REVISTA ERR01 ISSN: 2595-1378

# ESTUDO COMPARATIVO DO CONSUMO DE CONCRETO E AÇO ENTRE LAJES NERVURADAS E MACIÇAS EM UM PAVIMENTO GARAGEM RESIDENCIAL EM FUNÇÃO DO VÃO LIVRE

# COMPARATIVE STUDY OF CONCRETE AND STEEL CONSUMPTION BETWEEN RIBBED AND SOLID SLABS IN A RESIDENTIAL GARAGE FLOOR AS A FUNCTION OF THE CLEAR SPAN

# ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONSUMO DE HORMIGÓN Y ACERO ENTRE LOSAS NERVADAS Y MACIZAS EN EL SUELO DE UN GARAJE RESIDENCIAL EN FUNCIÓN DE LA LUZ LIBRE

https://doi.org/10.56238/ERR01v10n6-067

**Bruna da Motta Lucio**
Graduanda em Engenharia Civil

**Guilherme de Oliveira Silva**
Graduando em Engenharia Civil

**Marco Moreira da Fonseca**
Graduando em Engenharia Civil

**Pedro Bonami Mendes Avelaneda**
Graduando em Engenharia Civil

**Pedro Lucas Silva Bezerra**
Graduando em Engenharia Civil

**Estevão Xavier Volpini**
Professor Orientador

**RESUMO**
Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre lajes maciças e lajes nervuradas bidirecionais (cubetas) aplicadas a um pavimento-tipo de garagem residencial em concreto armado moldado in loco. O objetivo foi avaliar a influência do vão livre entre pilares no consumo de materiais (concreto, aço e fôrmas) e no custo global das soluções estruturais, a fim de identificar o sistema mais eficiente do ponto de vista técnico e econômico. Para isso, foram desenvolvidos modelos no software TQS (versão 23.12) variando-se o vão entre 5,0 m, 7,5 m e 10,0 m, mantendo-se constantes os parâmetros normativos, as propriedades dos materiais e as condições de apoio. Os resultados mostraram que, embora a laje maciça apresente simplicidade executiva e bom desempenho em vãos curtos, o aumento do vão acentua seu consumo de concreto e aço, elevando o custo final. Já a laje nervurada demonstrou melhor relação rigidez-peso e redução de consumo dos principais insumos, mantendo-se mais competitiva economicamente em vãos médios e grandes. Dessa forma, conclui-se que o sistema

nervurado é a alternativa mais econômica para vãos superiores a 7 m, enquanto a laje maciça permanece adequada para vãos reduzidos e obras de menor complexidade.

**Palavras-chave:** Lajes Maciças. Lajes Nervuradas. Consumo de Materiais. Análise Estrutural. Custo Global.

**ABSTRACT**

This work presents a comparative study between solid slabs and two-way ribbed slabs (cubes) applied to a typical floor of a residential garage in cast-in-place reinforced concrete. The objective was to evaluate the influence of the span between columns on the consumption of materials (concrete, steel, and formwork) and the overall cost of the structural solutions, in order to identify the most efficient system from a technical and economic point of view. To this end, models were developed in the TQS software (version 23.12) varying the span between 5.0 m, 7.5 m, and 10.0 m, while keeping the normative parameters, material properties, and support conditions constant. The results showed that, although the solid slab presents simplicity of execution and good performance in short spans, increasing the span accentuates its consumption of concrete and steel, raising the final cost. The ribbed slab demonstrated a better stiffness-to-weight ratio and reduced consumption of the main materials, remaining more economically competitive in medium and large spans. Therefore, it is concluded that the ribbed system is the most economical alternative for spans greater than 7 m, while the solid slab remains suitable for smaller spans and less complex projects.

**Keywords:** Solid Slabs. Ribbed Slabs. Material Consumption. Structural Analysis. Overall Cost.

**RESUMEN**

Este trabajo presenta un estudio comparativo entre losas macizas y losas nervadas bidireccionales (cubos) aplicadas a un forjado típico de garaje residencial en hormigón armado colado in situ. El objetivo fue evaluar la influencia de la luz entre columnas en el consumo de materiales (hormigón, acero y encofrado) y el coste total de las soluciones estructurales, con el fin de identificar el sistema más eficiente desde un punto de vista técnico y económico. Para ello, se desarrollaron modelos en el software TQS (versión 23.12) variando la luz entre 5,0 m, 7,5 m y 10,0 m, manteniendo constantes los parámetros normativos, las propiedades de los materiales y las condiciones de apoyo. Los resultados mostraron que, si bien la losa maciza presenta una ejecución sencilla y un buen rendimiento en luces cortas, el aumento de la luz incrementa su consumo de hormigón y acero, elevando el coste final. La losa nervada demostró una mejor relación rigidez/peso y un menor consumo de los materiales principales, siendo más competitiva económicamente en luces medias y largas. Por lo tanto, se concluye que el sistema de losas nervadas es la alternativa más económica para luces mayores de 7 m, mientras que la losa maciza sigue siendo adecuada para luces menores y proyectos menos complejos.

**Palabras clave:** Losas Macizas. Losas Nervadas. Consumo de Material. Análisis Estructural. Coste Total.

ISSN: 2595-1378

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo BRASILEIRO e MATOS (2015), o setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e insumos industriais, com destaque para o aço e o concreto, principais materiais na execução de estruturas de concreto armado. Nesse contexto, a escolha do sistema estrutural de lajes é um fator determinante tanto na viabilidade técnica quanto na econômica de uma edificação.

De acordo com CARVALHO E FILHO (2012) as lajes de concreto são elementos fundamentais responsáveis por receber e transmitir as cargas às vigas e pilares. Dentre as soluções estruturais mais utilizadas, destacam-se as lajes maciças e as lajes nervuradas. A primeira é caracterizada por sua simplicidade construtiva, sendo uma placa maciça de concreto, indicada para pequenos e médios vãos. Já a segunda apresenta vazios ou nervuras que reduzem o peso próprio, permitindo vencer maiores vãos com menor consumo de concreto, embora normalmente demande maior quantidade de aço concentrado nas nervuras.

O presente trabalho busca comparar o consumo de concreto e de aço em lajes maciças e nervuradas, aplicadas a um pavimento de garagem residencial, analisando a variação em função do vão livre. A motivação está em fornecer subsídios técnicos que auxiliem projetistas e incorporadores na escolha da solução estrutural mais eficiente e viável, conciliando desempenho estrutural, economia de materiais e sustentabilidade.

### 1.1 OBJETIVOS

Nesse capítulo estão delineados o objetivo geral deste Trabalho de Conclusão do Curso e os passos utilizados para atingi-lo, através dos objetivos específicos.

#### 1.1.1 Objetivo geral

Comparar o consumo de concreto, de aço e de formas entre lajes nervuradas e lajes maciças aplicadas em um pavimento de garagem residencial, avaliando a influência do vão livre e dos carregamentos sobre o comportamento estrutural e o aproveitamento dos materiais, com o intuito de identificar qual sistema apresenta maior eficiência técnica e econômica em diferentes condições de projeto. Ao final, busca-se elaborar um gráfico que relacione o consumo de materiais em função do vão livre, permitindo uma análise visual e comparativa do desempenho de cada tipo de laje.

#### 1.1.2 Objetivo específico

Definir premissas normativas (NBR 6118/2023, NBR 6120/2019), modelar e dimensionar no TQS (software brasileiro de cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado) lajes maciças e

nervuradas para vãos de 5,0; 7,5; 10,0 m, extrair consumos (concreto; aço; formas), validar amostralmente por cheques manuais, organizar e comparar os resultados, identificar o break-even e construir diagramas "vão × consumo" com um quadro de decisão para seleção do sistema na fase preliminar do projeto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tipo de laje em pavimentos de garagem residencial é uma etapa estruturalmente crítica e economicamente sensível, pois esses pavimentos costumam trabalhar com vãos maiores e cargas significativas. Na prática, porém, a decisão entre laje maciça e laje nervurada (cubeta) costuma ocorrer de forma predominantemente empírica — por preferência do projetista, por soluções padronizadas da construtora ou por experiências anteriores — sem uma análise comparativa rigorosa. Esse cenário tende a negligenciar a influência decisiva do vão livre e dos carregamentos no comportamento das lajes e no consumo de materiais, levando a soluções pouco otimizadas: ora com superdimensionamentos por "excesso de segurança", ora com riscos de desempenho por falta de embasamento técnico, ambos resultando em desperdício de concreto e aço e no encarecimento do empreendimento.

Dessa forma, configura-se um problema recorrente em obras residenciais: a ausência de estudos comparativos objetivos que relacionem, em função do vão, o desempenho e o consumo de materiais dos dois sistemas mais empregados (maciça e nervurada). A carência desse referencial técnico-quantitativo dificulta a tomada de decisão e pode comprometer simultaneamente a segurança, a economicidade e a eficiência construtiva.

À luz desse problema, justifica-se a realização deste estudo, que se propõe a oferecer dados técnicos e quantitativos precisos para apoiar projetistas e construtoras na seleção do sistema de laje mais adequado. O foco recai sobre a comparação do consumo de concreto e de aço (insumos de maior impacto no custo final da estrutura) em lajes maciças e nervuradas ao longo de diferentes faixas de vão, contribuindo para decisões mais racionais, transparentes e economicamente eficientes.

## 1.3 CONDIÇÕES DO ESTUDO

Compara-se, em pavimento-tipo de garagem residencial em concreto armado moldado in loco, lajes maciças e lajes nervuradas (cubeta) sob variação do vão livre, mantendo constantes premissas normativas, materiais, cobrimentos, apoios e critérios de verificação (ELU/ELS). Custos reais, produtividade, logística de escoramento e protensão não são avaliados.

ISSN: 2595-1378

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCEITO

### 2.1.1 Estados limites

CARVALHO E FILHO (2012) definem que o cálculo de estrutura de concreto armado deve garantir que ela suporte, de maneira segura, todas as solicitações que estas estarão submetidas durante a sua execução e utilização.

Para a realização deste dimensionamento, poderá ser utilizado o método de cálculo na ruptura (estados limites). Dessa forma, a segurança é garantida fazendo com que as solicitações calculadas sejam menores que as solicitações últimas (cargas que levariam a estrutura à ruptura).

A NBR 6118 (2023) reitera que os estados limites são divididos em dois grupos: estados-limites últimos (ELU) e estados-limites de serviço (ELS). No primeiro grupo, a segurança das estruturas deverá ser verificada em relação a alguns parâmetros, como flexão, cisalhamento, punção e colapso progressivo.

Já para o grupo dos estados-limites de serviço, são considerados o conforto do usuário e a durabilidade da estrutura, sendo pertinente as verificações de limitações de flechas, de abertura de fissuras ou de vibrações, estanqueidade, conforto térmico e acústico. Nesse sentido, é necessário definir as combinações de serviço utilizadas. A NBR 6118 (2023) classifica, dentro das possíveis combinações, as quase permanentes, que considera todas as ações variáveis com seus valores quase permanentes, ou seja, elas atuam durante grande parte do período de vida da estrutura.

### 2.1.2 Condições de contorno

Conforme BASTOS (2023), para o cálculo dos esforços solicitantes e das deformações de uma laje, é essencial definir os vínculos entre a laje e seus apoios. Assim, distinguem-se as lajes engastadas e as simplesmente apoiadas:

- Laje engastadas: as lajes permanecem firmemente conectadas às vigas ou paredes, restringindo a rotação nas extremidades engastadas;
- Lajes apoiadas: permitem a rotação, pois estão apenas repousadas sobre os elementos de suporte.

Segundo MENDES, FERNANDES, CASTILHO e TAK (1982), quanto aos apoios, as lajes podem ser classificadas em relação às suas ligações com lajes vizinhas, que são:

- Lajes isoladas – constituem painéis independentes, apresentando contorno com apoios simples ou engastados;

- Lajes contínuas - Quando um ou mais lados tem apoios comuns com outras lajes situadas no mesmo nível e com continuidade material. Entre as bordas adjacentes estabelece-se uma ligação estrutural que tem o caráter de um engastamento elástico.

### 2.1.3 Ações

A NBR 8681:2025 define as ações como causas que produzem esforços solicitantes atuantes sobre a estrutura. As ações permanentes são aquelas que apresentam valores praticamente constantes ao longo da vida útil da estrutura ou que tendem a um valor limite estável. As ações variáveis, por sua vez, são caracterizadas por apresentarem variações significativas em torno de sua média ao longo do tempo.

### 2.1.4 Sistemas de lajes nervuradas

Conforme definição da NBR 6118:2023, as lajes nervuradas bidirecionais são os elementos estruturais moldados 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.

CARVALHO e PINHEIRO (2010) explicam que as lajes nervuradas bidirecionais surgem para atender os vãos de grandes dimensões, uma vez que, nessas condições, as lajes puramente maciças apresentam uma pequena região de concreto comprimido, e, consequentemente, colaboram para uma baixa resistência à flexão.

Figura 1 - Laje nervurada com cubetas.



Fonte: VIVA Decora (2021)

### 2.1.5 Sistemas de lajes maciças

CARVALHO E FILHO (2012) estabelecem as lajes como placas de concreto de superfície plana, que podem ser executadas com elementos pré-moldados ou moldadas no local, com a utilização de fôrmas, escoras e armações. Nesse contexto, destacam-se as lajes maciças convencionais, cuja seção transversal é inteiramente preenchida por concreto armado e apresenta apoio total sobre as vigas de contorno.

A NBR 6118:2023 fixa limites mínimos para a espessura das lajes maciças. Segundo a norma, as lajes que suportam veículos com peso total menor ou igual a 30 kN devem ter espessura mínima de 10 cm, enquanto aquelas destinadas a suportar veículos com peso total superior a 30 kN devem possuir espessura mínima de 12 cm.

Figura 2 - Laje maciça convencional.



Fonte: Autoria própria (2024)

## 2.2 NORMAS

### 2.2.1 NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto

A NBR 6118:2023 define os parâmetros utilizados no dimensionamento de elementos estruturais de concreto, incluindo as lajes nervuradas bidirecionais e as lajes maciças.

Entre os itens mais relevantes da NBR supracitada para o desenvolvimento do tema do trabalho está presente o 13.2.4.2, que detalha os valores mínimos de espessura para as mesas das lajes nervuradas, bem como a determinação de quando haverá necessidade de verificar a flexão da mesa para o mesmo modelo de laje.

Além disso, as seções dos capítulos 14 (lajes), 10 (verificação de estados limites) e 17 (dimensionamento de armaduras) fornecem um vasto repertório para a padronização e conformidade das lajes estudadas.

### 2.2.2 NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações

A NBR 6120:2019 detalha os procedimentos utilizados para os cálculos das estruturas de concreto em edificações. Através dela, pode-se determinar o peso próprio que cada tipo de laje possuirá, em função da sua utilização – neste caso, garagem.

A Tabela 13 da referida norma estabelece as cargas específicas da ação dos veículos em garagens e demais áreas de circulação de veículos. Dessa forma, é possível obter, com base na categoria do eixo e altura máxima do pavimento, a carga uniformemente distribuída a ser considerada nos cálculos das lajes.

Figura 1 - Tabela de ações em garagens.

**Tabela 13 – Ações em garagens e demais áreas de circulação de veículos**

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Categoria** | **PBT** kN | **Carga uniformemente distribuída** kN/m² | **Altura máx.** m | **Cargas concentradas $Q_k$** kN | **Força horizontal $F_x$ [e]** kN | **Força horizontal $F_y$ [e]** kN | **Altura H de aplicação das forças $F_x$ e $F_y$ [e]** m |
| **I [a]** | ≤ 30 | 3 | 2,3 | 12 [b] | 100 | 50 | 0,5 |
| **II [f]** | ≤ 90 | 5 | 2,6 | 60 (Figura 3) | 180 | 90 | 0,5 |
| **III** | ≤ 160 | 7 | 3,0 | 100 (Figura 4) | 240 | 120 | 1,0 |
| **IV** | > 160 | 10 | > 3,0 | 170 (Figura 5)<br>255 (Figura 6) | 320 | 160 | 1,0 |
| **V [c]** | ≤ 230 | 10 | ≥ 4,5 | 170 (Figura 5) | 320 [d] | 160 [d] | 1,0 [d] |

[a] As ações da Categoria I são adequadas também para veículos de passeio blindados, desde que a blindagem corresponda a um acréscimo de no máximo 15 % do PBT do veículo.

[b] A carga concentrada deve ser considerada atuando em uma região de 10 cm × 10 cm.

[c] Categoria correspondente a viaturas de bombeiros. As cargas podem ser consideradas especiais, conforme a ABNT NBR 8681, se atuarem apenas em situações de combate a incêndio. Em outras situações, devem ser consideradas como ações variáveis normais, conforme a ABNT NBR 8681. A verificação das cargas concentradas contempla a atuação de patolas de caminhões auto-escada.

[d] A verificação das forças horizontais, neste caso, só precisa ser feita caso a atuação das viaturas de bombeiros seja considerada uma ação variável normal, conforme a ABNT NBR 8681.

[e] As forças horizontais devem ser consideradas como excepcionais, conforme a ABNT NBR 8681. O índice x indica uma força atuando na direção paralela ao fluxo dos veículos, o índice y indica uma força atuando na direção perpendicular ao fluxo dos veículos. As forças horizontais podem ser consideradas atuando de forma não concomitante em uma faixa de 25 cm de altura e 150 cm de largura ou a largura da face do pilar em questão, o que for menor (Figura 7). Alternativamente, podem ser previstas barreiras que resistam aos mesmos valores de forças horizontais da categoria.

[f] As ações da Categoria II são adequadas também para carros-fortes e UTI móveis.

Fonte: NBR 6120 (2019)

## 3 METODOLOGIA

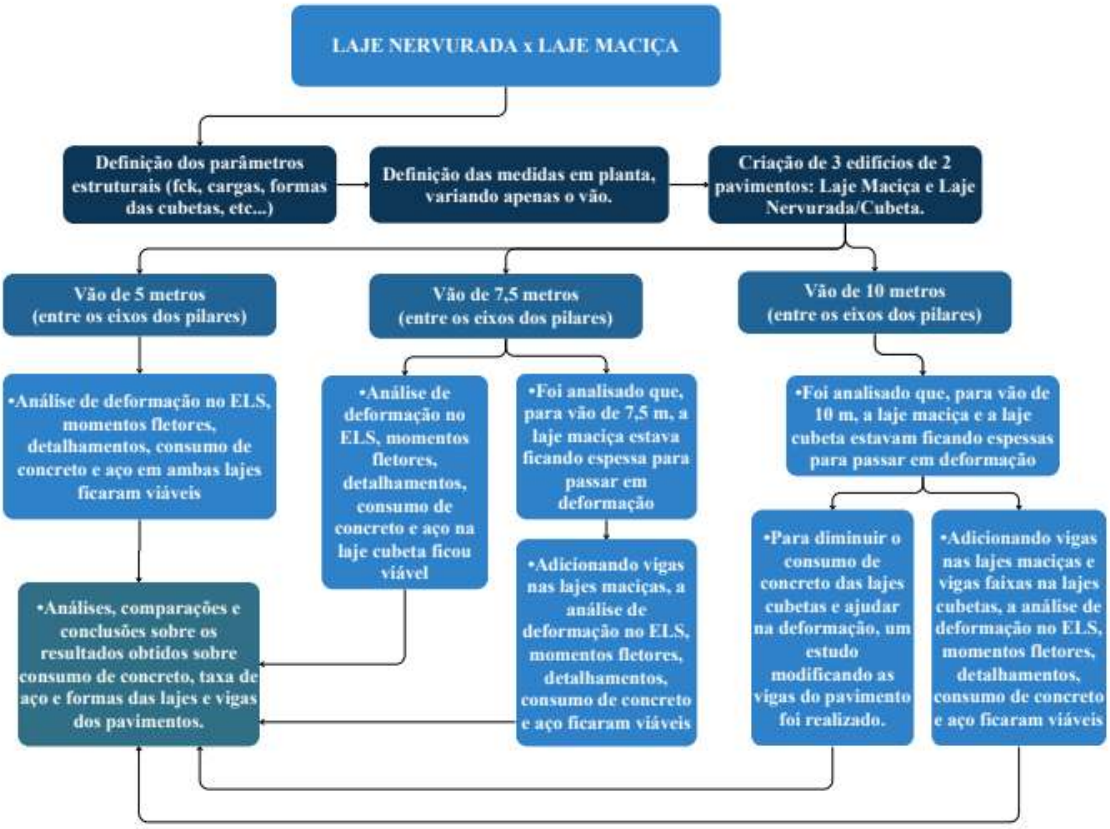
O desenvolvimento deste trabalho seguiu uma sequência conforme o fluxograma apresentado, com o objetivo de comparar o consumo de concreto e aço em lajes maciças e nervuradas bidirecionais

ISSN: 2595-1378

(cubetas) aplicadas a um pavimento de garagem residencial, variando o vão livre entre eixo a eixo de pilares.

## 3.1 FLUXOGRAMA DO MÉTODO

Figura 4 – Fluxograma do método.




Fonte: Autoria própria (Canva)

## 3.2 SOFTWARE

Para o desenvolvimento e a análise dos modelos estruturais, utilizou-se o TQS (versão 23.12), amplamente empregado em projetos de estruturas de concreto armado. Trata-se de um programa de cálculo e detalhamento estrutural que dimensiona lajes, vigas, pilares, fundações e demais elementos estruturais com base nas normas brasileiras vigentes. Sua aplicação neste estudo permitiu a obtenção precisa dos esforços, deformações e consumos de materiais, viabilizando a comparação entre os sistemas de lajes maciças e nervuradas bidirecionais em diferentes vãos livres.

## 3.3 MÉTODO DE CÁLCULO DO TQS

O modelo de cálculo utilizado para análise e obtenção dos esforços do edifício foi o modelo IV do TQS. O software realiza a análise das lajes por meio da discretização em grelha, que consiste em representar a laje como um conjunto de barras interligadas, formando uma malha que simula o

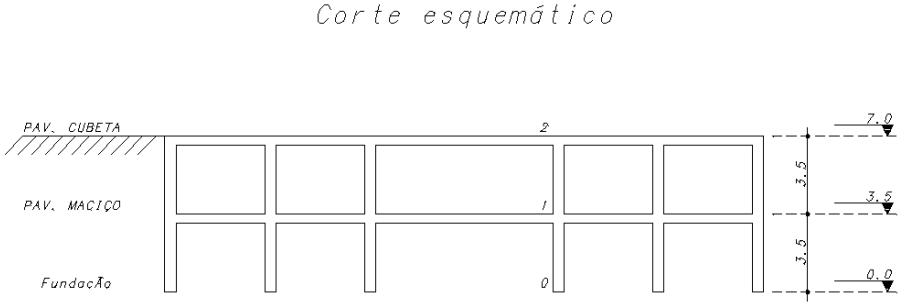
comportamento estrutural da placa. Cada barra dessa grelha corresponde a uma faixa da laje ou a uma nervura, possuindo rigidez equivalente definida de acordo com a espessura, geometria e condições de apoio.

As cargas distribuídas (permanentes e variáveis) são aplicadas sobre essa malha, e o programa monta e resolve a matriz global de rigidez, obtendo os deslocamentos, momentos fletores e esforços cortantes em cada direção. Essa análise é linear-elástica e considera as propriedades do material e da seção transversal. Após a resolução, os esforços obtidos na grelha são transferidos para os módulos de dimensionamento e detalhamento, permitindo determinar as armaduras necessárias e as deformações das lajes com base nos resultados obtidos.

## 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Inicialmente foram produzidos três modelos no TQS, três edifícios de dois pavimentos cada, com pé-direito de 3,5 m, um pavimento com lajes maciças e outro pavimento com lajes nervuradas, ambos com as mesmas dimensões de 30 m de eixo a eixo dos pilares das extremidades por 15 m, que resultam em 450 m² de área estruturada.

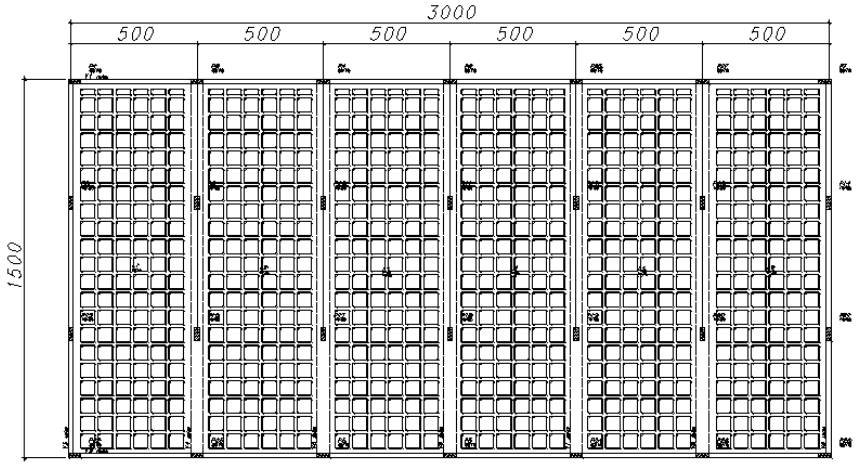
Figura 5 - Corte esquemático para demonstrar os dois pavimentos no mesmo edifício.




Fonte: Autoria própria (TQS)

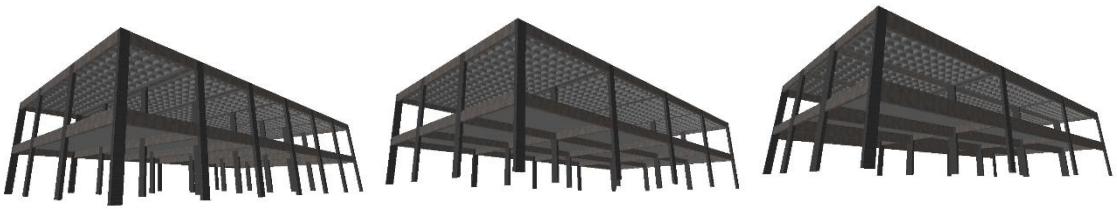
ISSN: 2595-1378

Figura 6 - Planta do pavimento-tipo utilizado no estudo, com modulação de eixos e disposição dos pilares.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 7 – Imagens em 3D.



5 metros de vão 7,5 metros de vão 10 metros de vão

Fonte: Autoria própria (TQS)

Para atender ao objetivo do estudo, os pilares foram posicionados com vãos eixo-a-eixo de 5,0 m, 7,5 m e 10,0 m, dispostos paralelamente à direção de maior dimensão dos edifícios (30 m). Essa configuração foi aplicada tanto às lajes nervuradas quanto às maciças, permitindo analisar ambos os sistemas em um único edifício por faixa de vão.

**Materiais** — Adotou-se concreto fck = 35 MPa nos pilares, vigas e lajes e aço CA-50 nas armaduras passivas, conforme NBR 7480:2020.

**Configurações das lajes nervuradas** — Nos pavimentos com lajes nervuradas bidirecionais, utilizaram-se formas plásticas ATEX 700: molde de 18 cm + capa de 5 cm para os vãos de 5,0 m e 7,5 m. Para o vão de 10,0 m, avaliaram-se duas soluções: (i) vigas chatas, com molde de 26 cm + capa de 5 cm; e (ii) vigas de 90 cm de altura, com molde de 18 cm + capa de 5 cm.

**Configurações das lajes maciças** — Nas lajes maciças, os estudos iniciaram com a espessura mínima normativa de 10 cm para lajes que suportem veículos com peso total ≤ 30 kN (NBR 6118:2023, 13.2.4.1). Para os edifícios de 7,5 m e 10,0 m, variou-se a espessura em cenários sem viga e com viga; verificou-se a necessidade de inserir vigas para reduzir deformações e auxiliar no dimensionamento das lajes.

**Ações consideradas** — Adotaram-se 0,100 tf/m² de carga permanente (revestimentos) e 0,300 tf/m² de carga acidental, conforme a NBR 6120:2019 (Tabela 13) para garagens e áreas de circulação de veículos. Resultando em 0,400 tf/m² de carga nos pavimentos.

**Modelagem e verificações** — Foram verificadas as flechas, os momentos e o dimensionamento dos elementos estruturais. Para efeito exclusivo do estudo, os pilares foram vinculados à fundação diretamente ao solo. A flecha de longa duração foi obtida com a combinação quase permanente conforme NBR 6118. Essa combinação considera todas as ações permanentes (como peso próprio e revestimentos) e apenas uma fração reduzida das ações variáveis (como sobrecargas de uso), representando as solicitações que atuam na estrutura durante a maior parte de sua vida útil. Os deslocamentos verticais foram multiplicados por 2,50 para consideração simplificada de deformação lenta

**Agressividade ambiental e cobrimentos** — A classe de agressividade ambiental (CAA) foi definida segundo os parâmetros da Tabela 6.1 da NBR 6118:2023. Para este estudo, foi definido que os edifícios estão em ambiente urbano sem presença de fatores de agravamento da agressividade, portanto foi considerado com CAA II – moderada - Urbano. Para esta classe, os cobrimentos gerais utilizados em projeto estão listados a seguir:

- Pilares e vigas = 30 mm
- Lajes = 25 mm

**Condições de contorno** — Foram considerados as seguintes condições de contorno para as lajes: Lajes apoiadas nas vigas da fachada e lajes contínuas para lajes vizinhas internas dos pavimentos. Nos estudos apresentados serão dispostas as respectivas plantas baixas das formas dos pavimentos com as cotas e com as condições de contorno, junto com sua respectiva legenda:

Figura 8




Fonte: Autores.

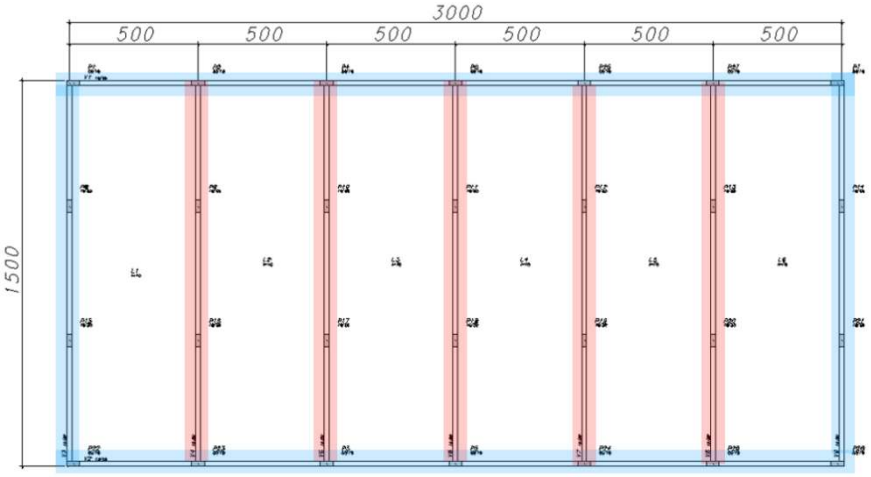
## 3.5 ESTUDO NO EDIFÍCIO COM VÃO DE 5 M (EIXO A EIXO)

### 3.5.1 Pavimento de lajes maciças

As lajes maciças foram inicialmente pré-dimensionadas com espessura de 10 cm, com vigas de 19/60 dispostas nos eixos dos pilares.

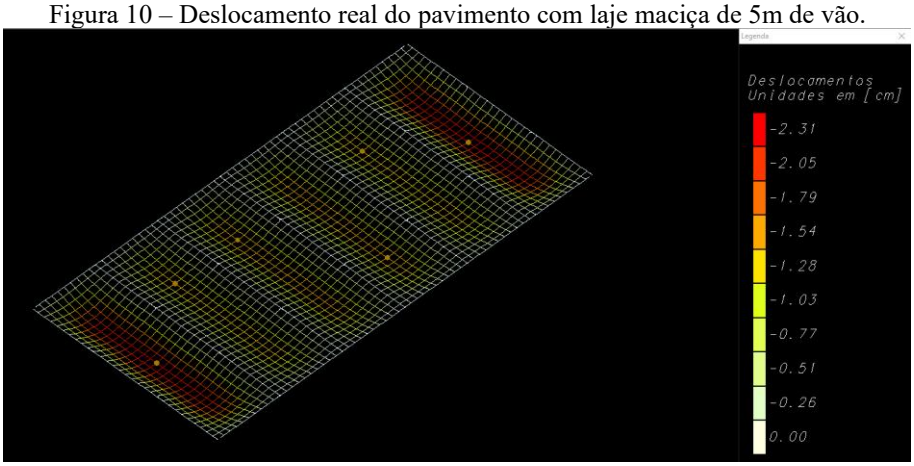
ISSN: 2595-1378

Figura 9 – Planta baixa do pavimento com laje maciça de 5m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 10 – Deslocamento real do pavimento com laje maciça de 5m de vão.



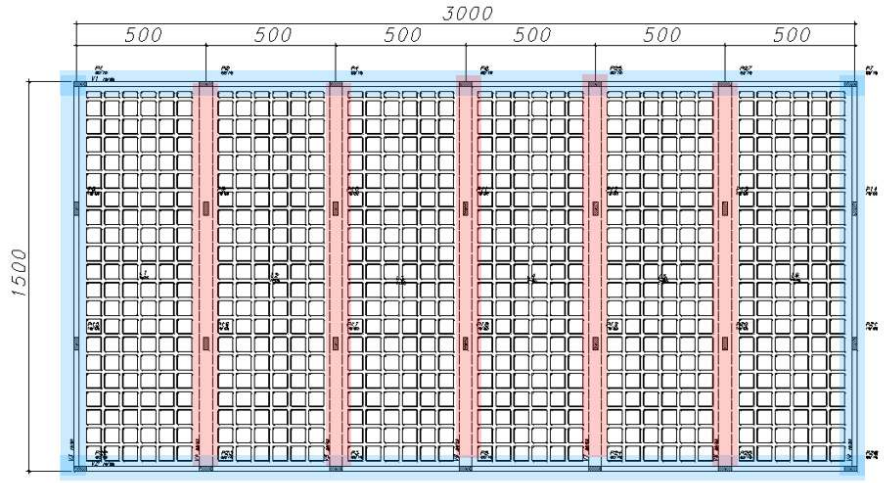

Fonte: Autoria própria (TQS)

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 2,31 cm. O deslocamento limite pela norma é de 2,88 cm. Logo, essa laje está dentro da deformação limite da norma.

### 3.5.2 Pavimento de lajes nervuradas (cubetas)

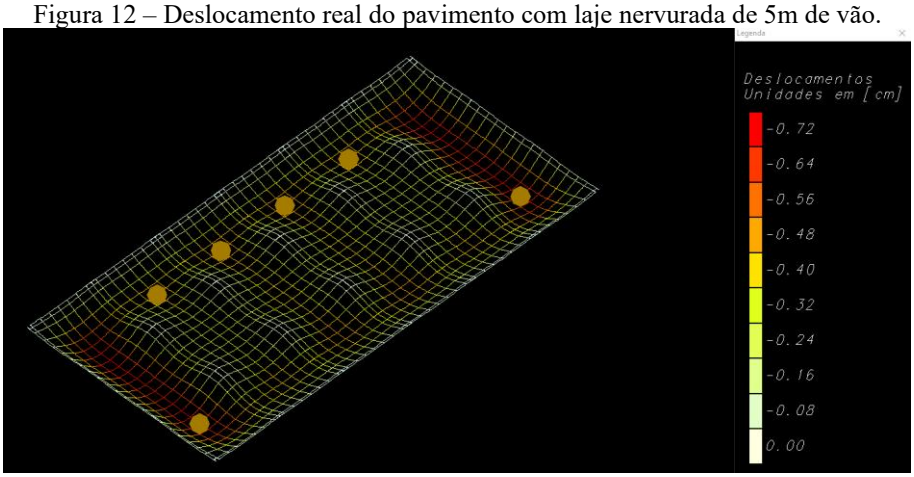
As lajes nervuradas foram inicialmente pré-dimensionadas com altura de molde de 18 cm e capa de concreto de 5 cm, totalizando uma altura h = 23 cm, com vigas-faixa de 50/23 dispostas nos eixos dos pilares.

Figura 11 – Planta baixa do pavimento com laje nervurada de 5m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 12 – Deslocamento real do pavimento com laje nervurada de 5m de vão.




Fonte: Autoria própria (TQS)

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 0,72 cm. O deslocamento limite pela norma é de 1,32 cm. Logo, essa laje está dentro da deformação limite da norma.

Os momentos fletores e o detalhamento das armações foram analisados e estão compatíveis com o objetivo do trabalho.

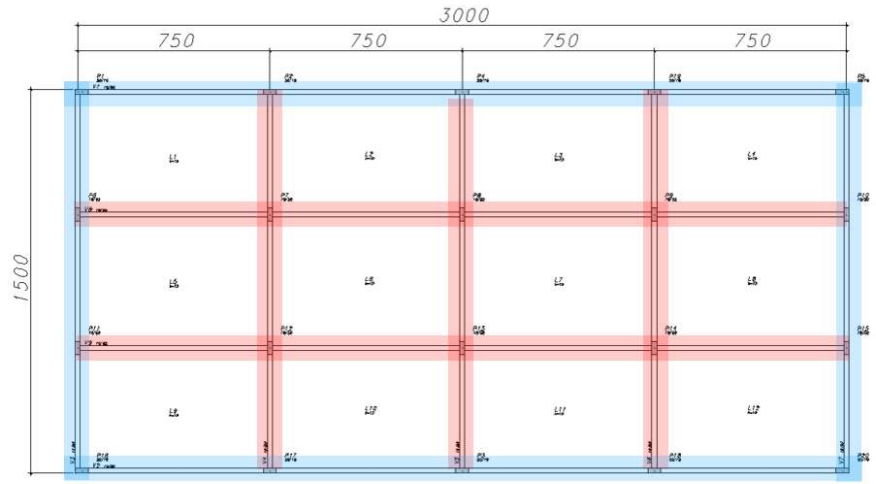
## 3.6 ESTUDO NO EDIFÍCIO COM VÃO DE 7,5 M (EIXO A EIXO)

### 3.6.1 Pavimento de lajes maciças

Foi realizado o pré-dimensionamento das lajes maciças com vãos de 7,5 m entre eixos de pilares. Para que o deslocamento permanecesse dentro dos valores limite estabelecidos pela norma, a espessura necessária da laje resultou em 17 cm. Contudo, tal espessura foi considerada inviável em termos construtivos e econômicos, além de não atender aos objetivos propostos neste estudo.

Como solução para reduzir a deformação, foram inseridas algumas vigas de 19/60 perpendiculares, de forma a auxiliar a laje. Com isso, as lajes foram pré-dimensionadas com 12 cm, e foram adotadas vigas paralelas aos pilares, também de 19/60.

Figura 13 – Planta baixa do pavimento com laje maciça de 7,5m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 14 – Deslocamento real do pavimento com laje maciça de 7,5m de vão.



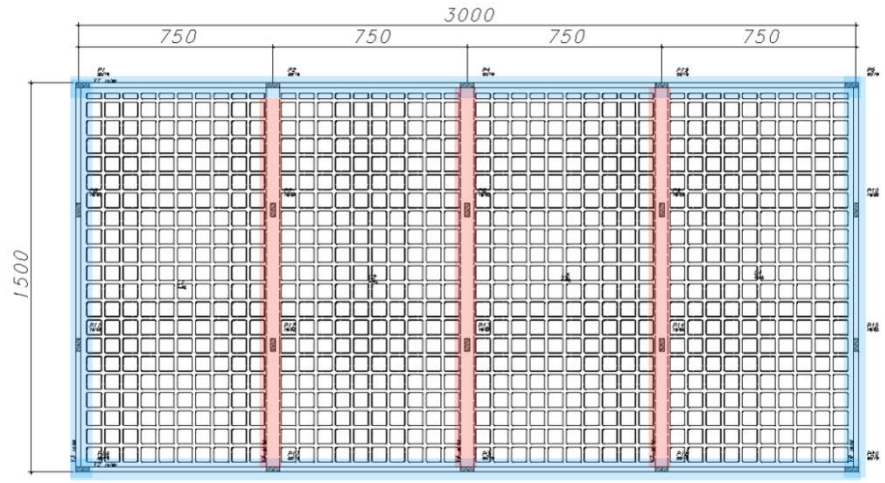

Fonte: Autoria própria (TQS)

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 1,70 cm. O deslocamento limite pela norma é de 3,48 cm. Logo, essa laje está dentro da deformação limite da norma.

### 3.6.2 Pavimento de lajes nervuradas bidirecionais (cubetas)

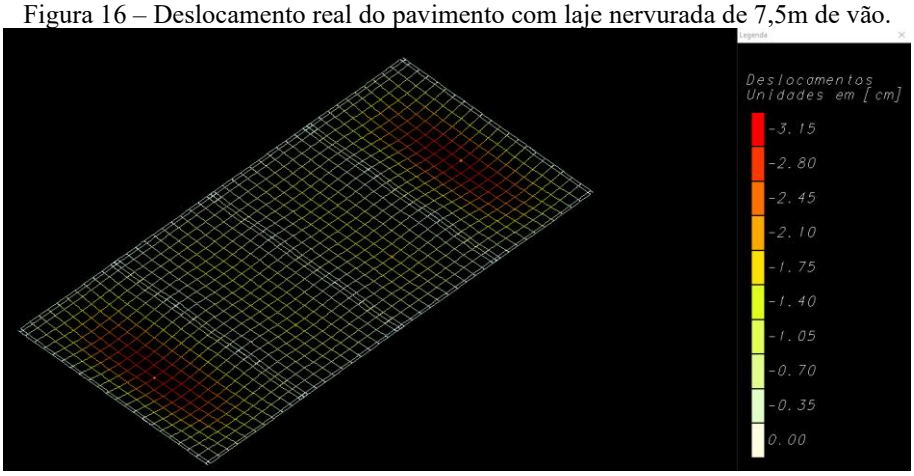
As lajes nervuradas foram inicialmente pré-dimensionadas com altura de molde de 18 cm e capa de concreto de 5 cm, totalizando uma altura h = 23 cm, com vigas-faixa de 50/23 dispostas nos eixos dos pilares.

Figura 15 – Planta baixa do pavimento com laje nervurada de 7,5m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 16 – Deslocamento real do pavimento com laje nervurada de 7,5m de vão.




Fonte: Autoria própria (TQS)

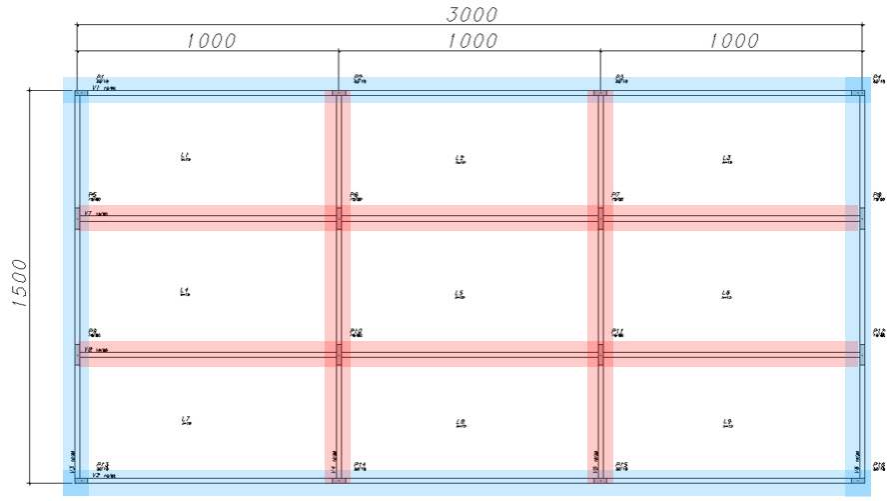
O deslocamento obtido neste pavimento foi de 3,15 cm. O deslocamento limite pela norma é de 3,30 cm. Logo, essa laje está dentro da deformação limite da norma.

## 3.7 ESTUDO NO EDIFÍCIO COM VÃO DE 10 M (EIXO A EIXO)

### 3.7.1 Pavimento de lajes maciças

Realizou-se o pré-dimensionamento das lajes maciças com vãos de 10 m entre eixos de pilares. Para que o deslocamento atendesse aos critérios limite estabelecidos pela norma, foi necessária uma espessura de 22 cm. No entanto, essa espessura mostrou-se inadequada sob os aspectos construtivo e econômico, tornando-se inviável para aplicação prática e incompatível com os objetivos deste estudo. Como solução para diminuir a deformação, foram inseridas algumas vigas de 19/90, dispostas perpendicularmente para auxiliar a laje. Com isso, as lajes foram pré-dimensionadas com espessura de 14 cm e com vigas paralelas aos pilares de 19/60.

Figura 17 – Planta baixa do pavimento com laje maciça de 10m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 18 – Deslocamento real do pavimento com laje maciça de 10m de vão.



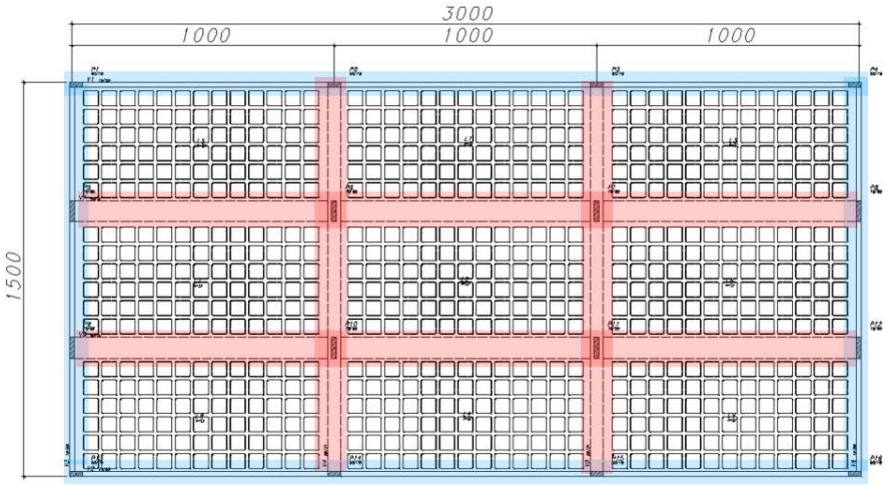

Fonte: Autoria própria (TQS)

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 1,55 cm. O deslocamento limite pela norma é de 4,07 cm. Logo, essa laje está dentro da deformação limite da norma.

### 3.7.2 Pavimento de lajes nervuradas bidirecionais (cubetas)

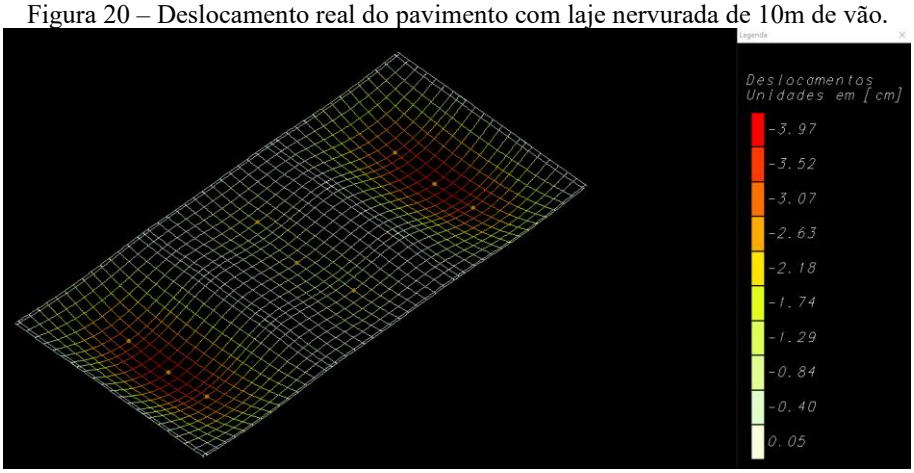
As lajes nervuradas inicialmente foram pré-dimensionadas com altura do molde de 18 cm e capa de concreto de 5 cm totalizando um h=23 cm. No entanto, com essa configuração de laje cubeta, a deformação ficou acima dos critérios estabelecidos pela norma. Com isso, foi feito um novo estudo com altura do molde de 26 cm e com capa de 5 cm, com vigas faixas de 50/31 dispostas nos eixos dos pilares e vigas de 80/31 paralelas ao eixo dos pilares.

Figura 19 – Planta baixa do pavimento com laje nervurada de 10m de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 20 – Deslocamento real do pavimento com laje nervurada de 10m de vão.



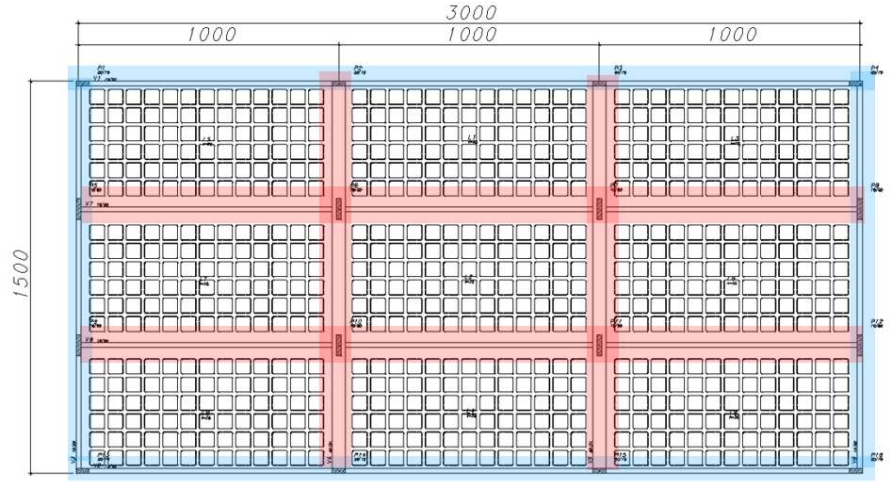

Fonte: Autoria própria (TQS)

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 3,97 cm, o deslocamento limite pela norma é de 4,22 cm. Logo, esta laje está dentro da deformação limite da norma.

### 3.7.3 Pavimento de lajes nervuradas bidirecionais (cubetas) com vigas de 90 cm

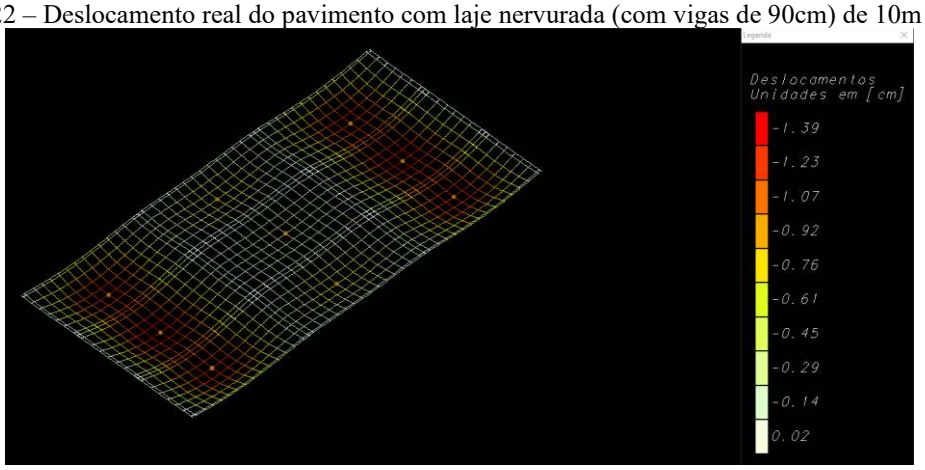
Para efeito de comparação, foi feita uma experiência com vigas de 90 cm de altura no lugar das vigas-faixa de 80/31.

Figura 21 – Planta baixa do pavimento com laje nervurada de 10m (com vigas de 90cm) de vão e suas condições de contorno.




Fonte: Autoria própria (TQS)

Figura 22 – Deslocamento real do pavimento com laje nervurada (com vigas de 90cm) de 10m de vão.




Fonte: Autores.

O deslocamento obtido neste pavimento foi de 1,39 cm, o deslocamento limite pela norma é de 4,15 cm. Logo, esta laje está dentro da deformação limite da norma.

A substituição de vigas-faixa de 80 cm de largura e 31 cm de altura por vigas de 19 cm de largura e 90 cm de altura resultou em uma redução aproximada de 65% nos deslocamentos verticais da laje nervurada bidirecional (3,97 para 1,39 cm). Essa diminuição está diretamente relacionada ao aumento da rigidez flexional do sistema estrutural.

O momento de inércia de uma viga retangular é proporcional ao cubo da altura da seção

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \qquad (1)$$

De modo que o aumento da altura de 31 cm para 90 cm eleva significativamente a inércia, mesmo com a redução da largura. Assim, as vigas mais altas apresentam maior rigidez e funcionam como apoios mais resistentes às deformações da laje.

Consequentemente, a maior rigidez das vigas promove uma redistribuição mais eficiente dos esforços e uma expressiva redução das flechas no centro do painel, melhorando o desempenho global da laje nervurada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas bidirecionais foi conduzida para vãos livres de 5 m, 7,5 m e 10 m, sob ação de peso próprio e sobrecarga de utilização de 3 kN/m² (compatível com garagens). Foi adotado concreto com fck = 35 MPa e aço CA-50. Avaliou-se o desempenho estrutural, com ênfase no controle de deformações (Estado Limite de Serviço - ELS), e o consumo estimado de materiais (concreto e aço), inferindo-se a viabilidade econômica relativa.

A comparação entre as lajes maciças e as nervuradas bidirecionais evidenciou diferenças significativas quanto ao consumo de materiais e ao desempenho estrutural. À medida que o vão aumenta, observa-se um crescimento expressivo das solicitações internas, exigindo maior rigidez e, consequentemente, maior consumo de aço ou aumento de altura das seções.

### 4.1 COMPARAÇÃO POR VÃO

#### 4.1.1 Vão 5,0m

As duas lajes mostraram-se tecnicamente viáveis. A laje maciça resultou em um deslocamento vertical (deformação) de 2,31 cm, o qual é inferior ao limite normativo de 2,88 cm, conseguindo esse resultado com a espessura mínima de 10 cm.

A laje nervurada, embora exigindo maior altura total com 23 cm (molde 18 cm + capa 5 cm), também apresentou controle adequado de deslocamentos, com 0,72 cm, significativamente menor que o limite de 1,32 cm.

#### 4.1.2 Vão 7,5m

O controle de deformações (ELS) tornou-se um fator crítico no dimensionamento. Para a laje maciça, a limitação da flecha exigiu espessura de 17 cm, o que a tornaria inviável, resultando em um elevado peso próprio, além de um consumo de concreto maior. A solução viável adotada foi a laje de 12 cm de espessura com a adição de vigas (19/60) perpendiculares à laje. Este arranjo atingiu um deslocamento vertical de 1,70 cm, logo estando dentro do limite de 3,48 cm.

A laje nervurada bidirecional com altura total de 23 cm (cubeta 18 cm + capa 5 cm), demonstrou maior eficiência estrutural, alcançando a rigidez necessária para o controle de flechas com um deslocamento de 3,15 cm, atendendo ao limite de 3,30 cm. A relação inércia/peso mostrou-se mais favorável para vencer o vão.

### 4.1.3 Vão 10,0m

A laje maciça convencional mostrou-se técnica e economicamente inviável. A espessura de 22 cm requerida para atender ao ELS de deformação, resultaria em peso próprio e consumo de concreto proibitivos. Para resolver o problema estrutural, foi utilizada a laje de 14 cm, com a adição de duas vigas dispostas perpendicularmente com seção de 19/90 (altura considerada de aproximadamente 10% do vão da laje), desta forma, houve uma redução significativa na deformação da laje, resultando em 1,55 cm de deslocamento vertical, inferior ao limite de 4,07 cm.

A laje nervurada permaneceu como solução mais viável, mesmo sendo necessária a adição de vigas para superar o vão, com altura total de 31 cm (cubeta 26 cm + capa 5 cm) e vigas faixa de 80/31, a laje teve um deslocamento vertical de 3,97 cm, atendendo ao limite de 4,22 cm.

Outra solução testada foi a laje nervurada com altura total de 23 cm (molde de 18 cm + capa 5 cm) com vigas de 19/90 no lugar das vigas faixa. Esta versão demonstrou rigidez superior, reduzindo a flecha para 1,39 cm, uma redução significativa em relação à solução com vigas faixa de 80/31. No entanto, a opção de vigas faixa foi mantida como foco do trabalho por questões estéticas e de compatibilidade com a altura da laje.

## 4.2 CONSUMO DE MATERIAIS

### 4.2.1 Vão 5,0m

Para o vão de 5m, a Laje Maciça (h=10cm) foi comparada com a Laje Nervurada (N18 C5).

- Aço (kg): A Laje Maciça (4822.00 kg) apresenta um consumo 32,65% maior que a Nervurada (3635.00 kg).
- Concreto (m³): A Laje Nervurada (66.64 m³) apresenta um consumo 12,68% maior que a Maciça (59.14 m³).
- Formas (m²): A Laje Maciça (606.97 m²) demanda uma área 16,21% maior que a Nervurada (522.31 m²).

Figura 23 – Consumo de Aço no Pavimento de Lajes com vãos de 5,0 metros entre os eixos dos pilares.

| AÇO CA-50 (kg) | | |
|---|---|---|
| 5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h=10cm s/viga | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N18 C5 |
| LAJE | 3646 | 2214 |
| VIGA | 1176 | 1421 |
| TOTAL (kg) | 4822 | 3635 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 24 – Consumo de Concreto no Pavimento de Lajes com vãos de 5,0 metros entre os eixos dos pilares.

| VOLUME DE CONCRETO fck 35 (m³) | | |
|---|---|---|
| 5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h=10cm s/viga | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N18 C5 |
| LAJE | 42,19 | 49,27 |
| VIGA | 16,95 | 17,37 |
| TOTAL (m³) | 59,14 | 66,64 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 25 – Quantidade de Formas no Pavimento de Lajes com vãos de 5,0 metros entre os eixos dos pilares.

| QUANTIDADE DE FORMAS (m²) | | |
|---|---|---|
| 5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h=10cm s/viga | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N18 C5 |
| LAJE | 421,93 | 394,74 |
| VIGA | 185,04 | 127,57 |
| TOTAL (m²) | 606,97 | 522,31 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

4.2.1.1 Resultado do estudo comparativo no pavimento com vãos de 5 metros

A laje nervurada se mostra mais econômica em aço e formas, mesmo consumindo um volume maior de Concreto, contudo considerando a simplicidade executiva do sistema de formas, a laje maciça apresentou-se ligeiramente mais econômica em relação à nervurada neste vão.

### 4.2.2 Vão 7,5m

Para o vão de 7.5m, a Laje Maciça (h=12cm) foi comparada com a Laje Nervurada (N18 C5).

- Aço (kg): A Laje Maciça (5344.00 kg) apresenta um consumo 13,65% maior que a Nervurada (4702.00 kg).
- Concreto (m³): A Laje Maciça (70.71 m³) apresenta um consumo 13,63% maior que a Nervurada (62.23 m³).
- Formas (m²): A Laje Maciça (635.55 m²) demanda uma área 20,91% maior que a Nervurada (525.63 m²).

Figura 26 – Consumo de Aço no Pavimento de Lajes com vãos de 7,5 metros entre os eixos dos pilares.

| AÇO CA-50 (kg) | | |
|---|---|---|
| 7,5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 12 cm c/ VIGA | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 |
| LAJE | 3692 | 3050 |
| VIGA | 1652 | 1652 |
| TOTAL (kg) | 5344 | 4702 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 27 – Consumo de Concreto no Pavimento de Lajes com vãos de 7,5 metros entre os eixos dos pilares.

| VOLUME DE CONCRETO fck 35 (m³) | | |
|---|---|---|
| 7,5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 12 cm c/ VIGA | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 |
| LAJE | 49,97 | 47,90 |
| VIGA | 20,74 | 14,33 |
| TOTAL (m³) | 70,71 | 62,23 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 28 – Quantidade de Formas no Pavimento de Lajes com vãos de 7,5 metros entre os eixos dos pilares.

| QUANTIDADE DE FORMAS (m²) | | |
|---|---|---|
| 7,5 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 12 cm c/ VIGA | PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 |
| LAJE | 416,38 | 409,36 |
| VIGA | 219,17 | 116,27 |
| TOTAL (m²) | 635,55 | 525,63 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

4.2.2.1 Resultado do estudo comparativo no pavimento com vãos de 7,5 metros

O consumo de concreto, aço, e de formas foram substancialmente menores na laje nervurada, de maneira que a nervurada superou os custos adicionais associados à maior complexidade do sistema de formas e a redução do peso próprio também implicou na menor solicitação nas estruturas de apoio. A redução nos consumos, conferiu vantagem econômica à nervurada bidirecional, deste modo inviabilizando economicamente a laje maciça.

### 4.2.3 Vão 10m

Para o estudo comparativo entre as lajes maciças e nervuradas bidirecionais no vão de 10 metros, foram encontradas duas alternativas para a laje nervurada bidirecional.

Solução 1: Laje nervurada bidirecional h=31 cm (cubeta 26 cm + capa 5 cm) com viga eixo 80/31.

Solução 2: Laje nervurada bidirecional h=23 cm (cubeta 18 cm + capa 5 cm) com viga faixa 19/90.

Ambas as soluções da laje nervurada foram comparadas com o a laje maciça com h=14 cm e com vigas 19/90.

4.2.3.1 Solução 1

- Aço (kg): A Laje Maciça (6111.00 kg) apresenta um consumo 16,67% maior que a Nervurada (5238.00 kg).
- Concreto (m³): A Laje Nervurada (88.43 m³) apresenta um consumo 4,89% maior que a Maciça (84.31 m³).
- Formas (m²): A Laje Maciça (685.49 m²) demanda uma área 23,88% maior que a Nervurada (553.35 m²).

4.2.3.2 Solução 2

- Aço (kg): A Laje Maciça (6111.00 kg) apresenta um consumo 35,44% maior que a laje Nervurada (4512.00 kg).
- Concreto (m³): A Laje Maciça (84.31 m³) apresenta um consumo 4,63% maior que a laje Nervurada (80.58 m³).
- Formas (m²): A Laje Maciça (685.49 m²) demanda uma área 6,56% maior que a laje Nervurada (643.31 m²).

Figura 29 – Consumo de Aço no Pavimento de Lajes com vãos de 10 metros entre os eixos dos pilares.

| **AÇO CA-50 (kg)** | | | |
|---|---|---|---|
| 10 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 14 cm c/ VIGA | SOLUÇÃO 1: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 26 C5 c/ VIGA faixa de 80/31 | SOLUÇÃO 2: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 c/ VIGA de 19/90 |
| LAJE | 3852 | 2306 | 2292 |
| VIGA | 2259 | 2932 | 2220 |
| TOTAL (kg) | 6111 | 5238 | 4512 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 30 – Consumo de Concreto no Pavimento de Lajes com vãos de 10 metros entre os eixos dos pilares.

| **VOLUME DE CONCRETO fck 35 (m³)** | | | |
|---|---|---|---|
| 10 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 14 cm c/ VIGA | SOLUÇÃO 1: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 26 C5 c/ VIGA faixa de 80/31 | SOLUÇÃO 2: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 c/ VIGA de 19/90 |
| LAJE | 58,67 | 57,19 | 53,64 |
| VIGA | 25,64 | 31,24 | 26,94 |
| TOTAL (m³) | 84,31 | 88,43 | 80,58 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 31 – Quantidade de Formas no Pavimento de Lajes com vãos de 10 metros entre os eixos dos pilares.

| QUANTIDADE DE FORMAS (m²) | | | |
|---|---|---|---|
| 10 metros | PAVIMENTO DE LAJE MACIÇA h= 14 cm c/ VIGA | SOLUÇÃO 1: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 26 C5 c/ VIGA faixa de 80/31 | SOLUÇÃO 2: PAVIMENTO DE LAJE NERVURADA N 18 C5 c/ VIGA de 19/90 |
| LAJE | 419,08 | 370,4 | 406,63 |
| VIGA | 266,41 | 182,95 | 236,68 |
| TOTAL (m²) | 685,49 | 553,35 | 643,31 |

Fonte: Autoria própria (Excel)

4.2.3.3 Resultado do estudo comparativo no pavimento com vãos de 10 m

O consumo de aço nas lajes nervuradas, embora relevantes, acompanham a necessidade de vencer o grande vão, mas o volume total de materiais e o peso próprio são significantemente menores que os da laje maciça. A laje nervurada representa, portanto, a solução técnica e economicamente indicada para esta magnitude de vão dentro dos parâmetros estudados.

## 4.3 CONSUMO POR VÃO E ESPESSURA

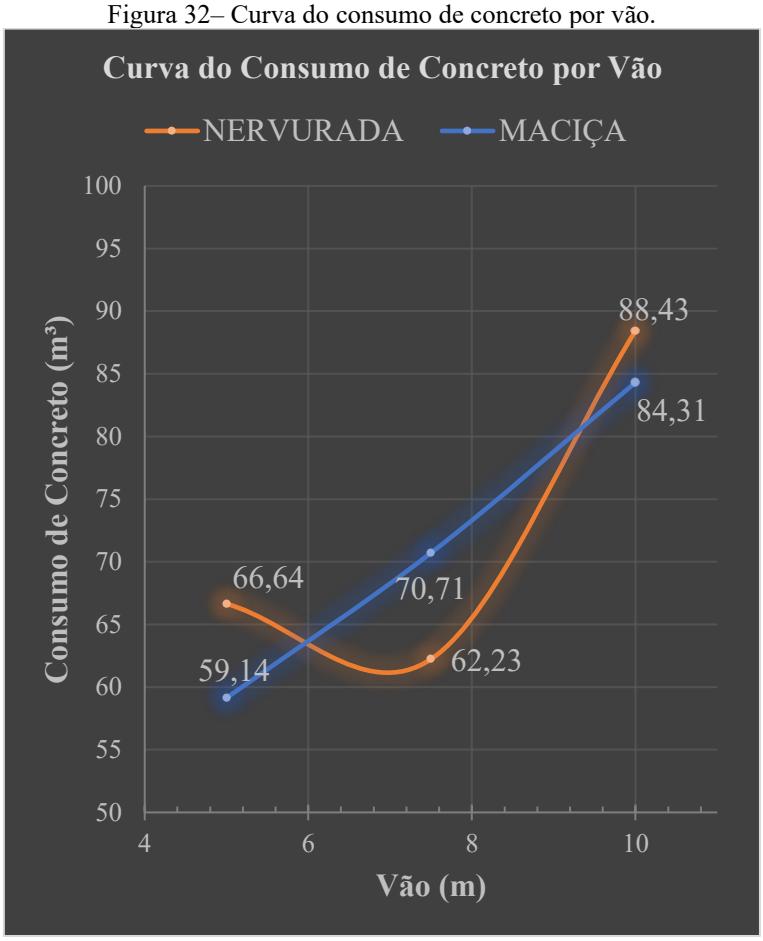
De modo geral, foi possível avaliar o comportamento do consumo de materiais em função do aumento do vão livre entre pilares. Os gráficos apresentados a seguir demonstram as tendências observadas para o concreto, o aço e as fôrmas, bem como a variação da espessura média dos pavimentos em cada configuração estrutural analisada.

### 4.3.1 Consumo de concreto

Conforme ilustrado na figura 31, o consumo de concreto aumenta progressivamente em ambos os sistemas com o crescimento do vão livre. Observa-se que as lajes nervuradas passam a demandar maior volume de concreto a partir de vãos superiores a 7,5 m, comportamento atribuído à presença das vigas-faixas e das nervuras mais altas, necessárias para o controle das deformações. No vão de 10 m, esse acréscimo torna-se mais expressivo em função do uso de vigas de maior inércia, resultando em consumo total superior ao das lajes maciças.

ISSN: 2595-1378

Figura 32– Curva do consumo de concreto por vão.

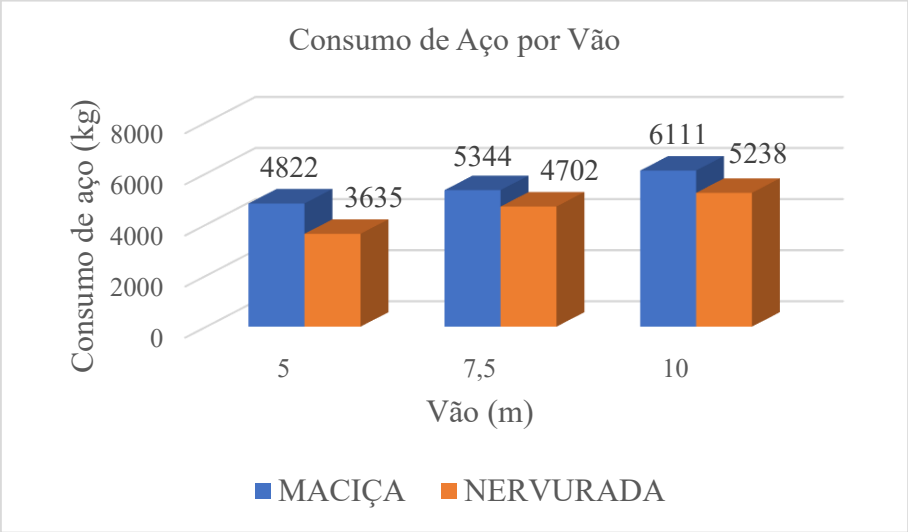



Fonte: Autoria própria (Excel)

### 4.3.2 Consumo de aço

A figura 32 demonstra que as lajes maciças apresentam consumo de aço superior em todos os vãos analisados. Isso se deve ao fato de que, nas lajes planas, as tensões de tração se distribuem por toda a seção, exigindo maiores taxas de armadura para resistir aos momentos fletores. Já nas lajes nervuradas, os esforços se concentram nas nervuras, proporcionando maior rigidez com menor quantidade de armadura.

Figura 33 – Consumo de aço por vão.



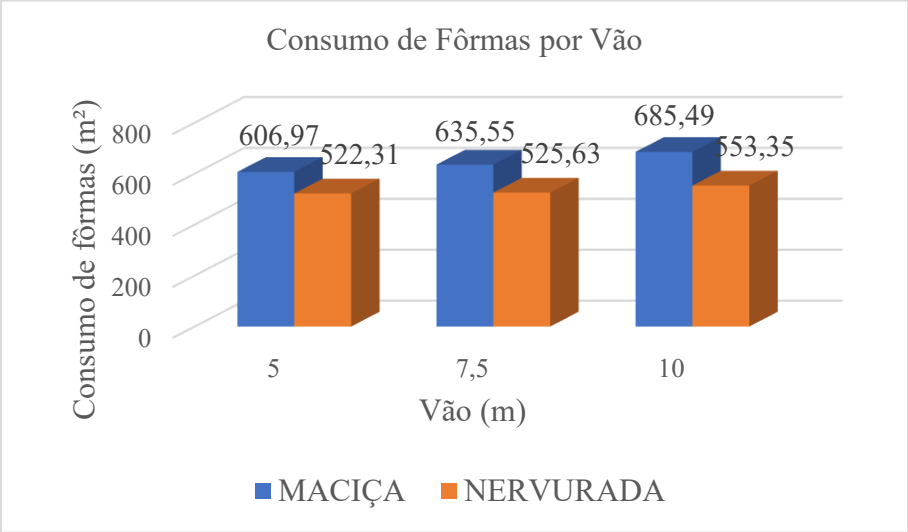

Fonte: Autoria própria (Excel)

Nota-se ainda que o aumento do vão impacta o consumo de aço em ambos os sistemas, porém de forma mais acentuada nas lajes maciças. Assim, o sistema nervurado demonstra maior eficiência no uso do aço, especialmente em vãos superiores a 7,5 m, onde a economia chega a superar 10% em relação às lajes maciças.

### 4.3.3 Consumo de fôrmas

A figura 33 evidencia que as lajes maciças apresentam maior consumo de fôrmas por m² que as lajes nervuradas. Esse resultado deve-se à necessidade de fôrmas contínuas de maior área e ao uso de compensados para faces maiores na laje maciça. Nas nervuradas, apesar da geometria complexa, o uso de cubetas plásticas e o menor comprimento de fôrma por m² resultam em menor área de forma global por metro quadrado.

Figura 34 – Consumo de fôrmas por vão.

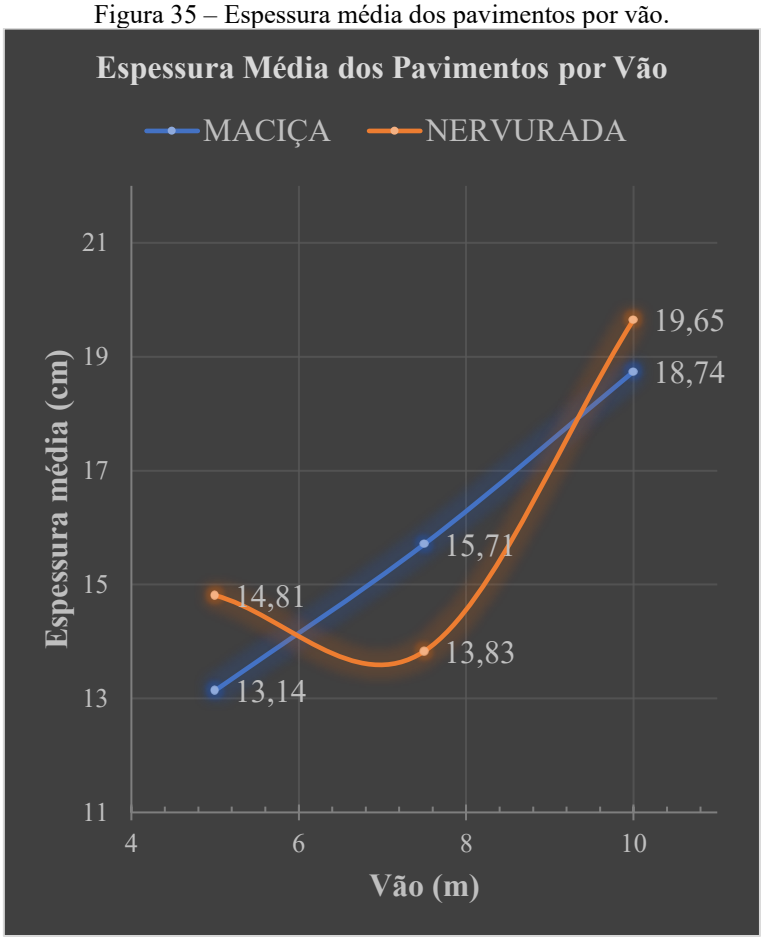



Fonte: Autoria própria (Excel)

### 4.3.4 Espessura média

A figura 34 mostra um comportamento não uniforme entre as tipologias: a espessura média das lajes maciças cresce de forma mais constante com o vão (13,14 → 15,71 → 18,74 cm), enquanto as nervuradas apresentam variação (14,81 → 13,83 → 19,65 cm). Em suma, para alguns vãos, a laje maciça exige espessura média menor que a nervurada, para outros a nervurada requer maior altura média. Essa descontinuidade dos resultados obtidos reforça a necessidade de análise caso a caso considerando a deformação aceitável, custo de execução e altura total da peça.

Figura 35 – Espessura média dos pavimentos por vão.




Fonte: Autoria própria (Excel)

## 4.4 MODELAGEM E AVALIAÇÃO DOS CUSTOS ESTRUTURAIS

### 4.4.1 Metodologia de composição de custos

A estimativa dos custos unitários das soluções estruturais estudadas foi realizada com base nos valores oficiais disponibilizados pelo SINAPI/SP – versão Analítica – não desonerada (referência dez/2024). A adoção da tabela Analítica justifica-se pela necessidade de transparência e detalhamento dos insumos, permitindo rastreabilidade e rigor na comparação entre os sistemas de laje avaliados. Optou-se pela versão não desonerada por representar uma condição tributária integral, usual em análises técnico-acadêmicas e orçamentações de referência, resultando em valores mais conservadores e aderentes ao mercado paulista.

Inicialmente, os quantitativos de materiais referentes à laje e às vigas foram considerados de forma conjunta. Contudo, visando garantir isonomia entre as alternativas estruturais e evitar distorções decorrentes de diferentes geometrias e proporções de elementos, os insumos foram posteriormente separados por elemento (laje e viga) e consolidados apenas no custo global final por metro quadrado de laje.

Para o orçamento, foram adotadas composições compatíveis com o dimensionamento realizado, considerando concreto de fck = 35 MPa, aço CA-50 e pé-direito de 3,50 m, o que exigiu a utilização de composições com escoramento metálico (pé-direito duplo). A Figura 35 apresenta os códigos SINAPI utilizados.

Figura 36 – Códigos utilizados na composição dos custos – SINAPI.

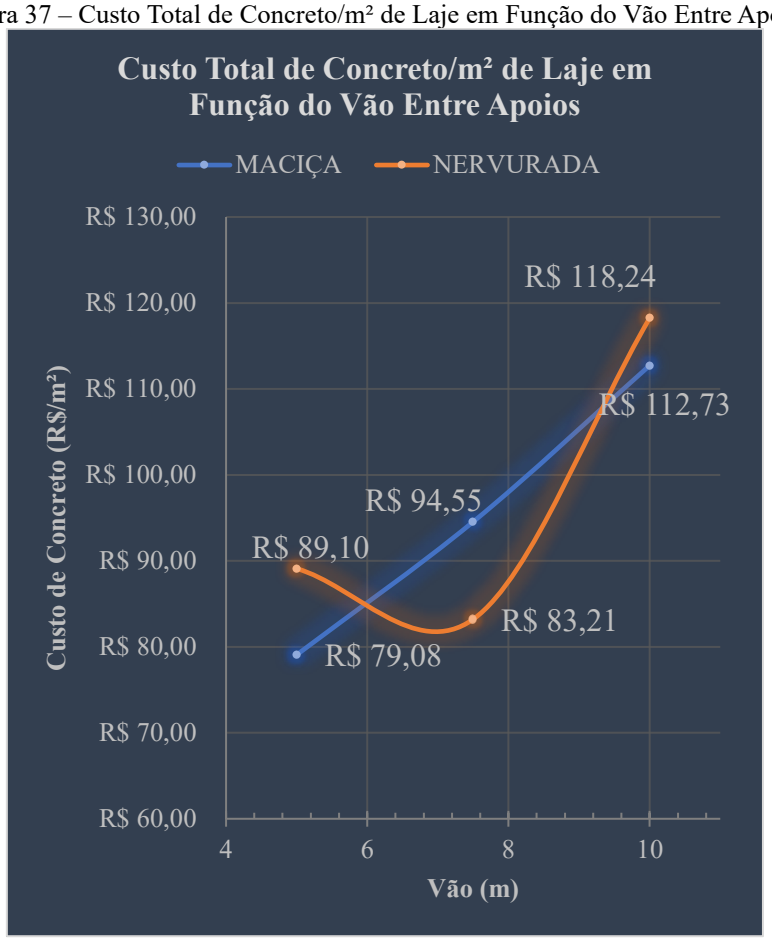
| Elemento | Insumo | Código SINAPI |
|---|---|---|
| LAJE E VIGA | Concreto | **103675** |
| LAJE | Aço CA-50 | **92771** |
| VIGA | Aço CA-50 | **92762** |
| LAJE | Fôrmas | **92524 (laje maciça) / 92492 (laje nervurada)** |
| VIGA | Fôrmas | **92466** |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Cabe ressaltar que, a descrição orçamentária apresentada neste trabalho tem como objetivo a obtenção de uma estimativa de valores referentes aos insumos diretos, ou seja, à matéria-prima utilizada (aço, concreto e fôrmas) e à mão de obra necessária para a execução dos serviços, os quais estão englobados nos códigos do SINAPI adotados. Dessa forma, os custos indiretos associados à execução dos elementos estruturais não foram considerados neste estudo.

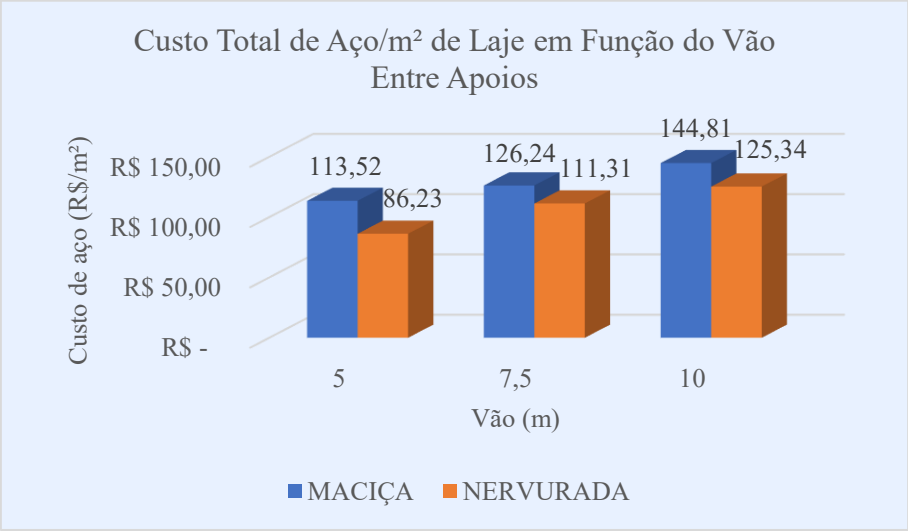
### 4.4.2 Resultados econômicos e discussão

Figura 37 – Custo Total de Concreto/m² de Laje em Função do Vão Entre Apoios.



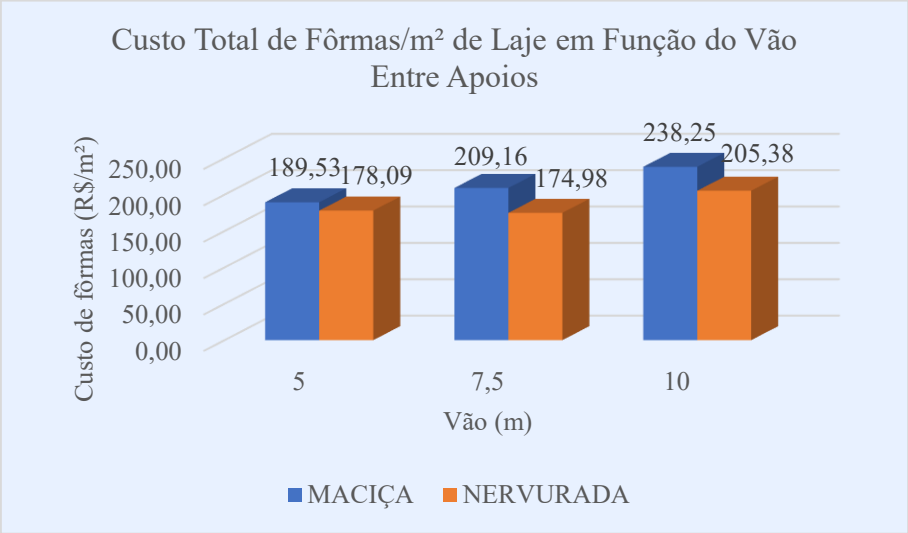

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 38 – Custo Total de Aço/m² de Laje em Função do Vão Entre Apoios.



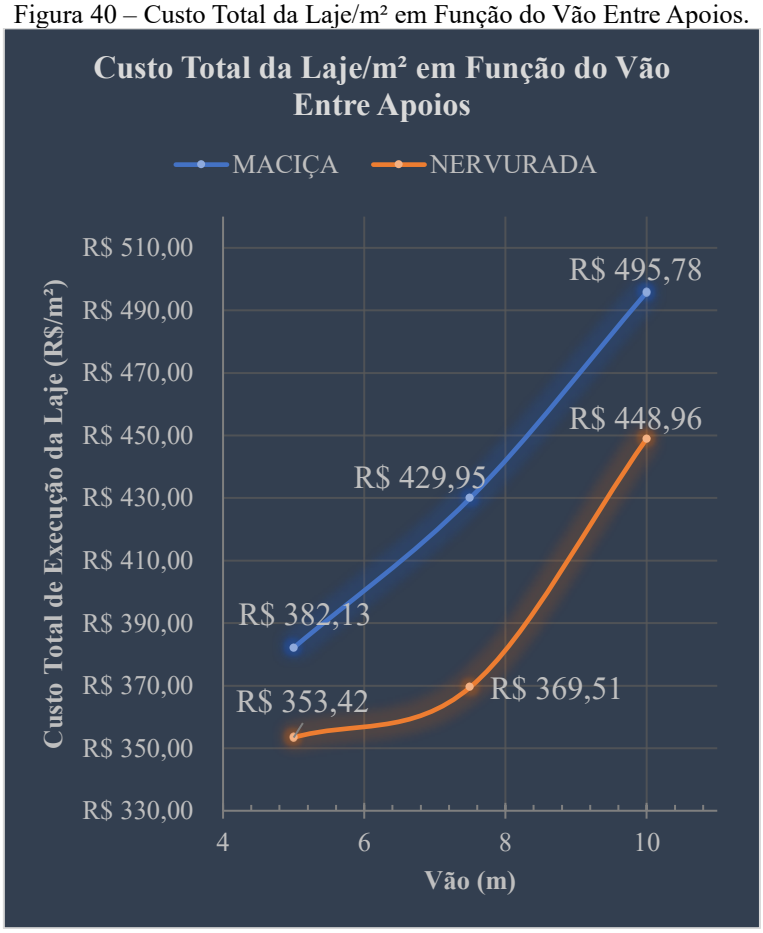

Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 39 – Custo Total de Fôrmas/m² de Laje em Função do Vão Entre Apoios.




Fonte: Autoria própria (Excel)

Figura 40 – Custo Total da Laje/m² em Função do Vão Entre Apoios.




Fonte: Autoria própria (Excel)

ISSN: 2595-1378

Figura 41 – Comparativo do custo total das lajes maciças e nervuradas em função do vão.

**CUSTOS TOTAIS: AÇO**

| Vão (m) | Sistema de laje | Aço (kg) | Custo Total - Aço |
|---|---|---|---|
| 5,0 | laje maciça h=10 cm s/ viga | 4822 | R$ 51.084,92 |
| 5,0 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 3635 | R$ 38.803,65 |
| 7,5 | laje maciça h=12 cm c/ viga | 5344 | R$ 56.806,84 |
| 7,5 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 4702 | R$ 50.091,52 |
| 10,0 | laje maciça h=14 cm c/ viga | 6111 | R$ 65.163,51 |
| 10,0 | laje nervurada cubeta c/ viga faixa N 26 C5 | 5238 | R$ 56.402,08 |
| 10,0 | pav cub c/ viga de 90 N 18 C5 | 4512 | R$ 48.416,52 |

**CUSTOS TOTAIS: CONCRETO**

| Vão (m) | Sistema de laje | Concreto (m³) | Custo Total - Concreto |
|---|---|---|---|
| 5,0 | laje maciça h=10 cm s/ viga | 59,14 | R$ 35.583,95 |
| 5,0 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 66,64 | R$ 40.096,62 |
| 7,5 | laje maciça h=12 cm c/ viga | 70,71 | R$ 42.545,50 |
| 7,5 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 62,23 | R$ 37.443,17 |
| 10,0 | laje maciça h=14 cm c/ viga | 84,31 | R$ 50.728,48 |
| 10,0 | laje nervurada cubeta c/ viga faixa N 26 C5 | 88,43 | R$ 53.207,45 |
| 10,0 | pav cub c/ viga de 90 N 18 C5 | 80,58 | R$ 48.484,18 |

**CUSTOS TOTAIS: FÔRMAS**

| Vão (m) | Sistema de laje | Fôrma (m²) | Custo Total - Fôrma |
|---|---|---|---|
| 5,0 | laje maciça h=10 cm s/ viga | 606,97 | R$ 85.287,92 |
| 5,0 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 522,31 | R$ 80.138,91 |
| 7,5 | laje maciça h=12 cm c/ viga | 635,55 | R$ 94.123,16 |
| 7,5 | laje nervurada cubeta N18 C5 | 525,63 | R$ 78.743,14 |
| 10,0 | laje maciça h=14 cm c/ viga | 685,49 | R$ 107.210,88 |
| 10,0 | laje nervurada cubeta c/ viga faixa N 26 C5 | 553,35 | R$ 92.420,65 |
| 10,0 | pav cub c/ viga de 90 N 18 C5 | 643,31 | R$ 111.219,21 |

**CUSTO TOTAL GERAL**

| Vão (m) | Sistema de laje | Custo Total | Competitividade |
|---|---|---|---|
| 5,0 | laje maciça h=10 cm s/ viga | R$ 171.956,79 | ✗ |
| 5,0 | laje nervurada cubeta N18 C5 | R$ 159.039,18 | ☑ |
| 7,5 | laje maciça h=12 cm c/ viga | R$ 193.475,50 | ✗ |
| 7,5 | laje nervurada cubeta N18 C5 | R$ 166.277,83 | ☑ |
| 10,0 | laje maciça h=14 cm c/ viga | R$ 223.102,87 | ✗ |
| 10,0 | laje nervurada cubeta c/ viga faixa N 26 C5 | R$ 202.030,17 | ☑ |
| 10,0 | pav cub c/ viga de 90 N 18 C5 | R$ 208.119,91 | ✗ |

Fonte: Autoria própria (Excel)

Com base nas Figuras 36 a 40, observa-se que o custo global das lajes nervuradas cresce proporcionalmente ao aumento do vão, mas de forma mais moderada quando comparado ao comportamento típico das lajes maciças. Essa tendência evidencia a maior eficiência estrutural do sistema nervurado, capaz de reduzir o peso próprio e otimizar o consumo de aço e concreto, mesmo quando há aumento do custo das formas.

Nos vãos menores (5,0 m), o custo total se mantém próximo entre as soluções, indicando que a laje maciça ainda é uma alternativa viável pela simplicidade executiva. Já nos vãos médios (7,5 m),

o ganho econômico da laje nervurada torna-se mais evidente, resultado da redução expressiva da armadura e do volume de concreto. Para vãos maiores (10,0 m), embora ocorra acréscimo no custo absoluto devido às vigas-faixa e maior demanda de formas, a laje nervurada mantém o melhor desempenho relativo, confirmando sua superioridade técnica e econômica.

De modo geral, o comportamento apresentado demonstra que o sistema nervurado é mais vantajoso para vãos médios e grandes, enquanto o uso de laje maciça tende a ser mais adequado em vãos curtos, nos quais a diferença de custo não compensa a complexidade adicional de execução do sistema nervurado.

## 5 CONCLUSÕES

Tendo como objetivo uma análise comparativa entre as lajes maciças e as lajes nervuradas bidirecionais, conclui-se que:

Para o vão de 5 metros, ambos os tipos de laje atendem aos limites normativos. A laje maciça apresenta-se como solução mais simples e flexível, operando próxima ao limite de deformação admissível. A laje nervurada, embora possua um padrão definido de nervuras que aumenta o consumo de concreto, mostrou vantagem econômica no consumo de aço e formas, ainda que o custo final se mantenha próximo ao da maciça para esse vão.

No vão de 7,5 metros, observa-se a necessidade de vigas adicionais na laje maciça para controlar as deformações, o que eleva significativamente o consumo de materiais e, consequentemente, o custo. Apesar de apresentarem valores próximos, a laje nervurada mostra-se mais econômica nesse caso, devido ao menor consumo de concreto, aço e formas em relação à laje maciça.

Para o vão de 10 metros, todos os consumos são superiores na laje maciça, com exceção de uma solução específica (laje maciça comparada à laje nervurada – solução 1), que apresenta menor volume de concreto, mas ainda assim não resulta em um custo final inferior ao das lajes nervuradas.

Conclui-se, portanto, que a viabilidade econômica, diretamente relacionada ao consumo de materiais, e a eficiência estrutural das tipologias de lajes estão condicionadas ao vão-livre. Assim, a laje maciça demonstra melhor custo-benefício para vãos menores (5 m), enquanto as lajes nervuradas bidirecionais são mais vantajosas para vãos intermediários e maiores (7,5 m e 10 m).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14724: Trabalhos acadêmicos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6024: Numeração progressiva das seções de um documento — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10520: Citações em documentos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6023: Informação e documentação — Referências — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6028: Informação e documentação — Resumo — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BASTOS, P. S. Lajes de concreto armado. Bauru, SP: Unesp, 2023.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Carlos: EdUFSCar, 2012. Acesso em: 20 out. 2025.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Paulo: PINI, 2009. Acesso em: 20 out. 2025.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil — SINAPI. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2024. Disponível em: https://www.caixa.gov.br. Acesso em: 5 nov. 2025.

GODOY, A. Lajes nervuradas de concreto armado. São Paulo: PINI, 2003.

HELENE, P. R. L. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1993.

MENDES, M.; FERNANDES, M. B. H.; CASTILHO, P. P.; TAK, Y. J. Apostila – Estruturas de Concreto I: Projeto de lajes A-B. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1982.

PFEIL, W. Concreto armado. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1982.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de concreto armado. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

SOUZA, R. C. Análise de estruturas de concreto armado. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

TQS INFORMÁTICA LTDA. Manual técnico do sistema TQS. São Paulo, 2023.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Cerâmica, São Paulo, v. 61, p. 178–189, 2015.

VIVA DECORA. Laje nervurada. Disponível em: https://arquitetura.vivadecora.com.br/laje-nervurada/. Acesso em: 22 out. 2025.

ATEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PLÁSTICOS LTDA. Catálogo técnico — Fôrmas plásticas para lajes nervuradas, maciças, vigas e pilares. São Paulo, 2024. Disponível em: https://solucoes.atex.com.br. Acesso em: 5 nov. 2025.