

# **ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: estudo comparativo entre lajes maciças e lajes nervuradas em edifícios multifamiliares**

Sebastião dos Santos Silva Filho<sup>1\*</sup>

Geisla Aparecida Maia Gomes<sup>2\*</sup>

## **RESUMO**

Este trabalho demonstra um estudo comparativo entre lajes maciças e lajes nervuradas em edifícios multifamiliares. Tal abordagem se faz necessária para auxiliar o profissional ou empreendedor na tomada de decisão sobre qual sistema utilizar. O propósito deste trabalho é fazer uma comparação quantitativa e qualitativa entre os dois tipos de laje. Esta tarefa será conseguida através da realização de um estudo de caso em uma construção multifamiliar, para a qual será calculado o projeto de estrutura com o auxílio do software Cypecad para os dois tipos de sistemas e será feita uma comparação dos resultados como cargas de pilares, volume de concreto, aço, formas e deslocamento do elemento estrutural com os valores das flechas. A análise dos resultados evidencia as diferenças entre a utilização dos modelos construtivos conferindo vantagens da utilização da laje nervurada sobre a laje maciça, no entanto deve ser analisada a disponibilidade de mão de obra.

**Palavras-chave:** Laje. Edifício. Sistema construtivo.

## **1 INTRODUÇÃO**

A escolha do sistema construtivo utilizado em um edifício é essencial e determinante na mensuração de eficiência da obra.

A necessidade da adaptação de um projeto estrutural a um projeto de arquitetura que não altere as características arquitetônicas gera dificuldades para o engenheiro de estruturas. Projetos que priorizam espaços livres, áreas com espaçamento maior entre pilares para facilitar manobra de veículos em garagens, que permitam a flexibilização das disposições dos cômodos, exigem que o engenheiro estrutural tenha que analisar qual o melhor sistema construtivo irá atender a arquitetura projetada. Segundo Pinheiro (2003), a concepção

---

<sup>1\*</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Unis/MG. E-mail: sebastiao.filho@alunos.unis.edu.br.

<sup>2\*</sup> Prof. Esp. Geisla Aparecida Maia Gomes. Engenheira Civil, Mestranda em Estatística Aplicada. Docente no Centro Universitário do Sul de Minas.

estrutural deve atender a finalidade da edificação e tanto quanto possível as condições impostas pela arquitetura. A fim de escolher um sistema para atender a edificação projetada de forma eficiente, o profissional deve escolher qual o tipo de laje será adequado, considerando o local em que a obra será realizada e disponibilidade de materiais, tecnologias utilizadas e mão de obras na região.

Neste contexto, este trabalho fará uma comparação entre a utilização dos sistemas construtivos de lajes maciças e lajes nervuradas para atender uma determinada construção residencial na cidade de São Lourenço - MG.

A utilização do sistema construtivo de lajes nervuradas segundo Schwetz (2011) tem avançado significativamente, pois permite um espaçamento maior entre os pilares o que é ideal e utilizado com frequência para garagens onde há necessidade de espaços para manobra de veículos e vagas de estacionamento.

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), as lajes maciças são simples e de rápida execução. Por ser de simples execução, não dependem de mão de obra especializada, o que sugere sua construção mais barata neste aspecto e com uma grande oferta de mão de obra. Segundo Carvalho (2016), uma das características da laje maciça é que ela distribui suas reações em todas as vigas de contorno, obtendo um melhor aproveitamento das vigas do pavimento.

A comparação dos sistemas construtivos entre esses dois tipos de lajes se faz necessária para ajudar o profissional na escolha, considerando a oferta de mão de obra e disponibilidade da tecnologia utilizada nas proximidades da obra. Com a apresentação de conceitos e definições básicas dos modelos construtivos de cada uma das lajes, os cálculos das cargas e os esforços solicitados para os sistemas em uma edificação residencial multifamiliar, pode-se fazer uma avaliação de cada um dos dois sistemas, o que auxiliará o engenheiro ou o empreendedor na escolha do sistema que representará o melhor custo benefício para a obra.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

As exigências do mercado da construção civil fazem com que os estudos e análise dos sistemas construtivos sejam cada vez mais aperfeiçoados para garantir qualidade e eficiência.

No Brasil, o sistema construtivo com a utilização de concreto armado é o mais comum. Segundo Carvalho (2016), as principais vantagens do concreto armado são: a

resistência; trabalhabilidade; durabilidade; resistência a choques e vibrações; criação de estruturas monolíticas; e a técnica de execução é razoavelmente dominada em todo país. Já as desvantagens são: dificuldades de reformas e adaptações; é bom condutor de calor; necessidade de um sistema de fôrmas e escoramentos; e a principal desvantagens é o elevado peso próprio.

Segundo Carvalho (2016, p. 46) “o cálculo, ou dimensionamento, de uma estrutura deve garantir que ela suporte, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, todas as solicitações a que estará submetida durante sua execução e utilização”.

Quando se pretende calcular uma estrutura composta de lajes, vigas e pilares, deve-se antes de tudo determinar que tipo de laje será utilizado, para que seja possível determinar as cargas, e posteriormente, detalhar as vigas e na sequência os pilares (CARVALHO, 2016).

As lajes são elementos construtivos que servem como cobertura ou piso de uma edificações que separa os pavimentos de um edifício. Segundo Franca e Fusco (1997) as lajes possuem de um modo geral duas funções estruturais que é suportar as cargas verticais aplicadas ao longo dos pisos e distribuí-las nas vigas e pilares além de distribuírem pelos diferentes pilares as forças horizontais atuantes.

As lajes podem ser classificadas em vários tipos, de acordo com seu sistema construtivo, dentre os tipos existem as lajes maciças e as lajes nervuradas.

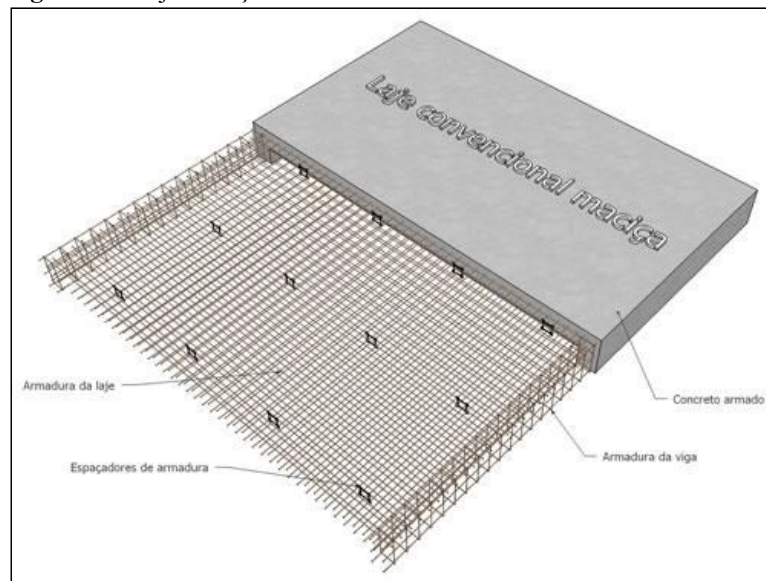
## **2.1 Lajes maciças**

As lajes maciças, como o próprio nome sugere, é um tabuleiro maciço em concreto armado e segundo a NBR 6118:2014 sua espessura mínima é de oito centímetros para lajes não em balanço e 10 cm para lajes em balanço.

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), as lajes maciças por apresentarem comportamentos de placas, ou seja, tensões significativas em duas direções, está submetida a esforços solicitantes de menor intensidade que o elemento com comportamento de viga, o que reduz em 70% a flecha da laje em comparação com uma viga. Ainda segundo Carvalho e Pinheiro (2009), a vantagem com relação à deformação diminui consideravelmente quando o pavimento apresenta em planta uma forma retangular e principalmente se um dos lados do pavimento for muito maior do que o outro, ou seja, mais que duas vezes a extensão do menor lado, pois neste cenário a laje apresentará comportamento de viga.

Carvalho e Pinheiro (2009) apresentam como vantagens das lajes maciças sua simples e rápida execução depois de montado o tabuleiro de formas. Em pavimentos tipos, ou seja que possuem a mesma geometria, as formas utilizadas em um pavimento podem ser reutilizadas várias vezes na construção dos outros pavimentos, o que diminui o custo final da obra. A figura 01 ilustra o tabuleiro com laje maciça.

**Figura 01:** Laje maciça.



**Fonte:** Vasconcellos (2012).

O peso próprio da laje maciça é uma desvantagem, pois sobrecarrega toda a estrutura que a sustenta. Além do peso próprio a laje maciça apresenta um consumo de concreto desnecessário, isto é concreto sujeito à tração. Segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p.28), “[...] para pequenos vãos, pelo menos no estado limite último, boa parte do concreto da laje maciça pouco contribui na resistência à flexão, pois geralmente a linha neutra tem pouca profundidade, resultando em uma grande quantidade de concreto tracionado.”

## 2.2 Lajes nervuradas

Segundo a NBR 6118:2014 “são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

Segundo Franca e Fusco (1997, p. 5) “as lajes nervuradas constituíram-se em uma evolução natural da laje maciça, resultante da eliminação da maior parte do concreto abaixo da linha neutra,[...]”. Com a eliminação de boa parte do concreto que pouco contribui para a

resistência à flexão, as lajes nervuradas torna-se consideravelmente mais leves em relação às lajes maciças o que lhe confere sua principal vantagem.

A substituição do concreto por um material leve na zona abaixo da linha neutra entre as nervuras, diminui de maneira considerável o peso próprio da laje nervurada, os esforços solicitados à flexão são concentrados apenas nas nervuras que se comportam como vigas e proporciona um melhor e eficiente aproveitamento da união aço e concreto segundo Franca e Fusco (1997). A diminuição do peso próprio das lajes contribui para a diminuição dos esforços solicitados nas vigas, pilares e fundações, o que favorece o dimensionamento da estrutura de um modo geral. A figura 2 apresenta uma laje nervurada executada, vista do teto sem os elementos de preenchimentos.

**Figura 2:** Laje nervurada concretada.



**Fonte:** Vasconcellos (2012).

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), as lajes nervuradas podem ser unidirecionais ou bidirecionais, ou seja, as nervuras se apresentam apenas em uma das direções e nas duas direções respectivamente. As lajes nervuradas em uma direção são normalmente utilizadas para pavimentos em que sua forma geométrica apresenta um dos lados bem maior que o outro. Em contraponto, as lajes nervuradas em duas direções são recomendadas para vãos em que a relação entre suas extensões são menores ou igual a dois, pois em outro caso a vantagem obtida na estrutura não compensam as dificuldades encontradas na execução.

Segundo Franca e Fusco (1997), com a utilização das lajes nervuradas pode-se obter a vantagem de apoiar paredes diretamente sobre as lajes e também proporcionar um maior

espaço livre entre os pilares. Além disso a técnica de pré-fabricação de peças ganharam espaço na execução das estruturas, o que torna a execução mais rápida.

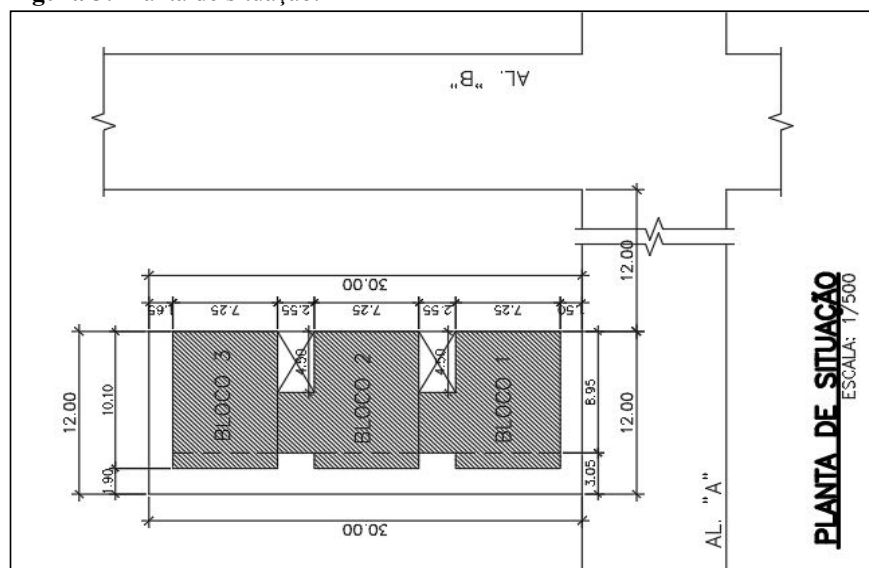
Segundo a NBR 6118:2014, nas lajes nervuradas a espessura da mesa não deve ser inferior a quatro centímetros e quando houver tubulações na horizontal não deve ser inferior a cinco centímetros. As nervuras devem ter espessura mínimas de cinco centímetros e oito centímetros se houver armadura de compressão.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho se realiza com um estudo de caso de uma construção multifamiliar na cidade de São Lourenço - MG, para a qual é feito o cálculo estrutural com base nos conceitos adquiridos com a bibliografia e de acordo com as NBR 6120/1980 e NBR 6118/2014, para os dois sistemas construtivos de lajes. Adotou-se a mesma metodologia e os mesmos parâmetros de cálculos para o dimensionamento dos projetos de estruturas para os dois sistemas construtivos de laje.

O projeto multifamiliar utilizado para a finalidade proposta é composto de três blocos de construção, sendo o pavimento térreo garagem com vaga para dois automóveis, no primeiro e no segundo pavimentos um apartamento com dois quartos, sendo um suíte, sala, banheiro, cozinha, área de serviço e varanda, o que compõe uma área de 73,22m<sup>2</sup> para cada pavimento e totaliza 219,66m<sup>2</sup> de construção. O terreno onde será implantada a obra possui doze metros de testada e trinta metros de comprimento, totalizando 360,00 m<sup>2</sup>. A figura 03 ilustra o terreno e projeção da construção e suas respectivas medidas.

**Figura 3:** Planta de situação.

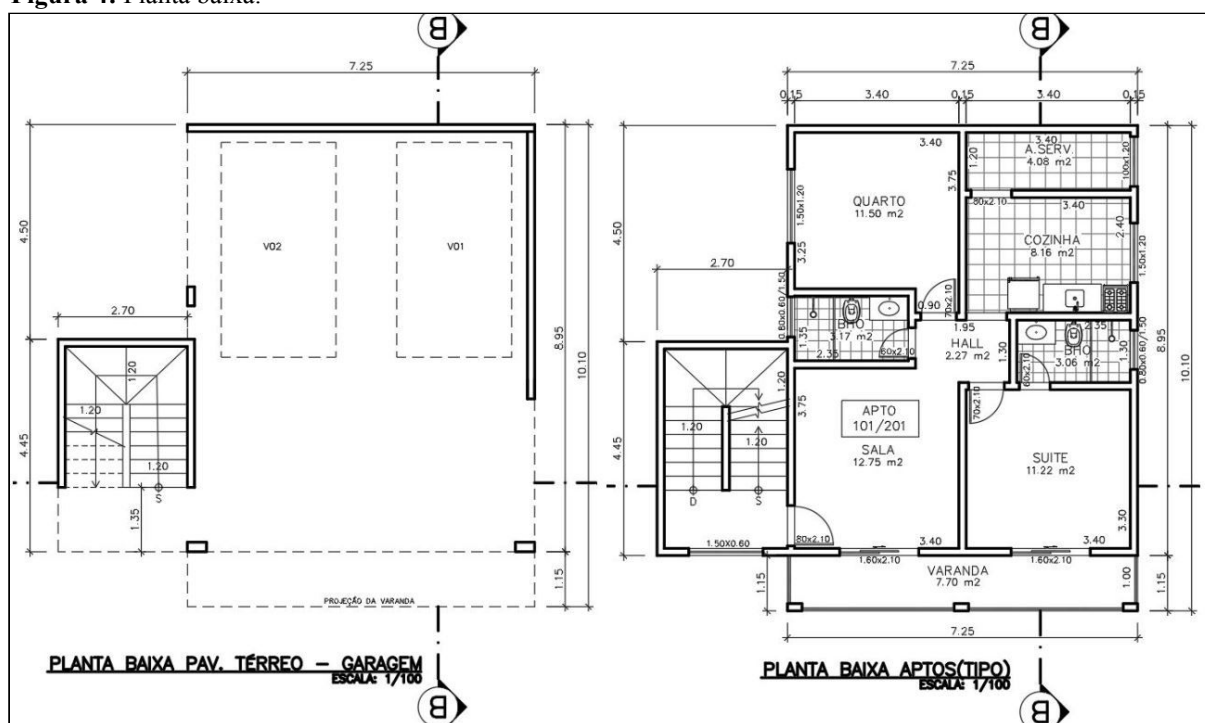


Fonte: o autor.

Para que este empreendimento possa ser executado dentro deste terreno e ao mesmo tempo possa atender os requisitos das normas municipais de uso e ocupação do solo e código de obras da cidade de São Lourenço, é necessário que o pavimento térreo garagem tenha o máximo de espaço livre, para garantir espaço suficiente para manobras de veículos e vagas de estacionamento para cada apartamento.

Como pode-se observar a construção estende-se por quase todo o terreno, o que traduz em uma taxa de ocupação de números de 67%. Desta forma percebe-se também que as áreas livres possuem dimensões pequenas, o que inviabiliza e prejudica a questão de vagas para veículos e manobras. A figura 4 ilustra as plantas baixas do pavimento térreo, do primeiro e do segundo pavimento da obra.

**Figura 4:** Planta baixa.



Fonte: o autor.

A solução escolhida pelo profissional de arquitetura, foi utilizar todo o pavimento térreo de cada bloco de construção como estacionamento. Para isso o pavimento térreo deve ter sua área toda livre, ou seja, sem pilares no centro ou paredes.

As características construtivas dos apartamentos são:

- paredes: composta de alvenaria de blocos cerâmicos furados, revestidos em argamassa de cimento cal e areia;
- contrapisos: argamassa de cimento e areia com espessura de 4 cm;

- Piso: cerâmico porcelanato, espessura de 1cm;
- Teto: revestimento em argamassa de cimento cal e areia, espessura de 2 cm;

Com as informações e características da construção que devem ser atendidas pelo projeto estrutural, fez-se a concepção do projeto, pré-dimensionamento de elementos estruturais, de acordo com as normas citadas e posteriormente composição dos carregamentos para lançamento das cargas no software.

## 5 DESENVOLVIMENTO, RESULTADO E DISCUSSÃO

Para o cálculo do projeto estrutural, primeiramente fez-se uma concepção do projeto, com uma pré-definição dos elementos estruturais, como dimensões de pilares, suas locações, dimensões de vigas e espessuras de laje, levando em consideração as características arquitetônicas, de utilização da construção e atendendo as exigências da NBR 6118/2014.

Para o pré-dimensionamento destes elementos utilizou-se as dimensões mínimas permitidas:

- Pilares: segundo a NBR 6118/2014 a menor dimensão da seção do pilar é 19 cm, sendo que a área da seção não pode ser menor que 360cm<sup>2</sup>, desta forma arbitrando-se uma base da seção de 19 cm, tem-se:

$$A_{seção} = b_{base} \cdot h_{altura} \Rightarrow 360 = 19 \cdot h_{altura} \Rightarrow h_{altura} \approx 19 \text{ cm}, \quad \text{adotando-se}$$

medidas com valores múltiplos de 5 cm, logo obtém-se a dimensão de 20 x 20 cm para o pilar;

- Vigas: segundo Pinheiro(2007), de uma forma grosseira, pode-se adotar a altura da viga como 10% do vão, ou seja, da distância entre os pilares de apoio. Segundo a NBR 6118/2014 a menor largura da viga deve ser  $b_w = 20$  cm, considerando o vãos entre os pilares da edificação de aproximadamente 4 m , tem -se assim a dimensão de 20 x 40 cm para as vigas.
- Lajes: segundo a NBR 6118/2014 para lajes maciças a menor espessura quando existe laje em balanço é de 10 cm. Para as lajes nervuradas a menor espessura da mesa quando existe tubulações é de 5cm e o espaçamento entre nervuras de até 65 cm não há necessidade de verificação de compressão da mesa, sendo que as larguras das nervuras não devem serem menores do que 8 cm para não haver armaduras de compressão.



De acordo com a tabela 6.1 da NBR 6118/2014 a classe de agressividade adotada para o local foi a classe II, moderada, com risco de deterioração pequeno para os elementos estruturais. Para esta classe de Agressividade o recobrimento das armaduras dos elementos devem ter os valores mínimos como demonstrados na tabela 1:

**Tabela 1:** Cobrimento nominal para elementos de concreto armado - CAA II

Laje	25 mm
Pilares	30 mm
Vigas	30 mm

**Fonte:** NBR 6118/2014.

Segundo a tabela 7.1 da NBR 6118/2014 para a classe de agressividade CAA II a resistência do concreto deve ser maior ou igual a  $f_{ck}$  25 Mpa, desta forma, para os elementos de concreto armado foi considerado um concreto de  $f_{ck} = 30$  Mpa de resistência à compressão, aço CA 50 e coeficiente de ponderação de 1,4 e 1,15 respectivamente, conforme determinado pela NBR 6118/2014.

Posteriormente definiu-se as cargas permanentes e as sobrecargas de utilização da edificação conforme a NBR 6120/1980. Para o cálculo das cargas permanentes oriundas das paredes, rebocos, pisos e contrapisos utilizou-se os seguintes valores característicos dos materiais :

**Tabela 2:** peso específicos dos materiais.

Tijolos furados	13 kn/m <sup>3</sup>
argamassa de cimento cal e areia	19 kn/m <sup>3</sup>
Granito	28 kn/m <sup>3</sup>
concreto armado	25 kn/m <sup>3</sup>

**Fonte:** NBR 6120/1980.

A composição de cargas permanentes foram calculadas conforme segue:

- Cargas do peso próprio:

As cargas correspondente ao peso próprio das estruturas serão consideradas e calculadas automaticamente pelo software e recalculada de acordo com alterações da estrutura para atender as solicitações de serviço;

- Cargas permanentes:

Paredes externas: as paredes externas possuem 20 cm de espessuras e é composta de tijolos furados cerâmicos e a espessura do revestimentos 2 cm de espessura na duas faces, a parede possui altura de 2,80 m, para o cálculo não foram descontados os vão de aberturas, como portas e janelas, assim tem-se:

$$Q_{alvenaria} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot b_{\text{espessura da parede}} \cdot h_{\text{altura da parede}}$$

$$Q_{alvenaria} = 13 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 0,20\text{[m]} \cdot 2,80 \text{ [m]} = 7,28 \text{ kn/m}$$

$$Q_{revestimento} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot 2 \cdot b_{\text{espessura revestimento}} \cdot h_{\text{altura da parede}}$$

$$Q_{revestimento} = 19 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 2 \cdot 0,02\text{[m]} \cdot 2,80 \text{ [m]} = 2,12 \text{ kn/m}$$

$$Q_{paredes\ externas} = 7,28 + 2,12 = 9,40 \text{ kn/m}$$

Paredes internas: as paredes internas possuem espessuras de 10 cm de alvenaria, 1,5 cm de revestimento em cada face e possui altura de 2,80 m. a carga das paredes internas, apesar de serem cargas que atuaram sobre a laje como cargas parcialmente pontuais, elas serão consideradas como cargas distribuídas, nas paredes internas também não foram descontados os vãos de portas, assim tem-se:

$$Q_{alvenaria} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot b_{\text{espessura da parede}} \cdot h_{\text{altura da parede}}$$

$$Q_{alvenaria} = 13 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 0,10\text{[m]} \cdot 2,80 \text{ [m]} = 3,64 \text{ kn/m}$$

$$Q_{revestimento} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot 2 \cdot b_{\text{espessura revestimento}} \cdot h_{\text{altura da parede}}$$

$$Q_{revestimento} = 19 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 2 \cdot 0,015\text{[m]} \cdot 2,80 \text{ [m]} = 1,59 \text{ kn/m}$$

$$Q_{paredes\ internas} = 3,64 + 1,59 = 5,23 \text{ kn/m}$$

A proposta é construir uma laje que permite flexibilidade no layout do apartamento, não se sabe o correto posicionamento das paredes, assim conforme a NBR 6120/1980 em seu item 2.2, diz que quando o cálculo não for feito por processo exato, deve-se considerar a carga das paredes como cargas uniformemente distribuída, sendo que o valor por metro quadrado de piso não pode ser inferior a 1/3 do valor do metro linear de parede pronta, restringindo o menor valor a 1kn/m<sup>2</sup>. Desta forma pela NBR 6120/1980, tem-se;

$$Q_{paredes\ internas} = 5,23 / 3 = 1,74 \text{ Kn/m}^2$$

Calculando do modo exato, para se obter a carga distribuída, multiplicou-se a metragem total de paredes internas pela carga linear de parede pronta e dividiu-se pela área da superfície da laje interna, logo:

$$Q_{paredes\ internas} = 5,23 \text{ [kn/m]} \cdot 27,40\text{[m]} / 60,11\text{[m}^2\text{]} = 2,38 \text{ kn/m}^2$$

O segundo valor calculado foi maior que o valor calculado conforme critérios estipulados pela NBR 6120/1980. Neste caso adotou-se o segundo valor para os cálculos.

Contrapiso e piso: O contrapiso é o lastro de regularização feito para receber o piso, ele possui uma espessura de 4 cm e é composto de cimento e areia. O piso considerou-se um tipo de revestimento com peso específico similar ao peso específico do granito, com espessura de 1 cm, assim tem-se:

$$Q_{\text{contrapiso}} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot h_{\text{espessura da camada}}$$

$$Q_{\text{contrapiso}} = 19 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 0,04 \text{ [m]} = 0,76 \text{ kn/m}^2$$

$$Q_{\text{piso}} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot h_{\text{espessura da camada}}$$

$$Q_{\text{piso}} = 28 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 0,01 \text{ [m]} = 0,28 \text{ kn/m}^2$$

$$Q_{\text{revest. teto}} = \gamma_{\text{peso específico}} \cdot h_{\text{espessura da camada}}$$

$$Q_{\text{revest. teto}} = 19 \text{ [kn/m}^3\text{]} \cdot 0,02 \text{ [m]} = 0,38 \text{ kn/m}^2$$

Desta forma tem-se o conhecimento das cargas permanentes utilizadas para os pavimentos tipos. Para a laje de cobertura foi utilizado o mesmo método, considerando que existe uma platibanda de 1m de altura e um telhado de embutido de fibrocimento. Salienta-se que não foi considerada sobre a laje de cobertura as cargas referentes a caixa d'água, pois esta está localizada sobre a caixa de escada que não faz parte do estudo.

- Cargas de utilização:

Segundo a NBR 6120/1980 as cargas de utilização ou acidental é toda carga que atua sobre a estrutura em função do seu uso, para edificações residenciais a NBR 6120/1980 traz os seguintes valores, conforme demonstra a tabela 3:

**Tabela 3:** cargas acidentais.

Edifício residencial	sala, copa, cozinha e banheiro e dormitórios	1,5 Kn/m <sup>2</sup>
	Lavanderia, área de serv. e despensa	2,0 Kn/m <sup>2</sup>
	Forro sem acesso de pessoas	0,5 Kn/m <sup>2</sup>

Fonte: NBR 6120/1980.

Conforme a finalidade proposta neste trabalho, a laje deve possuir uma carga uniformemente distribuída em toda sua área, assim utilizou-se uma média aritmética entre os valores de cada compartimento:

$$Q_{\text{utilização}} = (q_{\text{bho } 1} + q_{\text{bho } 2} + q_{\text{coz.}} + q_{\text{sala}} + q_{\text{dorm } 1} + q_{\text{dorm } 2} + q_{\text{a.serv.}})/7$$

$$Q_{utilização} = (1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 2,0)/7 = 1,57 \text{ kn/m}^2$$

A tabela 4 demonstra o resumo das cargas calculadas para cada pavimento da edificação:

**Tabela 4:** cargas acidentais.

itens	cargas superficiais permanente	cargas lineares permanentes vigas de contorno	cargas superficiais de utilização
laje de piso primeiro pavimento	3,80 Kn/m <sup>2</sup>	9,40 Kn/m	1,57 Kn/m <sup>2</sup>
Laje de piso segundo pavimento	3,80 Kn/m <sup>2</sup>	9,40 Kn/m	1,57 Kn/m <sup>2</sup>
Laje de forro segundo pavimento	0,5 Kn/m <sup>2</sup>	3,36 Kn/m	0,5 Kn/m <sup>2</sup>

**Fonte:** NBR 6120/1980.

Após obtenção dos valores das cargas, sobrecargas e predefinições dos elementos estruturais de acordo com as normas, fez-se o lançamento deste dados no programa Cypecad afim de agilizar o processo de cálculos e verificações dos estados limites últimos e de serviços da estrutura. As combinações das cargas para verificar o estado limites de serviços é feita automaticamente pelo software, possibilitando várias simulações de cálculos. O software calcula conforme os dados lançados pelo usuário, caso alguma verificação esteja em desacordo com a norma, ele aponta o erro. No caso de erro, é preciso modificar os dados de lançamento ou geometria da estrutura para chegar em um resultado satisfatório, isto é, aquele que apresentar menos gastos de materiais com mesmo nível de qualidade. Na avaliação da qualidade da estrutura observou-se apenas os dados com relação a deformação da estrutura, deslocamento vertical das lajes, que deve se manter dentro do limite estabelecido pela NBR 6118/2014.

Os procedimentos descritos foram realizados para os cálculos dos dois tipos de laje, mantendo a mesma configuração do programa e suas predefinições.

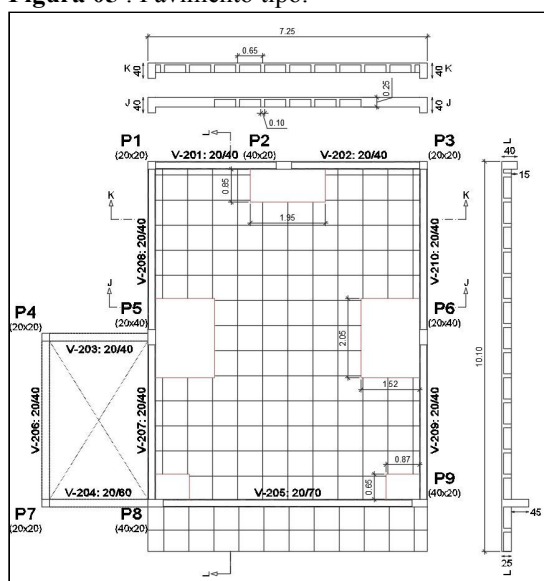
O relatório e as tabelas geradas pelo programa cypecad contém os dados como ferragem, volume de concreto, formas e deformações apresentadas pelos dois sistemas construtivos. A versão do software utilizada foi a versão 2016.

## 5.1 Resultados e discussão laje nervurada

Após lançamentos dos dados no software, o programa analisou a geometria das estruturas de acordo com as dimensões predefinidas, calculou as armaduras e fez as verificações de cada elemento da estrutura de acordo com a norma NBR 6118/2014. Das dimensões iniciais dos elementos de estruturas lançadas no programa, foi preciso fazer algumas modificações para que as verificações de estado de serviço fossem atendidas.

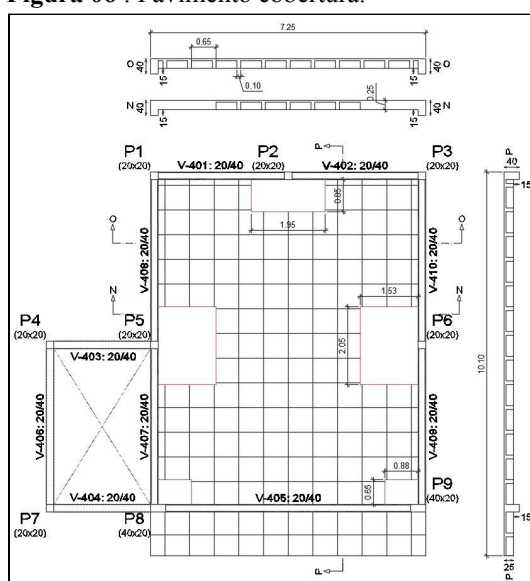
A figura 05 e 06 ilustra as dimensões dos elementos estruturais do pavimento tipo e da cobertura respectivamente.

**Figura 05 :** Pavimento tipo.



Fonte: o autor.

**Figura 06 :** Pavimento cobertura.



Fonte: o autor.

As dimensões apresentadas nas duas figuras possuem medidas diferentes nas vigas entre o pilar 07, 08 e 09. Essa diferença é devido a sobrecarga de utilização e cargas de paredes, serem menores no pavimento de cobertura, fazendo com que a seção da viga pudesse ser menor. Os gráficos 01, 02 e 03 demonstram o consumo de materiais para a laje.

**Gráficos 01, 02 e 03:** Consumo de materiais.

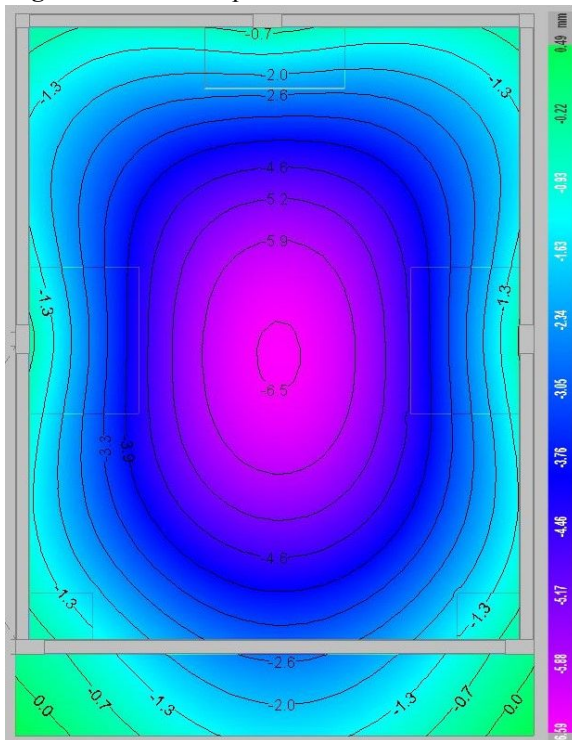


Fonte: o autor.

Os valores demonstrados nos gráficos, de formas, concreto e aço para cada grupo de elemento da estrutura foram arredondados considerando uma casa de precisão para facilitar a visualização e comparação.

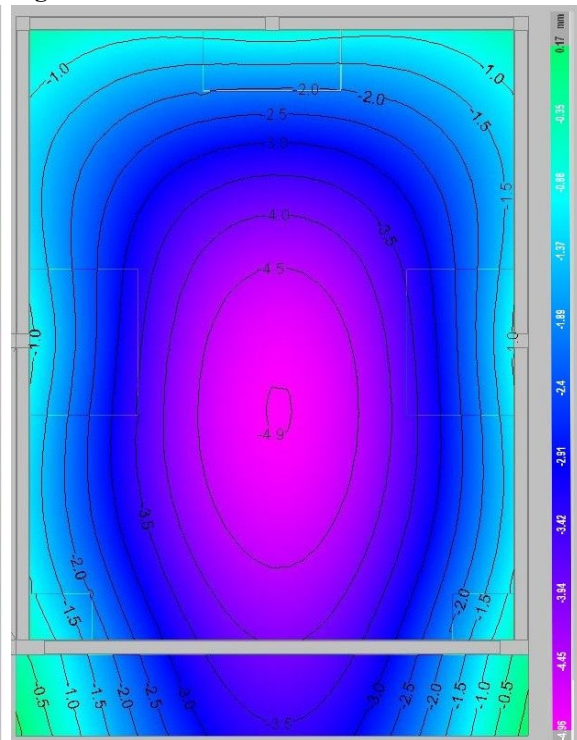
Os resultados qualitativos foram analisados de acordo com os valores de deslocamentos das lajes, ou seja pelos valores das flechas apresentadas por cada pavimento da construção. A figuras 07 08 ilustra os resultados de deslocamentos calculados para cada pavimento da obra para as lajes nervuradas.

**Figuras 07:** Flechas pavimentos 1 e 2.



**Fonte:** O autor.

**Figuras 08:** flechas cobertura.



**Fonte:** O autor.

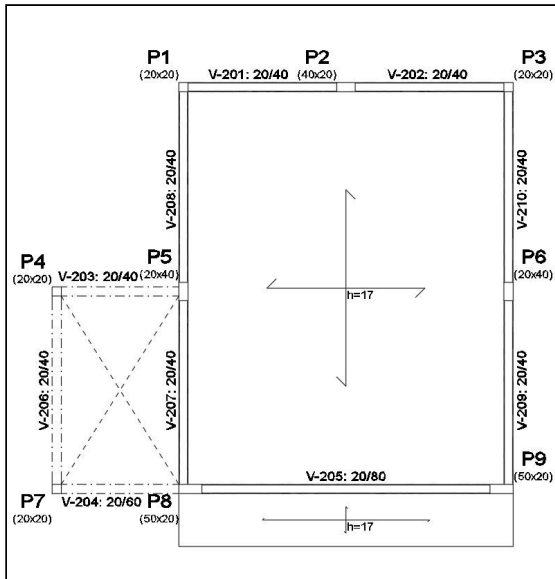
A laje da cobertura apresentou flechas com valores menores do que no pavimento tipo devido às sobrecargas de utilização serem menores e não haver divisões de compartimentos com paredes sobre a laje o que diminui também a ação de cargas permanentes.

## 5.2 Resultados e discussão laje maciça

Para os cálculos considerando o sistema com lajes maciças, utilizou-se os mesmos parâmetros para os lançamentos no software.

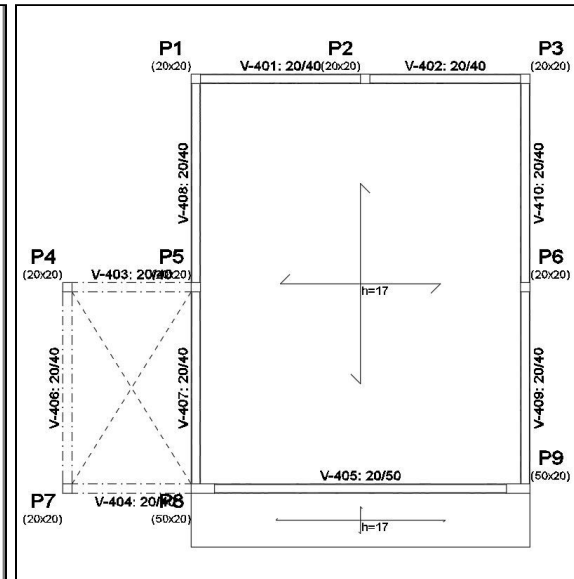
As medidas definitivas dos elementos estruturais após os cálculos realizados pelo software cypecad estão demonstradas nas figuras 09 e 10, pavimentos tipo e cobertura respectivamente.

**Figuras 09:** Pavimento tipo.



Fonte: O autor.

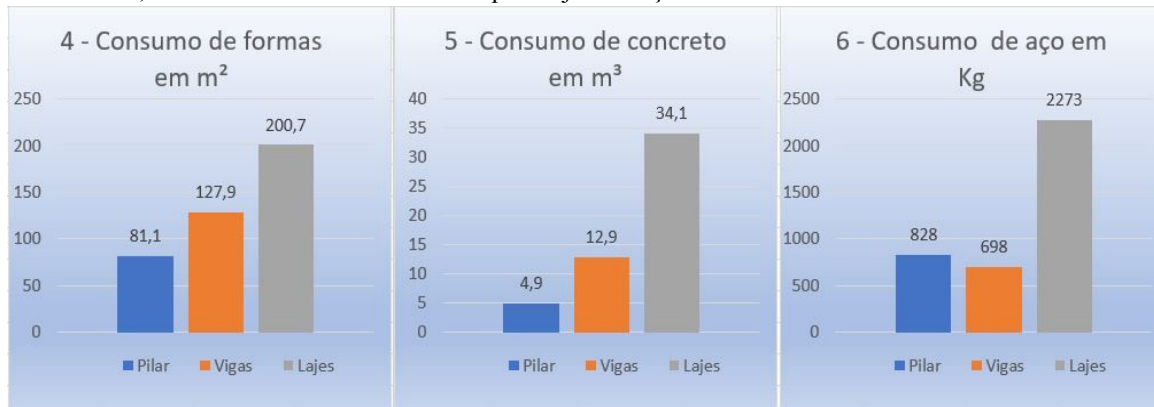
**Figuras 09:** Pavimento tipo.



Fonte: O autor.

O consumo de materiais está representado nos gráficos 04, 05 e 06.

**Gráficos 04, 05 e 06:** Consumo de materiais para lajes maciças.



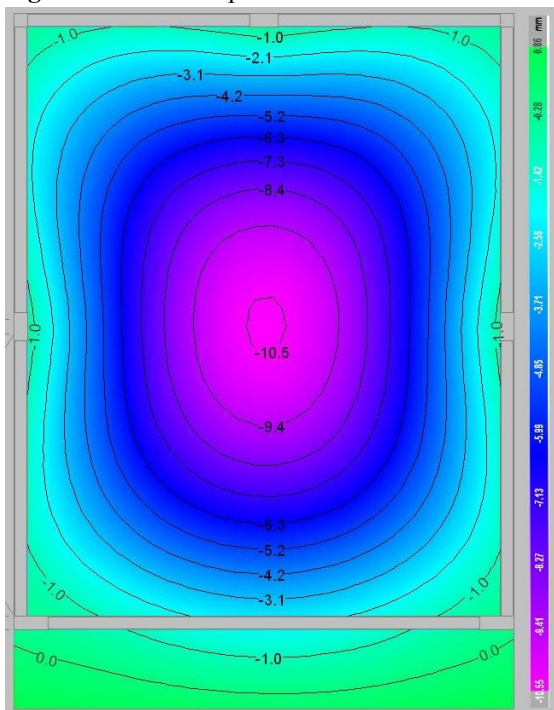
Fonte: O autor.

Os resultados qualitativos foram analisados de acordo com os valores de deslocamentos das lajes, ou seja pelos valores das flechas apresentadas por cada pavimento da construção, da mesma forma como foi apresentado para as lajes nervuradas.

Os valores calculados para as flechas foram obtidos através do software cypecad, considerando a combinação de serviço mais desfavorável para a estrutura.

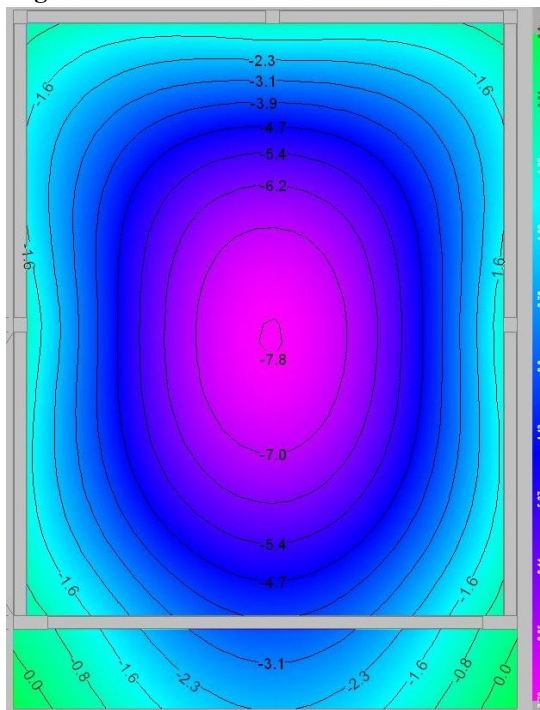
As figuras 11 e 12 apresenta as flechas calculadas para cada pavimento de lajes maciças.

**Figuras 11:** Flechas pavimentos 1 e 2.



Fonte: O autor.

**Figuras 12:** flechas cobertura.



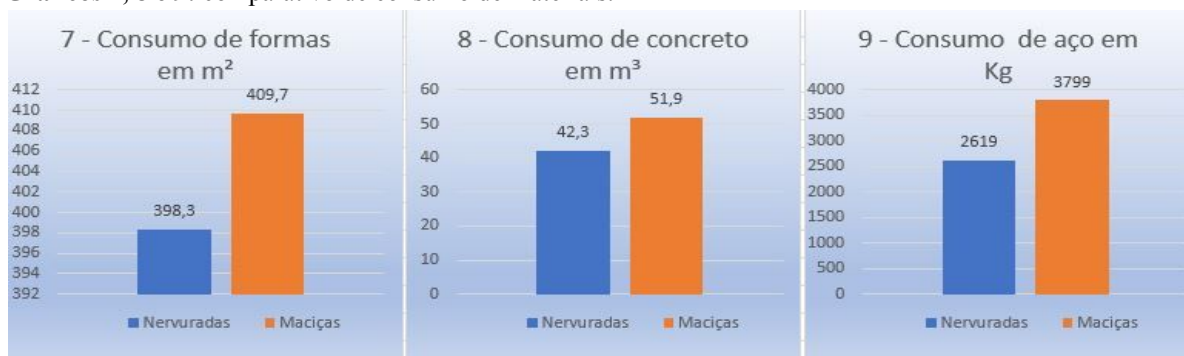
Fonte: O autor.

Da mesma forma como ocorreu nas lajes nervuradas, as flechas da laje de cobertura foram menores que as flechas no pavimento tipo devido às sobrecargas e cargas permanentes serem menores.

### 5.3 Comparação de resultados

A comparação dos resultados entre os dois sistemas construtivos realizou-se com base no consumo total de formas, concreto e aço. Para obter-se o total, somou-se os resultados obtidos em cada grupo de elementos estruturais como pilares, vigas e lajes. Os somatórios obtidos estão representados nos gráficos 7, 8 e 9 que destaca as diferenças de consumo de materiais entre os dois sistemas.

**Gráficos 7, 8 e 9:** comparativo de consumo de materiais.



Fonte: o autor.



Nota-se com base nos dados apresentados que a estrutura que utilizou a laje maciça consumiu mais material que a nervurada nos três itens comparados. O consumo de formas para a laje maciça observou-se um pequeno aumento de 2,86%, esse aumento é referente às formas gastas nos pilares e vigas, já que a laje possui a mesma área de superfície plana. O concreto teve um aumento considerável na casa de 22,69 %, já o aço foi o material que mais apresentou diferença, um aumento de 45,05 % em relação a laje nervurada.

O comparativo em relação a qualidade apresentada por cada sistema realizou-se através das flechas apresentadas pelas lajes. Na tabela 05 estão demonstrados os valores obtidos.

**Tabela 05:** Maior flecha apresentada em mm.

Tipo de laje	Pavimento tipo	cobertura
Nervurada	6,5	4,9
Maciça	10,5	7,8

**Fonte:** o autor.

Os valores das flechas apresentados na tabela 05 foram obtidos através da observação dos mapas de deslocamento representados nas figuras 07, 08, 11 e 12. Os valores para os dois tipos de laje estão dentro do limite estabelecido pela norma, no entanto percebe-se que a laje nervurada apresentou valores menores que a laje maciça, o que lhe confere um melhor desempenho.

Outros dados importantes e que influenciam diretamente no custo da obra são os dados de cargas que chegam no solo, pois eles irão compor juntamente com os dados geotécnicos os parâmetros para a escolha do tipo de fundação e seu dimensionamento. A tabela 06 apresenta os dados de cargas de cada pilar para as duas situações.

**Tabela 06:** Cargas apresentadas para cada pilar em Kn.

Itens	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Nervurada	125,4	396,6	130,1	14,5	545,8	483,5	10,0	496,9	402,7
Maciça	142,1	434,4	137,6	17,3	568,5	513,2	19,6	543,8	463,6

**Fonte:** o autor.

Percebe-se que os valores das cargas apresentadas para os pilares do sistema com laje maciça são maiores, este fato era de se esperar pois como foi visto o consumo de concreto e aço nas lajes nervuradas foram menores, o que conseqüentemente a torna mais leve. Com

estes dados conclui-se que os elementos de fundação para a laje maciça suportarão uma carga maior, desta forma suas dimensões serão maiores o que acarretará num gasto maior.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo apresentado levou em consideração dois principais quesitos para a comparação entre os sistemas construtivos de laje maciça e lajes nervuradas, que foram os gastos de materiais e o desempenho com base na deformação.

Neste contexto verifica-se que a laje nervurada apresenta uma vantagem considerável em relação à laje maciça, pois apresentou um gasto de materiais consideravelmente menor, seu desempenho quanto a deformação foi melhor, apresentando uma flecha menor e vai necessitar de uma fundação menos robusta devido ao seu peso próprio também ser menor. Nesta ótica a escolha da laje nervurada na execução da obra seria inquestionável, no entanto para que seja determinada a escolha do tipo de laje, falta analisar um outro quesito tão importante quanto o gasto com materiais, que é a mão de obra.

A complexidade de compor os custos com mão de obra para a execução de uma laje nervurada, sendo uma mão de obra especializada, o que não foi o foco deste trabalho e que o quesito mão de obra assim como consumo de materiais e desempenho é um fator determinante na escolha do sistema construtivo, torna-se impossível afirmar qual laje apresentaria menos gastos e seria melhor opção de escolha.

No entanto, para esta obra, realizou-se uma pesquisa de mercado a fim de verificar a disponibilidade deste serviço na região e verificou-se que não há empresas e mão de obras próximas do local da obra que ofereçam o serviço, estes serviços teriam que ser contratados em outro local. O custo com transporte e estadia para trazer este tipo de serviço de outros locais que são consideravelmente distantes devem ser menores ou iguais a economia apresentada com os gastos de materiais para que a laje nervurada seja realmente viável para a obra. O levantamento destes custos e comparação com a economia de materiais no uso da laje nervurada pode ser temas de trabalhos futuros com um aprofundamento maior na questão de mão de obra.

## **ARMED CONCRETE STRUCTURE: comparative study between massive slabs and ribbed slabs in multifamily buildings**

### **ABSTRACT**

This article demonstrates a comparative study between massive slabs and ribbed slabs in multifamily buildings. Such an approach is necessary to assist the professional or entrepreneur in making decisions about which system to use. The purpose of this study is to make a quantitative and qualitative comparison between the two types of slab. This task will be achieved by conducting a case study in a multifamily construction, for which the design of the structure will be calculated with the aid of Cypecad software for the two types of systems and a comparison will be made of the results as pillars, volume of concrete, steel, shapes, and displacement of the structural element with the values of the arrows. The analysis of the results shows the differences between the use of the construction models conferring advantages of the use of the slab ribbed on the massive slab, nevertheless the availability of labor should be analyzed.

**Keywords:** Slab. Building. Construction system.

### **REFERÊNCIAS**

ABNT NBR 6118:2014: **Projetos de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT NBR 6120:1980: **Cargas para os cálculos de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas**. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. 46 p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

CARVALHO, Roberto Chust; LIBÂNIO Miranda Pinheiro. **Cálculo de estruturas usuais de concreto armado: volume 2**. São Paulo: Pini, 2009.

FRANCA, A.B.M; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo, AFALA E ABRAPEX, 1997.

SCHWETZ, P. F. **Análise numérico experimental de lajes nervuradas sujeitas a cargas estáticas de serviço.** 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

VASCONCELLOS, Juliano et al. **Catálogo Digital de Detalhamento da Construção.** Disponível em <https://cddcarqfeevale.wordpress.com>. acesso em 12/10/2018.