenças:

**Quadro 6:** Material gasto nas lajes maciças.

LEVANTAMENTO DE MATERIAL					
LAJE MACIÇA					
MATERIAL	TÉRREO		PAVIMENTO TIPO		
	L1	L2	LCO1	LCO2	LCO3
CONCRETO (m <sup>3</sup> )	2,75	3,42	3,28	3,41	0,84
<b>AÇO (Kg)</b>					
CA-50	302,1		150		
CA-60	29,5		159,5		
FÔRMA (m <sup>2</sup> )	49,31		60,78		

Fonte: Da autora.

Para as lajes nervuradas, são estipulados, pelo programa, os seguintes materiais na tabela a seguir.

**Quadro 7:** Material gasto nas lajes maciças

LEVANTAMENTO DE MATERIAL					
LAJE NERVURADA					
MATERIAL	TÉRREO		PAVIMENTO TIPO		
	L1	L2	LCO1	LCO2	LCO3
CONCRETO (m <sup>3</sup> )	2,20	2,62	2,5	2,62	0,84
<b>AÇO (Kg)</b>					
CA-50	150		24,05		
CA-60	13,5		154,1		
FÔRMA	-		-		8,22
ENCHIMENTO	208		220		

Fonte: Da autora

Diante do levantamento o quantitativo, primeiramente, será comparado o volume de concreto da estrutura, já que houve uma variação de 21,27% no total gasto em toda a obra.

### **4.3 Comparação no orçamento entre as lajes**

Para a comparação de custo e viabilidade financeira, foram feitas tabelas para análise do preço final. Nelas, foram considerados os seguintes fatores: mão de obra, material gasto e encargos sociais com funcionários. Para apoio neste contexto, foi adotada a planilha de preço Setop, de abril de 2019. A partir da planilha Setop e de dados do livro *TCPO14*, foram montadas duas planilhas para comparação do orçamento viabilizando qual laje melhor se enquadra no quesito custo. Vale ressaltar que, nestas planilhas, serão abordados dados relativos à vigas e lajes, pois a concretagem para estes dois elementos deve ser feita de uma única vez.

Assim, foram montadas duas tabelas para análise e verificação do custo, para serem feitas as comparações, obtendo-se o custo da estrutura e viabilizando o tipo de estrutura que possa se adequar melhor no objeto de estudo. Lembrando que nesta etapa foram adotadas também as vigas, pois a concretagem das lajes, se apoiada nas vigas, deve ser feita de uma única vez, tornando, assim, uma só estrutura. O valor obtido para lajes maciças totalizou R\$19.705,39 e o valor para lajes nervuradas em R\$15.934,75.

Analisando o custo desta estrutura, mais uma vez a laje nervurada sobressaiu em relação à laje maciça. Mesmo com a laje maciça em conjunto com a laje nervurada, os dados comprovam a eficácia da laje nervurada.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo teve como objetivo analisar e comparar duas técnicas distintas de lajes, que foram as lajes maciças e as lajes nervuradas, apontando suas principais vantagens e desvantagens e analisando a viabilidade e o custo de cada uma para obras residenciais. Visto que o mercado está cada vez mais competitivo, há uma busca por inovações para que sejam minimizados os custos e prazos, levando sempre a viabilidade para as sucintas edificações. Diante disto, foi apresentado um projeto residencial vertical de dois pavimentos, e nele foram feitas todas as análises influentes no estudo. Criteriosamente seguido de um grande estudo, onde puderam ser estimadas comparações para que fosse observada a melhor técnica de lajes que se empregaria no objeto estudado.

Analisando o quesito peso da estrutura, a eficácia da laje nervurada é de grande satisfação. Assim, visto que o peso é um influente direto na estrutura em um todo, a partir dele,

são observadas as tensões aplicadas no solo e o tipo da fundação, sendo que, quanto mais leve, menor será a fundação. Neste aspecto, foi obtida uma diferença de 10,51% entre os dois métodos de lajes, lembrando que a estrutura de lajes nervuradas possui uma laje maciça, que aumenta, assim, o peso da estrutura.

Para o quesito materiais gastos na construção, e fazendo o levantamento de todos os materiais, verificou-se que, a laje nervurada se sobressaiu em relação à maciça. Materiais essenciais na obra, como o aço, concreto e fôrma, obtiveram grandes diferenças quanto às suas aplicações nos dois tipos de estrutura. Com o aço, obteve-se uma diferença de 46,71%; no concreto, a diferença é de 21,27%; e nas fôrmas, é de 92,53%, ressaltando que, nas lajes nervuradas, não há fôrmas, por serem uma estrutura pré-moldada, mas que possuem uma laje maciça no conjunto delas, assim é mensurado este valor para fôrmas.

No orçamento final e seguindo como o terceiro quesito de análise, as diferenças entre as lajes se relacionam diretamente ao custo financeiro da obra, obtendo os seguintes valores: para as lajes maciças, o valor é de R\$ 19.705,39; já as lajes nervuradas possuem o valor de R\$ 15.934,75, representando 19,14% menor. As lajes nervuradas mais uma vez obtiveram resultados viáveis em se tratando de economia.

Com todos os resultados apresentados neste estudo, pode-se concluir que as lajes nervuradas são uma ótima técnica empregada para fins de economia e agilidade, em se tratando de fins residenciais, mas o estudo não se limita, e devem ser analisados os casos, pois a viabilidade não se baseia tão-somente nestes dados apresentados, são necessários uma análise no projeto a ser edificado e um bom conhecimento do autor do mesmo para conclusão.

## **COMPARATIVE BUDGET STUDY BETWEEN STRUCTURE AND STRUCTURED STRUCTURE IN RESIDENTIAL BUILDINGS**

### **ABSTRACT**

The present comparative study portrays the relevant aspects for choosing and building a solid or ribbed slab, showing its advantages and disadvantages. In the work, the methods for the calculation and the construction techniques were reported. As an object of study, a two-storey vertical residential project was analyzed and the costs between the solid slab and the ribbed slab with EPS block were compared. The feasibility for the project construction and the system effectiveness in the studied project were also verified. For structural design verification, AltoQi's Eberick V8 Gold software was used, based on the Brazilian standard NBR 6118: 2014. The program described above allows for all structural calculations and checks, analysis and composition of spent materials, including bending moment and shear diagrams, etc. Together

with the program, but in order to support the cost, another tool was used, which is the book TCPO 14 - Budget Price Tables, and also the Setop price spreadsheet, which made it possible to formalize the cost. of the system analyzed in the study, raising in tables, the values of labor and material, and ensuring the survey of the entire cost of the comparison made, thus enabling the research object to fit.

**Keywords:** Massive slabs. Ribbed slabs. Viability.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso e concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dumas 2003. v. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123** – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120** – Cargas para o cálculo de estrutura de edificação. Rio de Janeiro: 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NB-1/1978** – Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.

\_\_\_\_\_. **Revisão da NB-1 e comentários**. Rio de Janeiro, 1997.

BELL, B. J. **Fundações em concreto armado**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985.

CARDOSO, R. S. **Orçamentos de obras em foco: um novo olhar sobre a engenharia de custos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2011.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, F. J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118/2003**. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2013.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. v. 2.

FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo: Afala & Abrapex, 1997.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamento de obras**. São Paulo: Pini, 2006.

PINHEIRO, Libânio M.; RAZENTE, Julio A. **Lajes nervuradas**. 2003. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/17%20Lajes%20nervuradas.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2011.

SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2009.

SAMPAIO, F. M. **Orçamento e custo da construção**. Brasília: Hemus, 1989.

SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS (SETOP). **Consulta à Planilha Preço SETOP**, Referência em Abril de 2019. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.mg.gov.br/component/gmg/page/2240-consulta-a-planilha-preco-setop-regiao-central>> Acessado em 10 jun. 2019.

SILVA, M. B., **Manual de BDI**: como incluir benefícios e despesas indiretas em orçamentos de obras de construção civil. São Paulo: Blucher, 2006.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa**: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TCPO. **Tabelas de composição de preços para orçamentos**. 14. ed. São Paulo: Pini, 2012.