



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

KAROLAYNE DA COSTA DIAS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES
MACIÇAS E LAJES NERVURADAS MOLDADA IN LOCO: UM ESTUDO DE CASO
DO EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DONA NICE**

**UBÁ/MG
2024**

KAROLAYNE DA COSTA DIAS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES
MACIÇAS E LAJES NERVURADAS MOLDADA IN LOCO: UM ESTUDO DE CASO
DO EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DONA NICE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Erika Maria Carvalho Silva Gravina.

**UBÁ/MG
2024**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir concretizar esse sonho e por iluminar meu caminho com força e sabedoria. Sem Sua presença constante, este momento não seria possível.

À minha mãe, ao meu irmão e ao meu filho, que são a minha fonte de inspiração diária e o motivo da minha constante busca por superação. O amor e apoio de vocês são fundamentais para minha trajetória.

À professora Erika Maria Carvalho Silva Gravina, minha orientadora, pelo suporte, dedicação e paciência. Suas orientações foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

À professora Jaqueline Teixeira Bousado, pela disponibilização de material de apoio que enriqueceu a pesquisa e contribuiu significativamente para o desenvolvimento deste estudo.

Aos colaboradores do Residencial Dona Nice, por fornecerem o material necessário para o estudo de caso e pelo suporte contínuo durante esse processo. A disponibilidade e colaboração de todos foram fundamentais para a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto, expresso minha mais sincera gratidão!

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS MOLDADA IN LOCO: UM ESTUDO DE CASO DO EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DONA NICE

RESUMO

Os pisos das construções podem ser feitos com diferentes tipos de lajes, como maciças e nervuradas. Elas desempenham papel essencial na distribuição das cargas geradas pelo uso da edificação, transferindo-as para vigas, pilares e fundações, garantindo a estabilidade e segurança da construção. As lajes maciças têm espessura uniforme e são suportadas por vigas, garantindo a distribuição de cargas. Já as lajes nervuradas possuem nervuras armadas que suportam a tração. O espaço entre as nervuras pode ser preenchido com material leve para nivelar a superfície inferior da laje. O presente estudo teve como objetivo analisar qual tipo de laje estrutural é mais apropriado para a construção do Edifício Residencial Dona Nice, localizado em Senador Firmino – MG. Este projeto abrange um total de 12 pavimentos. A pesquisa focou na comparação entre lajes maciças e nervuradas, visando determinar qual opção oferece o melhor equilíbrio entre custo e desempenho, com o intuito de otimizar os recursos disponíveis. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as características de cada sistema construtivo. Na análise, a laje nervurada apresenta-se mais econômica que a laje maciça devido ao menor consumo de materiais, como concreto, aço e formas, resultando em uma estrutura mais leve, sem perder a resistência. Este sistema oferece também maior flexibilidade no *layout* dos apartamentos, permitindo modificações no espaço sem a interferência de vigas e pilares aparentes, pois sua implementação permite a redução de pilares e vigas. Assim, a escolha pela laje nervurada traz benefícios em termos de custo, aproveitamento do espaço e eficiência estrutural.

Palavras-chave: Lajes maciças. Lajes nervuradas. Custos. Sistemas construtivos.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS MOLDADA IN LOCO: UM ESTUDO DE CASO DO EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DONA NICE

ABSTRACT

The floors of buildings can be made with different types of slabs, such as solid and ribbed slabs. These slabs play an essential role in distributing the loads generated by the building's use, transferring them to beams, columns, and foundations, ensuring the stability and safety of the structure. Solid slabs have a uniform thickness and are supported by beams, ensuring load distribution. Ribbed slabs, on the other hand, have reinforced ribs that support tension. The space between the ribs can be filled with lightweight material to level the slab's underside surface. The objective of this study was to analyze which type of structural slab is more suitable for the construction of the Dona Nice Residential Building, located in Senador Firmino – MG. This project comprises a total of 12 floors. The research focused on comparing solid and ribbed slabs, aiming to determine which option provides the best balance between cost and performance, with the goal of optimizing available resources. For this, a literature review was conducted on the characteristics of each construction system. In the analysis, the ribbed slab is more economical than the solid slab due to the lower consumption of materials such as concrete, steel, and formwork, resulting in a lighter structure without compromising strength. This system also offers greater flexibility in the apartment layout, allowing modifications in space without interference from visible beams and columns, as its implementation reduces the need for pillars and beams. Thus, the choice of ribbed slab brings benefits in terms of cost, space utilization, and structural efficiency.

Keywords: Solid slabs. Ribbed slabs. Costs. Construction systems.

1 INTRODUÇÃO

Na procura de soluções para a escassez de terrenos em centros urbanos, onde há limitação de áreas disponíveis para construções horizontais, observa-se uma crescente preferência por edificações verticais. Essas construções proporcionam eficiência no uso do espaço urbano, como aponta Falcão (2020).

Segundo Lopes (2012), no contexto da incessante busca por reduzir custos e prazos na construção civil, o setor tem se mostrado aberto à adoção de sistemas construtivos que fogem dos métodos convencionais. Essa tendência, reflete a necessidade de maior eficiência e agilidade nas obras. Dito isso, no caso das lajes, esse fator pode ter um impacto considerável, uma vez que a diminuição da espessura do concreto e a repetição desse processo em múltiplos pavimentos podem gerar benefícios como econômicos e financeiros.

Nessa esteira, as lajes são componentes estruturais em concreto armado que dividem os pavimentos e são suportadas por vigas que transferem os esforços para os pilares, os quais, por sua vez, direcionam o peso para a fundação e, assim, para o solo. Elas podem ser moldadas no local ou feitas com estruturas pré-fabricadas. A escolha do tipo de laje deve levar em conta qual modelo se adapta melhor ao projeto arquitetônico, além de considerar o custo-benefício, as distâncias entre os vãos e a carga que cada laje deve suportar, conforme Falcão (2020).

Bastos (2023), enfatiza que as lajes nervuradas¹ oferecem benefícios não apenas em termos de redução de material, mas também possibilitam a criação de vãos maiores, otimizando o espaço e aprimorando a eficiência estrutural dos edifícios. Em complemento, Lopes (2012) destaca que as lajes maciças constituem um sistema estrutural amplamente utilizado em construções de concreto armado, resultando em uma mão de obra bem treinada.

Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo analisar qual tipo de laje estrutural é mais apropriado para o projeto da construção do Edifício Residencial Dona Nice, que abrange 12 andares, localizado na cidade de Senador Firmino – MG. Dado isso, a pesquisa focou na comparação entre lajes maciças e nervuradas, visando determinar qual opção oferece o melhor equilíbrio entre custo de materiais e desempenho com o intuito de otimizar os recursos disponíveis. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as características de cada sistema construtivo e uma análise do projeto estrutural do edifício.

Em virtude da crescente implantação de obras de múltiplos pavimentos, esse estudo se justifica por avaliar cuidadosamente as opções disponíveis, assegurando que a obra não apenas

¹ É um tipo de laje de concreto armado que é composta por vigas espaçadas e interligadas por uma capa de concreto.

cumpra as exigências orçamentárias, mas também ofereça resultados satisfatórios em termos de funcionalidade e durabilidade. Nesse sentido, a pesquisa desempenhará um papel fundamental, visando garantir o êxito deste tipo de empreendimento.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Conceito de lajes

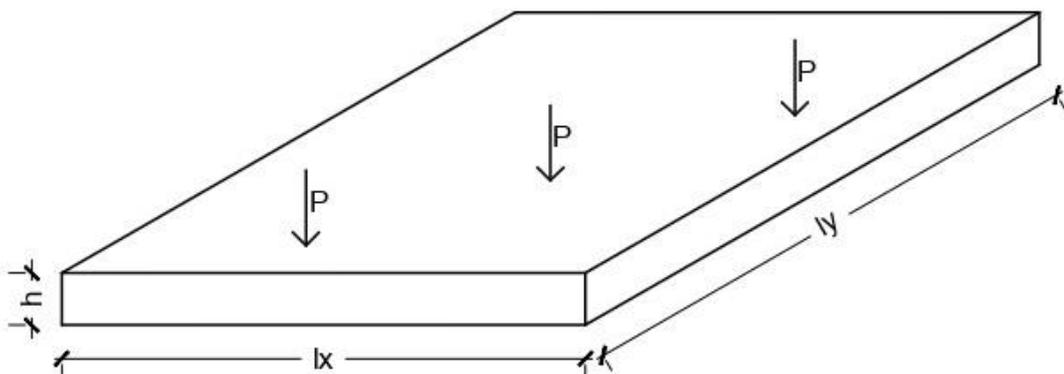
Segundo Araújo (2023), os pisos das construções podem ser feitos com variados tipos de lajes, incluindo lajes maciças, lajes nervuradas, lajes cogumelo e diversas modalidades de lajes pré-moldadas. A escolha do tipo de laje a ser utilizada é determinada por fatores econômicos e de segurança, sendo influenciada pelas características do projeto arquitetônico em questão.

A laje é um componente estrutural superficial que pode ser elaborado utilizando peças pré-moldadas ou ser moldado diretamente no local da obra, conhecido como processo "in loco". Quando a laje é moldada no próprio local da construção, o pavimento pode ser constituído de uma única laje, que pode ser maciça ou nervurada, conforme destacado por Carvalho (2014).

Vale destacar a importância das lajes nas estruturas, uma vez que essas são essenciais na distribuição das cargas geradas pelo uso das edificações. Desse modo, as cargas são absorvidas pelas lajes e transferidas para as vigas, que as encaminham aos pilares, os quais direcionam as cargas para as fundações, assegurando a segurança e estabilidade da construção. Embora existam diversos métodos de sistemas construtivos, essa organização de lajes, vigas, pilares e fundações constitui a base de grande parte das edificações, segundo Araújo (2023).

As lajes são descritas como elementos planos e bidimensionais, onde a espessura, simbolizada por "h", é significativamente menor quando comparada às suas outras duas dimensões, que são "lx" e "ly" (FIG. 1). Elas são projetadas especificamente para suportar cargas que incidem perpendicularmente ao seu plano, reforçando sua função estrutural essencial de distribuir o peso e garantir a estabilidade da construção, afirma Araújo (2023).

Figura 1 - Laje maciça



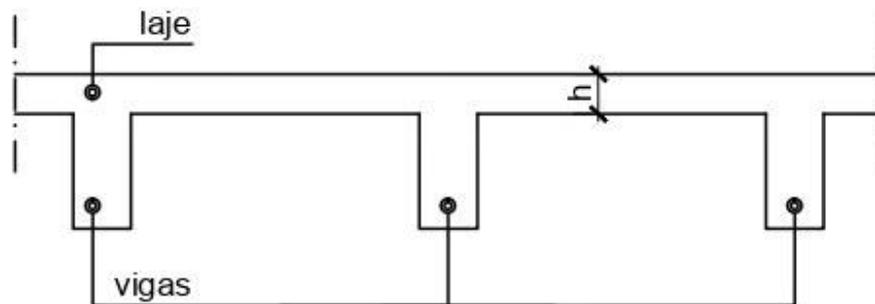
Fonte: Próprio autor

Dessa forma, as diferentes categorias de lajes mencionadas anteriormente demonstram que existem várias opções para o projetista selecionar o tipo de laje mais adequado para sua construção. Dando continuidade ao estudo, os próximos tópicos discutirão o foco principal desse trabalho, as lajes maciças e nervuradas.

2.2 Conceito de lajes maciças

Araújo (2023) descreve as lajes maciças como estruturas em forma de placas que apresentam uma espessura uniforme ao longo de toda a sua extensão. Essas lajes são suportadas por vigas ou por alvenarias, que garantem a estabilidade e a distribuição de carga necessária. O uso das lajes maciças é bastante comum em construções residenciais, especialmente em situações nas quais os vãos entre os suportes são relativamente pequenos, o que contribui para a sua popularidade no setor da construção civil. Observa-se na FIG. 2 um corte em laje maciça.

Figura 2 - Corte laje maciça



Fonte: Próprio autor

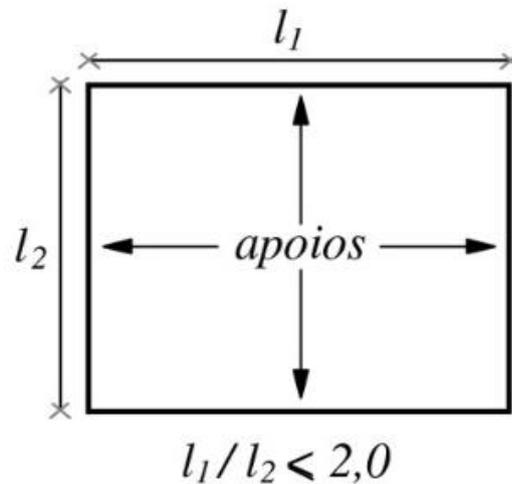
As lajes retangulares são divididas em dois tipos, o primeiro abrange as lajes cuja largura e comprimento não apresentam grande diferença, ou seja, onde a maior dimensão não excede o dobro da menor (sendo estas as mais comuns), e o segundo tipo refere-se às lajes em que uma dimensão é superior ao dobro da outra. As lajes do primeiro grupo são chamadas de lajes armadas em duas direções, pois possuem armação para momentos positivos em ambas as direções, enquanto as do segundo grupo são armadas em uma única direção, possuindo a armação principal² na direção do vão menor e secundária na outra direção. Mesmo nas lajes armadas em uma única direção, é necessário implementar uma armadura transversal de distribuição, segundo Botelho (2019).

² Resiste ao momento fletor.

Conforme aponta Santos (2017), a armadura de laje consiste em uma malha de barras de aço dispostas internamente nas lajes de concreto armado ou protendido³, com a finalidade de suportar os esforços de tração resultantes dos carregamentos. As armaduras possuem duas classificações, as positivas que são instaladas na parte inferior da laje para absorver momentos positivos, e as negativas que se encontram na parte superior e têm o propósito de resistir aos momentos negativos. Geralmente, as armaduras negativas são colocadas nas junções de duas lajes adjacentes.

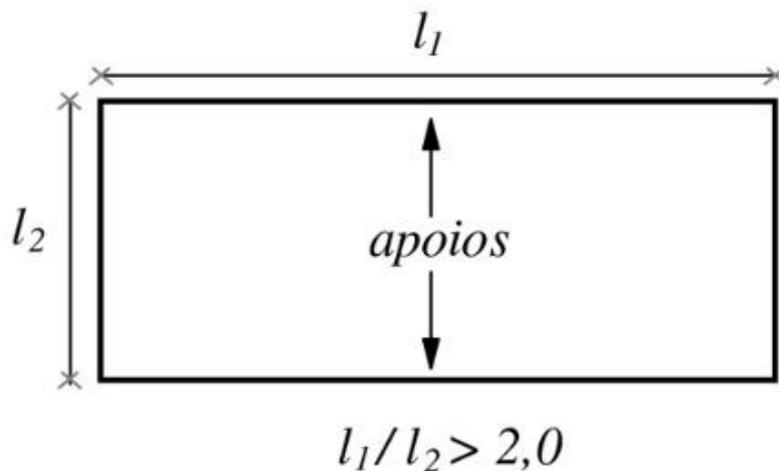
Nas FIG. 3 e FIG. 4, podem ser vistos os dois grupos de lajes mencionados anteriormente, onde l_1 representa a maior dimensão e l_2 , a menor.

Figura 3 - Laje maciça armada em duas direções



Fonte: Clímaco (2023, p. 301)

Figura 4 - Laje maciça armada em uma direção

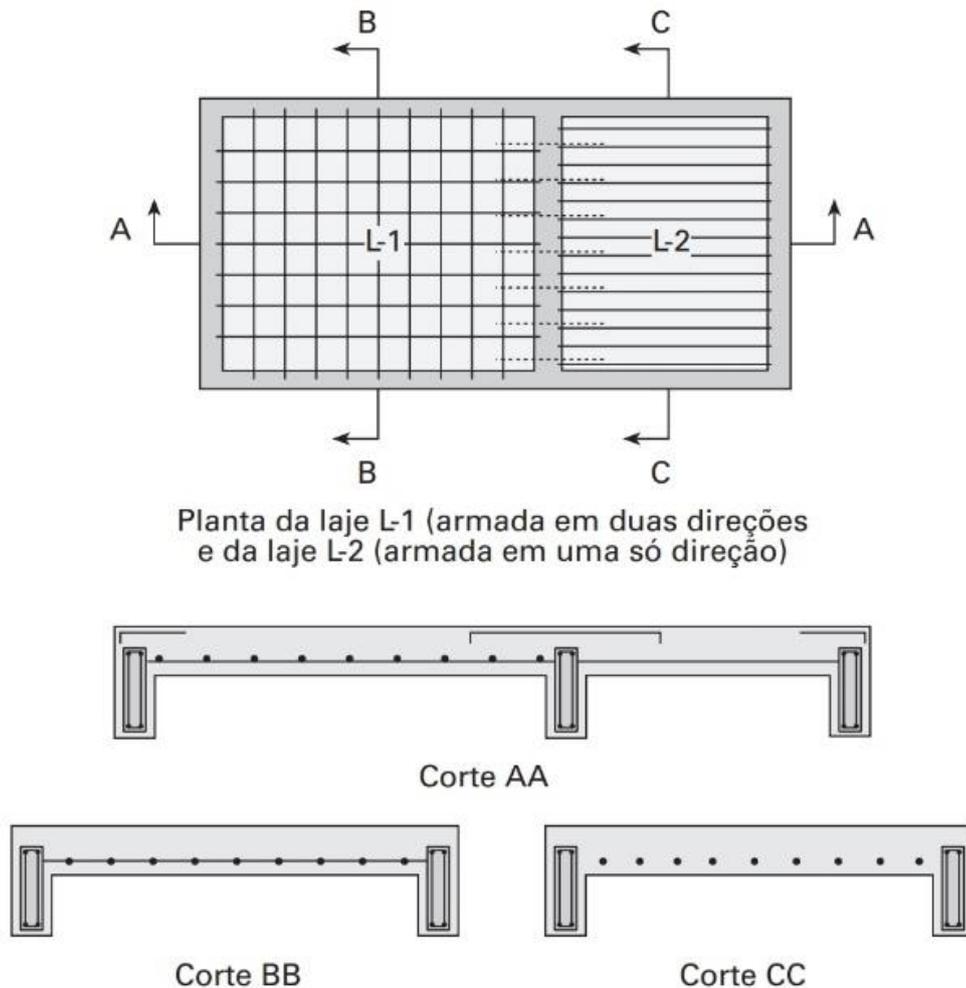


Fonte: Clímaco (2023, p. 301)

³ É uma técnica que consiste em aplicar tensões em uma estrutura de concreto para aumentar sua resistência.

Assim sendo, na FIG. 5, é possível observar a distribuição das armaduras positivas e negativas nos dois tipos de lajes retangulares.

Figura 5 - Distribuição de armaduras em laje armada em uma direção e em laje armada em duas direções



Fonte: Botelho (2019, p. 144)

As lajes maciças de concreto têm espessuras que variam geralmente entre 8 cm e 15 cm e são amplamente utilizadas em diversos tipos de edificações. Esses tipos de lajes podem ser encontrados em estruturas como edifícios residenciais, edifícios comerciais, muros de contenção, escadas, reservatórios, bem como em grandes obras de infraestrutura, incluindo escolas, indústrias, hospitais e pontes. A escolha do material para a confecção dessas lajes pode variar entre o concreto armado e o concreto protendido, dependendo das especificações e exigências particulares de cada projeto, de acordo com Bastos (2023).

Nesse sentido, a laje lisa e a laje cogumelo também são classificadas como lajes maciças de concreto. Contudo, ao contrário das lajes que contam com apoios nas bordas, essas estruturas

transferem as cargas e forças diretamente para os pilares, sem a necessidade de suportes nas extremidades, aponta Bastos (2023).

Ainda dessa maneira, Lopes (2012) explica que as lajes cogumelo são um tipo de laje que se apoia em pilares e se caracteriza pela ausência de vigas, possuindo capitéis⁴ que ajudam a distribuir a carga. Esses capitéis são fundamentais para aumentar a área de suporte, proporcionando maior estabilidade. Por outro lado, as lajes lisas são aquelas que se apoiam diretamente nos pilares, sem a inclusão de capitéis. Entretanto, a laje lisa e a laje cogumelo não configuram foco principal desse estudo.

Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de 1/42 para lajes de piso biapoiadas e 1/50 para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel (NBR 6118, ABNT, 2023, p. 74).

Além disso, Carvalho (2014) ressalta uma característica essencial das lajes maciças: sua capacidade de distribuir cargas de forma uniforme entre todas as vigas de contorno. Essa distribuição eficiente das cargas possibilita um melhor aproveitamento das vigas do pavimento, uma vez que, dependendo do tamanho dos vãos e das condições de apoio, elas podem receber cargas de magnitude semelhante, promovendo uma estrutura mais equilibrada.

As formas utilizadas para suporte durante a construção representam uma parte considerável do custo total da estrutura, especialmente no caso das lajes. No entanto, o investimento em lajes maciças pode se justificar em projetos nos quais o mesmo tipo de pavimento é utilizado repetidamente. Isso acontece porque o mesmo conjunto de formas e escoramentos pode ser reaproveitado em várias fases da obra, o que leva a uma diminuição nos custos gerais de construção. Dessa forma, a escolha por lajes maciças não apenas proporciona vantagens estruturais, mas também pode se apresentar como uma opção econômica vantajosa em projetos de construção civil, destaca Carvalho (2014).

A partir deste ponto, Lopes (2012) apresenta uma relação de vantagens e desvantagens da laje maciça, conforme ilustrado no QUADRO 1 a seguir:

⁴ O capitel é um elemento que fica no topo de um pilar e serve como transição entre o pilar e o elemento estrutural que ele suporta, como a viga ou laje.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da laje maciça

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Apresenta funções tanto de placa quanto de membrana;	Exige um alto consumo de formas, escoramentos, concreto e aço;
Demonstra um bom desempenho em termos de redistribuição de esforços;	Possui um peso próprio elevado, o que resulta em reações maiores nos apoios, como vigas, pilares e fundações;
É adequada para situações de singularidade estrutural, como em casos de um, dois ou três bordos livres;	Demanda uma quantidade significativa de mão de obra para as atividades de carpinteiros, armadores, pedreiros e serventes.
A presença de muitas vigas cria uma série de pórticos, que conferem boa rigidez à estrutura de contraventamento;	Alta capacidade de propagação de ruídos entre os pavimentos;
Sistema estrutural mais utilizado em construções de concreto, resultando em uma mão de obra bem treinada;	Sua aplicação em grandes vãos é limitada devido à espessura média de concreto necessária nessas situações;
Menos propenso a fissuras e trincas, pois uma vez seco, o concreto se torna um monobloco que se expande e contrai de maneira uniforme.	Custo relativamente elevado.

Fonte: Adaptado Lopes (2012)

As formas em estruturas de concreto armado têm a função de moldar e sustentar o concreto até que esse alcance resistência suficiente para se auto suportar. As formas das lajes maciças podem ser feitas de diferentes materiais sendo destaques a madeira compensada e as chapas de aço. O processo começa com a montagem e posicionamento das formas e do cimbramento, utilizando escoras, longarinas, travessas e assoalhos, afirma Lopes (2012).

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2023), o uso correto das formas em obras de concreto armado garante a moldagem e sustentação do concreto durante a cura. Além disso, permite o seu reaproveitamento em projetos futuros. Essa prática é vantajosa e sustentável, pois reduz a necessidade de novos materiais e os custos de construção, contudo é fundamental verificar as características das formas e a resistência dos materiais, especialmente quando usadas repetidamente. Essa avaliação é crucial para assegurar a segurança e integridade das estruturas que dependem das formas reutilizadas. Desse modo, torna-se essencial monitorar

sinais de desgaste ou danos para evitar falhas que possam comprometer a qualidade da obra. Assim, seguir as diretrizes da norma garante eficiência e contribui para a durabilidade e segurança das edificações.

Spohr (2008) afirma que a laje maciça apresenta limitações quando se trata de vencer grandes vãos de forma econômica, isso então, a torna menos adequada para estruturas que exigem grandes aberturas. Em geral, é prática comum adotar um vão médio econômico que varia entre 3,5 m e 5 m. Essa faixa de vão é considerada ideal, pois equilibra a eficiência estrutural e os custos, garantindo que a construção seja viável e segura.

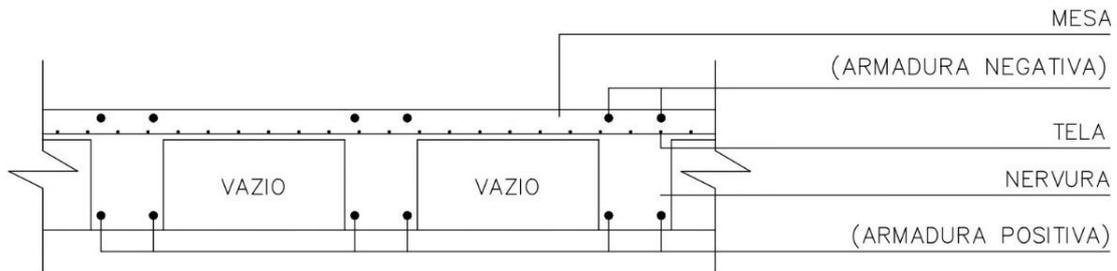
2.3 Conceitos de laje nervurada

A NBR 14931 (ABNT, 2023) define as lajes nervuradas como estruturas que podem ser moldadas no local de construção ou compostas por nervuras pré-moldadas. De acordo com Araújo (2023), essas lajes são projetadas para atravessar grandes vãos, geralmente superiores a 8 metros, o que contribui para a diminuição do número de pilares e vigas necessários. As lajes nervuradas são constituídas por nervuras nas quais são instaladas armaduras longitudinais de tração, responsáveis por suportar a tração em relação aos momentos positivos. Desse modo, essa configuração permite a redução do peso da laje, uma vez que elimina uma parte do concreto que estaria na área tracionada, caso uma laje maciça fosse utilizada. Assim, as nervuras permanecem expostas a menos que a parte inferior da laje seja coberta por um forro. Alternativamente, o espaço entre as nervuras pode ser preenchido com um material inerte leve, de modo a nivelar a superfície inferior da laje.

Santos (2017) afirma que a armadura negativa, que tem a função de resistir a momentos fletores que atuam na parte superior da laje, pode ser colocada na parte superior das nervuras ou, alternativamente, na mesa da laje. Para resistir à flexão da mesa, é comum empregar uma tela disposta na metade de sua altura.

Na FIG. 6, pode-se ver a distribuição das armaduras positivas e negativas, assim como a tela posicionada na metade da mesa.

Figura 6 - Distribuição de armadura em laje nervurada



Fonte: Próprio autor

Os materiais de enchimento podem ser feitos de várias formas como bloco cerâmico furado, bloco de concreto, bloco de concreto celular autoclavado, isopor, entre outras. Além disso, as nervuras podem permanecer visíveis ou expostas quando não há materiais inertes colocados entre elas, de acordo com Bastos (2023). Observa-se nas FIG. 7, FIG.8 e FIG. 9 alguns exemplos de materiais de enchimento.

Figura 7 - Forma plástica para execução de laje nervurada



Fonte: Caio Pereira (2019⁵)

⁵ <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-nervurada/>

Figura 8 - Laje nervurada montada com os blocos laje em concreto celular autoclavado



Fonte: Brava Criativos (2024⁶)

Figura 9 - Bloco de EPS (isopor)



Fonte: Próprio autor

⁶ <https://bravadesigncriativos.com/cpatla/>

A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (l_0) e não menor que 4 cm.

O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro ϕ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4\text{cm} + \phi$, ou $4\text{cm} + 2\phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações.

A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm.

Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;

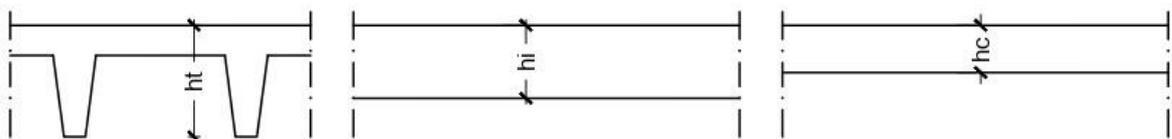
b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;

c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura (NBR 6118, ABNT, 2023, p. 74 e 75).

De acordo com Santos (2017), para facilitar a comparação entre lajes nervuradas e lajes maciças, os fabricantes de moldes costumam apresentar em seus catálogos as alturas equivalentes de consumo e inércia. As definições dessas alturas podem ser encontradas na descrição e na FIG. 10 a seguir:

- **Altura real (ht):** corresponde à soma da espessura da lâmina (também chamada de capa ou mesa) com a altura do molde;
- **Altura de consumo (hc):** expressa em centímetros, representa a equivalência de consumo de concreto entre lajes nervuradas e maciças. Por exemplo, se uma laje nervurada tem altura real de 26 cm e altura de consumo de 11,32 cm, isso significa que o consumo de concreto é equivalente ao de uma laje maciça de 11,32 cm;
- **Altura de inércia (hi):** também expressa em centímetros, indica a equivalência entre lajes nervuradas e maciças em relação à inércia, considerada no cálculo da deformação da laje. Por exemplo, se uma laje nervurada com altura real de 26 cm possui altura de inércia de 17,20 cm, isso significa que sua deformação é semelhante à de uma laje maciça de 17,20 cm.

Figura 10 - Alturas equivalentes lajes nervuradas e lajes maciças

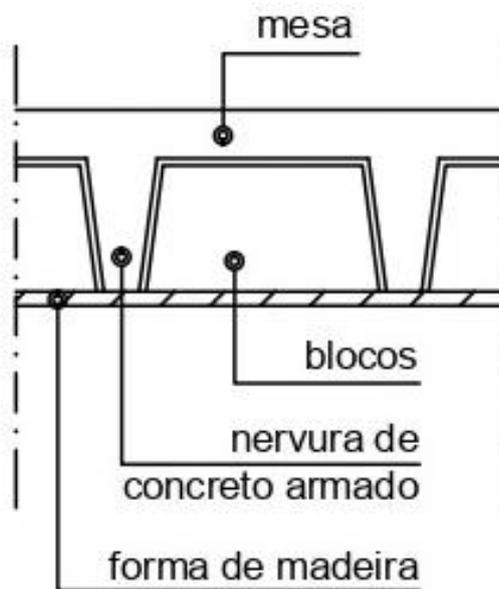


Fonte: Próprio autor

Para evitar a necessidade de formas entre as nervuras e a parte inferior da mesa, podem ser utilizados elementos inertes como blocos cerâmicos, de concreto celular, poliestireno expandido (EPS) ou polipropileno. Esses blocos são incorporados à laje e requerem um assoalho inferior para seu posicionamento. Dado isso, a parte inferior da laje se alinha com as faces inferiores das nervuras e dos blocos, possibilitando a aplicação de acabamentos arquitetônicos em argamassa ou gesso sem comprometer a aderência, menciona Lopes (2012).

Lopes (2012) também ressalta que as formas para lajes nervuradas podem ser confeccionadas com diversos materiais, como madeira compensada, chapas de aço e fibra de vidro. Os blocos são dispostos sobre plataformas ou assoalhos, que são sustentados por cimbramentos adequadamente contraventados e apoiados em uma base firme, como o contrapiso do pavimento térreo ou a laje do andar inferior. Na FIG. 11 observa-se um corte em laje nervurada.

Figura 11 - Corte laje nervurada



Fonte: Próprio autor

Em sequência, Silva (2005) apresenta uma relação de vantagens e desvantagens da laje nervurada, conforme ilustrado no QUADRO 2 abaixo:

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens de lajes nervuradas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<p>Permitem a cobertura de grandes distâncias, proporcionando espaços livres, o que é especialmente benéfico em áreas como garagens. Nesses locais, os pilares podem dificultar as manobras dos veículos e ocupar áreas que poderiam ser utilizadas como vagas de automóveis;</p>	<p>Geralmente, elevam a altura total do edifício;</p>
<p>Podem ser construídas utilizando a mesma tecnologia das lajes maciças, ao contrário das lajes protendidas que necessitam de técnicas de construção específicas;</p>	<p>Tornam mais complexa a compatibilização com outros subsistemas, como instalações e vedações;</p>
<p>Versatilidade nas aplicações, permitindo seu uso em pavimentos de edifícios comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, garagens, shopping centers, clubes, entre outros;</p>	<p>A construção que requer um maior número de etapas na montagem;</p>
<p>Possibilitam a adoção de certos procedimentos de racionalização, como a utilização de telas para a armadura de distribuição e a incorporação de instalações elétricas embutidas;</p>	<p>Há um desafio em criar uma modulação uniforme para todo o pavimento, garantindo que o espaçamento entre as nervuras seja constante;</p>
<p>As lajes nervuradas são apropriadas para sistemas de lajes sem vigas, devendo apresentar áreas maciças apenas nas proximidades dos pilares, onde ocorre uma alta concentração de esforços;</p>	<p>Requerem maior atenção durante a concretagem para evitar a formação de vazios (“bicheiras”) nas nervuras, que geralmente têm largura reduzida;</p>
<p>Devido às suas características (grande altura e baixo peso próprio), são apropriadas para cobrir grandes vãos.</p>	<p>A resistência da seção transversal varia entre momentos fletores positivos e negativos, exigindo um cálculo mais detalhado.</p>

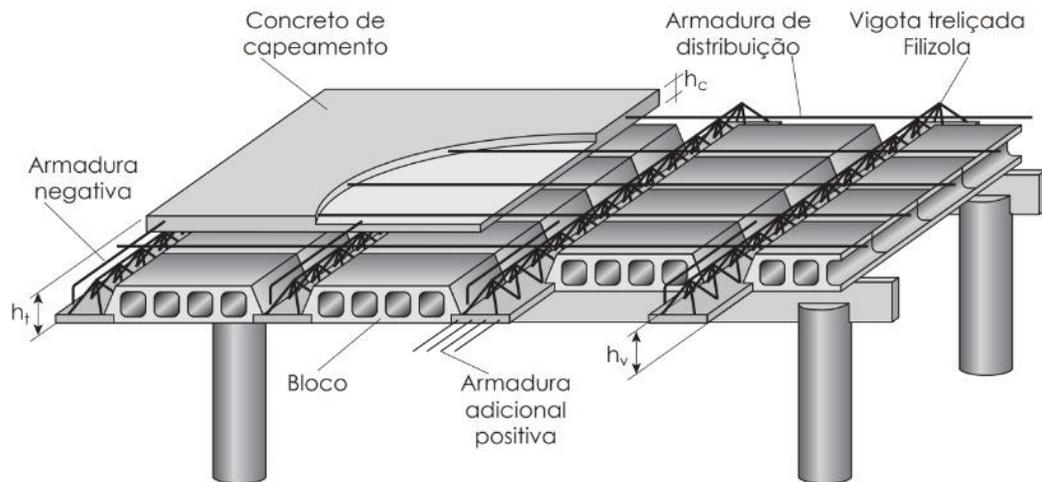
Fonte: Adaptado Silva (2005)

Bastos (2023) destaca mais uma vantagem das lajes nervuradas em comparação com as lajes maciças, a economia no uso das formas. Zilli (2021) ressalta que lajes maciças geralmente apresentam uma área reduzida de concreto comprimido, enquanto uma grande parte do concreto abaixo da linha neutra está sujeito à tração. Essa porção do concreto não contribui para a resistência à flexão da laje. Em resposta a essa limitação, as lajes nervuradas surgem como uma evolução das lajes maciças, com a remoção de parte do concreto tracionado abaixo da linha neutra. Desse modo, tal modelo de laje proporciona uma economia de materiais, mão de obra e formas, o que resulta em maior produtividade e viabilidade do sistema construtivo, além de reduzir as cargas aplicadas à estrutura.

Para mais, Silva (2002) destaca ainda outra vantagem do uso de materiais inertes: a considerável redução do peso próprio da estrutura, o que resulta em economia no consumo de aço, concreto e na fundação. Além disso, essa característica facilita o manuseio dos materiais, tanto no transporte vertical quanto horizontal, o que leva à diminuição dos custos com mão-de-obra. Como resultado, observa-se um aumento na produtividade, uma redução no tempo de execução e uma menor necessidade de mão-de-obra.

De acordo com Botelho (2015), as lajes nervuradas pré-moldadas de concreto armado consistem em um sistema de vigotas de concreto armado e blocos de enchimento, fornecidos por empresas especializadas. A capa de concreto e a armação de aço são aplicadas diretamente na obra pelo construtor. Esse tipo de laje é amplamente utilizado em pisos e coberturas, sendo especialmente valorizado por oferecer maior agilidade na execução, reduzir a necessidade de formas e cimbramento, e resultar em economia. As vigotas, também conhecidas como trilhos ou nervuras, contêm armaduras de tração e podem incluir armaduras de transporte, conforme necessário. As capas de concreto armado são utilizadas para suportar os esforços de compressão gerados pela flexão. Observa-se na FIG. 12 um exemplo de laje pré-moldada.

Figura 12 - Laje pré-moldada



Fonte: Botelho (2015, p.101)

2.4 Estudo de caso: Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas moldadas in loco para o Empreendimento Residencial Dona Nice

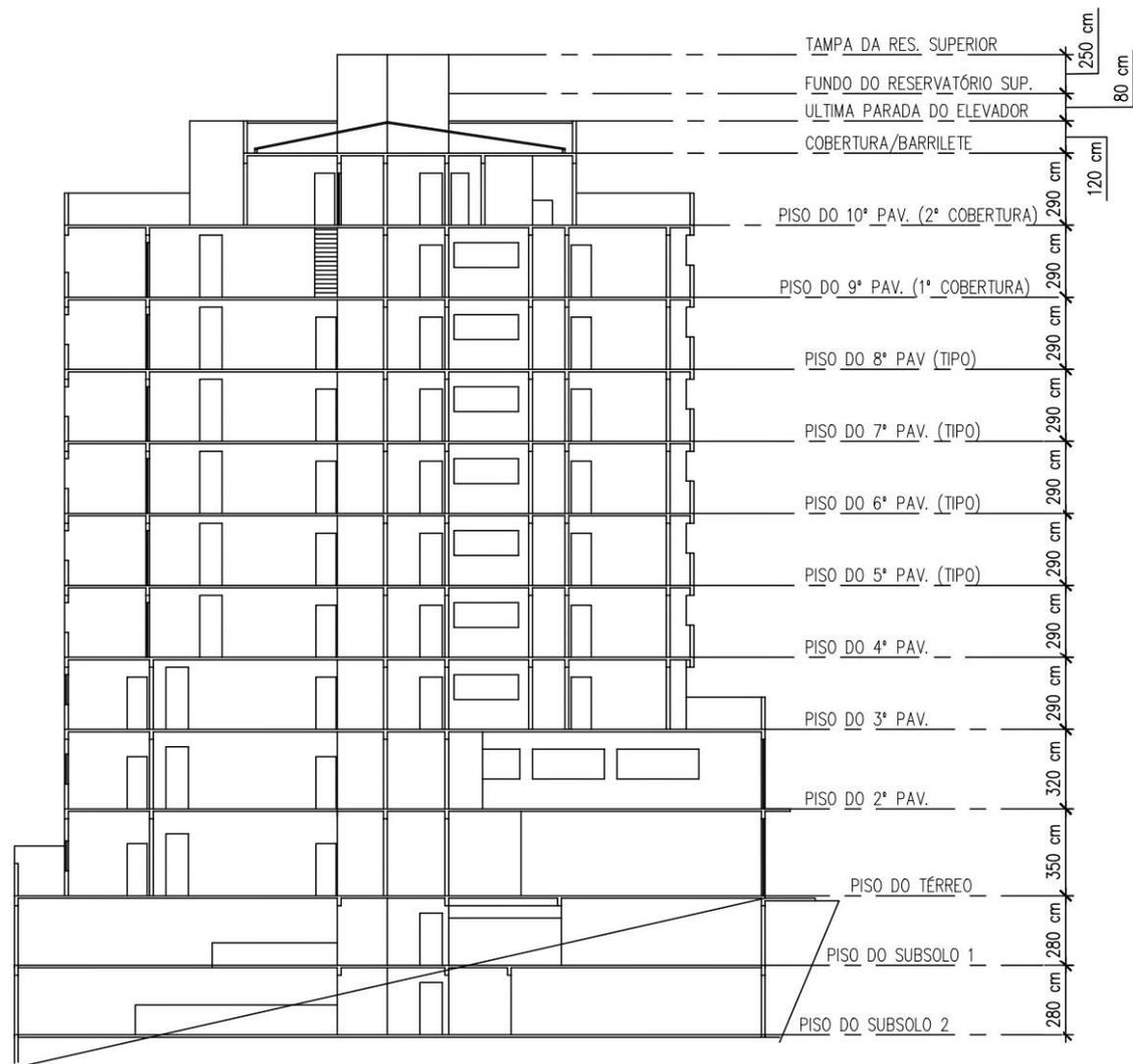
2.4.1 Empreendimento

O estudo de caso para ao presente trabalho, foi realizado no Edifício Residencial Dona Nice, localizado na cidade de Senador Firmino, Minas Gerais. A pesquisa concentrou-se na avaliação dos custos de materiais relacionados à estrutura total da edificação, fazendo uma comparação entre dois sistemas construtivos diferentes: a laje maciça e a laje nervurada moldada no local. A análise também levou em consideração a possibilidade de redução no uso de pilares e vigas, o que pode ser um diferencial ao permitir adaptações em reformas futuras. O objetivo dessa comparação vai além das implicações financeiras de cada método, uma vez que se busca também avaliar como cada sistema influencia a viabilidade da construção e a flexibilidade para modificações futuras, contribuindo para uma compreensão mais ampla das melhores práticas na construção civil.

É fundamental ressaltar que o Edifício Dona Nice é um projeto que se estende por 12 andares. Desses andares, dois estão localizados abaixo do nível da rua e são exclusivamente dedicados às garagens. No pavimento térreo, o edifício apresenta um salão comercial na parte frontal e um apartamento localizado na parte posterior. No segundo andar, encontram-se cinco salas comerciais na parte da frente, projetadas para atender a diferentes necessidades empresariais, enquanto na parte de trás desse andar, há um apartamento que complementa a variedade de usos do edifício.

A partir do terceiro andar até o oitavo, a edificação é composta por dois apartamentos por andar, sendo um deles voltado para a frente e o outro para os fundos. Finalmente, o nono e o décimo andares são integrados, criando duas coberturas duplex: uma localizada na parte frontal do edifício e a outra nos fundos. Ao todo, a construção possui uma área construída de 2.445,09 m². A FIG. 13 apresenta um corte esquemático do edifício em análise, evidenciando a disposição dos andares e suas respectivas alturas.

Figura 13 - Corte Esquemático



Fonte: Próprio autor

2.4.2 Elaboração de projeto estrutural

Após a conclusão da elaboração e da aprovação do projeto arquitetônico do edifício, as quais definiram as diretrizes estéticas e funcionais da construção, iniciou-se o desenvolvimento

do projeto estrutural, utilizando o CYPECAD, um software de projetos e cálculos estruturais. Foram desenvolvidos dois projetos estruturais, um em laje maciça e outro em a laje nervurada moldada in loco. Com os projetos elaborados, constatou-se uma redução no número de vigas e pilares no sistema construtivo de laje nervurada, possibilitando assim, vãos maiores. Essa característica representa uma vantagem, pois oferece ao cliente maior liberdade para realizar modificações no projeto adquirido em planta.

Além da análise da redução de pilares e vigas, os dois projetos estruturais desenvolvidos foram acompanhados de um estudo de custos de materiais para identificar a solução mais viável para a construção, considerando o investimento inicial. Para tanto, na FIG. 14 observa-se a estrutura do empreendimento em 3D em laje nervurada.

Figura 14 - Estrutura em 3D do Edifício Residencial Dona Nice



Fonte: Próprio autor

2.4.3 Estimativa de custo

Após a elaboração dos projetos estruturais pelo Engenheiro Civil Leonardo Rodrigues, os quais contemplaram tanto a laje maciça quanto a laje nervurada, foram extraídos do software CYPERCAD os quantitativos de aço e concreto necessários para atender a cada um desses sistemas construtivos. Além disso, foi realizado um levantamento, também por meio do CYPERCAD, das quantidades de formas requeridas para a execução das lajes, vigas e pilares, assegurando que todos os aspectos do projeto fossem devidamente considerados. O engenheiro também recorreu a planilhas específicas e a cálculos manuais para complementar esse processo. Essa etapa foi essencial para a realização de um estudo de custos de materiais, que visava determinar qual o tipo de estrutura seria mais viável e vantajoso para o empreendimento em questão.

Nesse sentido, na TAB. 1, estão dispostas as quantidades de materiais estimadas para o tipo de laje maciça, permitindo uma visualização clara das necessidades para a execução do projeto, caso este se revele viável.

Tabela 1 - Estimativa de materiais para laje maciça

ESTRUTURA EM LAJE MACIÇA		
Descrição	Unidade	Quantidade Estimada
Forma de Madeira para Pilares, Vigas e Lajes	m ²	4.793,98
Armação da Estrutura	kg	63.958,00
Concreto Usinado Fck = 35 MPa Bombeável	m ³	480,93

Fonte: Próprio autor

A TAB. 2 apresenta as quantidades de materiais estimadas para a laje nervurada, proporcionando uma visão detalhada das exigências para a execução do projeto, caso essa viabilidade seja confirmada.

Tabela 2 - Estimativa de materiais para laje nervurada

ESTRUTURA EM LAJE NERVURADA		
Descrição	Unidade	Quantidade Estimada
Forma de Madeira para Pilares, Vigas e Lajes	m ²	3.435,87
Cubetas de EPS	m ³	187,99
Armação da Estrutura	kg	59.448,00
Concreto Usinado Fck = 35 MPa Bombeável	m ³	431,95

Fonte: Próprio autor

Após a conclusão do levantamento das estimativas de materiais necessários para a execução de cada um dos projetos, foi realizada uma análise comparativa de custos. Para tal, utilizou-se a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) correspondente ao mês de setembro de 2024 como base para o cálculo dos custos dos insumos requeridos. O objetivo dessa etapa, foi identificar qual sistema construtivo apresenta a melhor relação custo-benefício, assegurando que a escolha final fosse a mais apropriada para o empreendimento em questão.

Assim, na TAB. 3 é apresentado o custo final do sistema construtivo em laje maciça, oferecendo uma visão clara dos custos associados a cada material considerado.

Tabela 3 - Estimativa de preço para laje maciça

ESTRUTURA EM LAJE MACIÇA				
Descrição	Un.	Qde. Estimada	Preço Un. (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de Madeira para Pilares, Vigas e Lajes	m ²	4.793,98	63,14	302.691,90
Armação da Estrutura	kg	63.958,00	7,92	506.547,36
Concreto Usinado Fck = 35 MPa Bombeável	m ³	480,93	650,33	312.763,21
Total da Obra:				1.122.002,47

Fonte: Próprio autor (com base em SINAPI 2024)

A TAB. 4 apresenta o custo final do sistema construtivo em laje nervurada, oferecendo uma visão detalhada dos preços de cada material incluído na análise.

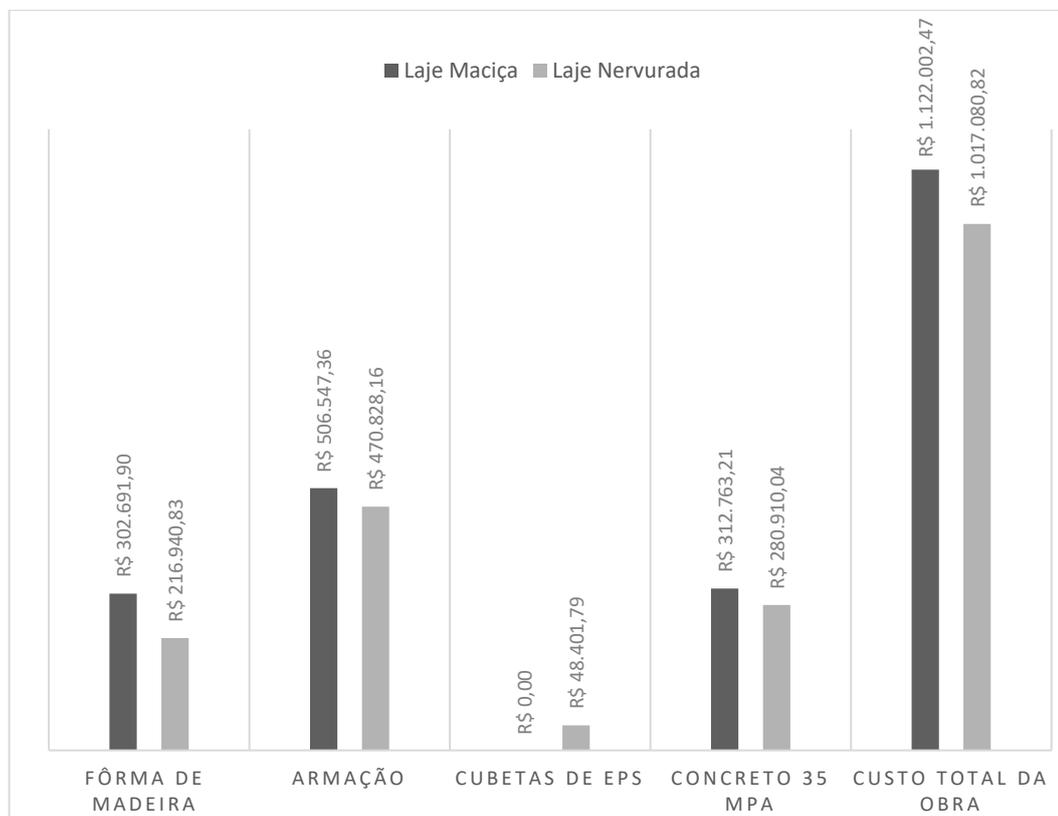
Tabela 4 - Estimativa de preço para laje nervurada

ESTRUTURA EM LAJE NERVURADA				
Descrição	Un.	Qde. Estimada	Preço Un. (R\$)	Preço Total (R\$)
Forma de Madeira para Pilares, Vigas e Lajes	m ²	3.435,87	63,14	216.940,83
Cubetas de EPS	m ³	187,99	257,47	48.401,79
Armação da Estrutura	kg	59.448,00	7,92	470.828,16
Concreto Usinado Fck = 35 MPa Bombeável	m ³	431,95	650,33	280.910,04
Total da Obra:				1.017.080,82

Fonte: Próprio autor (com base em SINAPI 2024)

Dessa maneira, por meio do gráfico a seguir (GRAF. 1), é possível observar a variação nos custos dos diferentes materiais (forma, concreto, armação e EPS), bem como a diferença no custo final da obra, realizando uma comparação entre os dois sistemas construtivos.

Gráfico 1 - Comparativo de custo entre o sistema de laje nervurada e o sistema de laje maciça



Fonte: Próprio autor

Por meio do gráfico, é possível identificar uma tendência de diminuição nos custos dos materiais empregados no sistema estrutural de laje nervurada, abrangendo formas, armação e concreto. As formas apresentaram uma redução de R\$ 85.751,07, enquanto a armação registrou uma diminuição de R\$ 35.719,20. O custo do concreto também foi reduzido em R\$ 31.853,17. Essa diminuição nos custos é especialmente vantajosa quando comparada à laje maciça.

Nesse sentido, é importante destacar que, apesar de a laje maciça não tenha custos relacionados às cubetas de EPS, tal característica não teve impacto na redução do custo total do sistema de laje nervurada, que apresentou uma diminuição total de R\$ 104.921,65. Portanto, a análise indica que apesar das diferenças entre os dois sistemas, a laje nervurada se configura como uma alternativa mais econômica.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações detalhadas, conclui-se, portanto, que o sistema construtivo em laje nervurada se apresentou como uma solução mais econômica e eficiente em comparação à laje maciça no contexto do empreendimento Residencial Dona Nice. A análise de custos de materiais apresentou que a utilização da laje nervurada moldada *in loco* resultou em uma economia de R\$ 104.921,65 em relação ao uso da laje maciça, o que representa uma redução de aproximadamente 9,35%. Essa economia é atribuída, em grande parte, à menor quantidade de materiais necessários, como concreto, aço e formas. Nesse sentido, o sistema demanda um volume reduzido de concreto e aço para armaduras, uma vez que a configuração das nervuras proporciona uma estrutura mais leve sem comprometer a resistência da laje. Além disso, a menor necessidade de formas e cimbramento facilita o processo de execução, contribuindo para maior agilidade na obra.

Dado o exposto, os benefícios econômicos e de agilidade no processo construtivo, a laje nervurada oferece uma flexibilidade que agrega valor ao projeto, permitindo que os moradores modifiquem o *layout* dos apartamentos sem se preocupar com a presença de vigas aparentes e pilares em locais indesejados, pois o sistema construtivo em laje nervurada permitiu a redução de pilares e vigas. Essa ausência de elementos estruturais que limitariam a planta interna possibilita uma maior liberdade para adaptação dos espaços, o que pode atender melhor às preferências e necessidades dos futuros residentes.

Em síntese, a escolha pela laje nervurada no Residencial Dona Nice é vantajosa tanto pelo impacto direto na redução de custos da construção, quanto por favorecer a personalização dos espaços internos, proporcionando uma experiência mais satisfatória para o cliente. Esse conjunto de fatores torna o sistema de laje nervurada a escolha ideal, garantindo economia, flexibilidade e uma solução estrutural eficiente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**: Volume 2. 5. ed. Rio Grande: Dunas, 2023. ISBN 978-85-86717-22-2 (V. 2). Disponível em: <https://www.editoradunas.com.br/dunas/V2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. 4. ed. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos. 3. ed. Rio de Janeiro, 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Lajes de Concreto Armado**. Bauru: UNESP, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2023. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**: Volume 2. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2015. ISBN 978-85-212-0894-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208952/pageid/3>. Acesso em: 16 out. 2024.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**: Volume 1. 10. ed. São Paulo: Blucher, 2019. ISBN 978-85-212-1860-9 (e-book). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521218609/pageid/4>. Acesso em: 16 out. 2024.

BRAVA CRIATIVOS. Boas práticas na construção moderna. Disponível em: <https://bravadesigncriativos.com/cpatla/>. Acesso em: 09 nov. 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI**: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. 10. ed. Brasília: CAIXA, 2024. ISBN 978-85-86836-43-5. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-sumario-composicoes-afetadas/SUMARIO_DE_PUBLICACOES_E_DOCUMENTACAO_DO_SINAPI.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. ISBN 978-85-7600-356-4. Disponível em: https://www.academia.edu/51099006/Calculo_e_Detalhamento_de_Estruturas_Usu. Acesso em: 08 out. 2024.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado**: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 3. ed. Brasília, DF: Ed. UnB, 2023. ISBN (UnB) 978-85-230-1187-1. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595155213/epubcfi/6/8\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.xhtml\]!/4/2/74/8/1:12\[2%20c%2Cm.\].](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595155213/epubcfi/6/8[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.xhtml]!/4/2/74/8/1:12[2%20c%2Cm.].) Acesso em 16 out. 2024.

ESCOLA ENGENHARIA. Laje Nervurada: O que é, vantagens e desvantagens. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-nervurada/>. Acesso em: 26 out. 2024.

FALCÃO, Balduino Neto Pereira. **Análise comparativa de custo entre laje nervurada e maciça em Rio Verde – GO.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação e Tecnologia Goiano de Rio Verde, Goiás, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/979>. Acesso em: 15 out. 2024.

LOPES, André Felipe de Oliveira. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimentos.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Caruaru, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39151>. Acesso em: 15 out. 2024.

SANTOS, José Sérgio dos. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios: concreto armado e protendido.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017. ISBN: 978-85-7975-261-2.

SILVA, Andréia Rodrigues da. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FACO-5JVQDC>. Acesso em: 08 nov. 2024.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4711>. Acesso em: 16 out. 2024.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7700>. Acesso em: 22 out. 2024.

ZILLI, Carlos Augusto. **Coleção desafios das engenharias: engenharia civil.** Ponta Grossa: Atena, 2021. ISBN 978-65-5983-302-3. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/colecao-desafios-das-engenharias-engenharia-civil>. Acesso em: 22 out. 2024.