

Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA

VITOR A. S. LIRA – ENG. – SGE; ROBERTO H. G. TEIXEIRA – ENG. – TCE-MA

RESUMO

Quando se trata de lajes em concreto armado, cada modelo estrutural possui características diferentes, tais como: forma de execução, geometria, materiais empregados, consumo de materiais, custos, tempo de execução, etc. Assim, é válido questionar se o modelo estrutural de laje nervurada utilizado na construção do estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão (TCE-MA) possui alguma vantagem em relação ao modelo estrutural de laje maciça.

Assim, este trabalho teve por objetivo comparar a laje nervurada do estacionamento do TCE-MA com uma laje maciça equivalente dimensionada, de modo que se pudesse concluir qual delas apresentava a melhor viabilidade econômica. Ao final da pesquisa, concluiu-se que o modelo de laje nervurada construído no Tribunal de Contas do Estado do Maranhão é mais econômico que o modelo de laje maciça equivalente calculada, por conta do menor consumo de materiais, que acarreta menor custo final e economia na estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: LAJE, MACIÇA, NERVURADA.

1. INTRODUÇÃO

Lajes são elementos estruturais que têm a função de receber diretamente as cargas de um pavimento e transferi-las para vigas ou pilares. Geometricamente, esses elementos apresentam as duas primeiras dimensões muito maiores que a terceira, que é denominada de espessura, sendo este um dos parâmetros mais importantes a serem considerados nos cálculos estruturais. Tratando-se de lajes em concreto armado, cada modelo estrutural possui características diferentes, tais como: forma de execução, geometria, materiais empregados, custos e tempo de execução.

Atualmente dois modelos estruturais de lajes muito utilizados nas construções são as lajes maciças e as nervuradas. As lajes maciças são placas delgadas de concreto armado com espessura mínima de 8 cm (segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, quando seu uso inclui sobrecarga de pessoas), cujas extremidades normalmente são apoiadas por vigas. Já, as lajes nervuradas possuem zona de tração constituída de nervuras, geralmente sendo utiliza-

dos materiais inertes entre as mesmas objetivando uma melhor otimização do elemento.

Sendo assim, questiona-se: o modelo estrutural de laje nervurada utilizado na construção do estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão (TCE-MA) possui quais vantagens em relação ao modelo estrutural de laje maciça? Portanto, este estudo tem por objetivo comparar a laje nervurada do estacionamento do TCE-MA com uma laje maciça, dimensionada para suportar as mesmas cargas e vencer os mes-

mos vãos, de modo que se conclua qual deva apresentar a melhor viabilidade econômica.

No ramo da engenharia civil, cada modelo estrutural adotado nas construções possui vantagens, desvantagens, características e propriedades distintas, logo, a comparação entre os dois tipos de lajes abordados neste estudo prático é relevante e válida para pontuar as diferenças entre cada modelo e nortear o engenheiro a escolher qual a melhor solução estrutural a ser executada em sua construção.



► **Figura 1**
Estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão

2. DESENVOLVIMENTO

A pesquisa é um estudo de caso, de caráter quantitativo e qualitativo, que foi realizada em escritório e em campo, locais onde foram coletadas todas as informações acerca da construção da estrutura de laje nervurada do estacionamento do TCE-MA (Figura 1), tais como: projetos estruturais, memoriais descritivos, relatórios da construção e composições de custos.

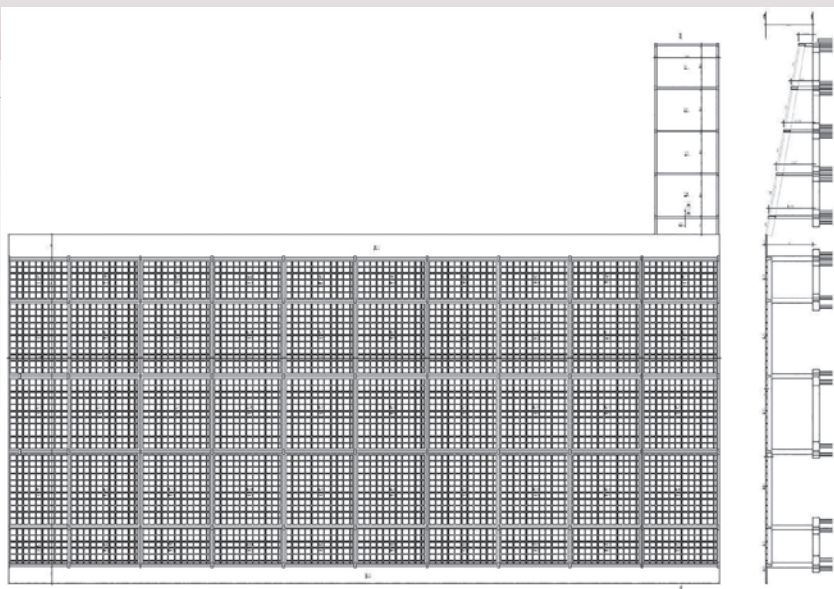
Logo após esta etapa, foi dimensionada para o mesmo estacionamento uma estrutura de laje maciça utilizando-se os mesmos parâmetros de cálculos retirados dos memoriais da estrutura existente. O modelo de cálculo adotado para o dimensionamento da laje maciça é descrito no capítulo 7 do livro "Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118/2014" – 4ª edição, do professor Roberto Chust de Carvalho.

Assim, de posse dos dados da estrutura já existente (laje nervurada) e dos dados da estrutura dimensionada (laje maciça), foi feita a comparação e análise entre os dois modelos de estruturas, de modo a destacar qual possui a melhor viabilidade econômica. Esta comparação ocorreu através do levantamento quantitativo de concreto, aço, fôrmas e cimbramento utilizado no projeto de cada modelo estrutural.

Além disso, para as duas estruturas foram adotados os preços unitários de serviços que constam na licitação da laje nervurada (ocorrida em 2015), para que, desta forma, a base comparativa de custo das estruturas não seja diferente. Assim, com base nos quantitativos e nos preços unitários dos serviços, comparou-se os custos financeiros totais de execução entre os dois modelos de estruturas, de forma a apontar qual modelo apresentou melhor viabilidade econômica para o caso do estacionamento do TCE-MA.

2.1 Laje nervurada do estacionamento do TCE-MA

O estacionamento do prédio anexo do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão está situado na Avenida Professor Carlos Cunha, S/n, no bairro Calhau, em São Luís do Maranhão. Foi projetado para suprir a necessidade do órgão público por



► **Figura 2**
Planta da estrutura

Fonte: Adaptado de TCE-MA (2015)

vagas de estacionamento, contando com 240 vagas para carros de pequeno porte, distribuídas em dois pavimentos, um térreo e um elevado.

A estrutura de suporte do pavimento elevado foi executada com fundações tipo estaca raiz, pilares de concreto armado, vigas de concreto armado e lajes nervuradas armadas nas duas direções, além de duas lajes maciças em balanço nas extremidades laterais, tendo como acesso uma rampa executada em laje maciça. A Figura 2 mostra a etapa construtiva de colocação das fôrmas, que foi feita após as vigas atingirem a resistência necessária para receber as cargas que atuariam nas etapas posteriores da execução.

Sendo que as lajes possuem vãos diversos, variando de 4,00 metros a 8,04 metros de comprimento, observa-se também que as lajes centrais da estrutura se repetem. Assim, após a colocação das fôrmas, a armadura foi posicionada na estrutura conforme o detalhamento do projeto e, após a verificação da execução do posicionamento das armaduras, a laje foi concretada em duas etapas com concreto usinado conforme as normas técnicas vigentes. De acordo com o projeto estrutural e consultas com o corpo técnico que executou a obra, foram extraídos todos os dados relevantes acerca da construção do estacionamento, sendo eles:

- $f_{ck} = 25$ MPa;
- Retirada do escoramento aos 28 dias;

- Vigas de 20 x 70 cm;
- Aço CA50 para armadura longitudinal;
- Cobrimento de 3 cm;
- Classe III de agressividade ambiental;
- Brita 1;
- Lajes projetadas para uso de estacionamento (veículos de até 3 kN/m²);
- Contrapiso de cimento e areia de 5 cm com peso específico de 21 kN/m³;
- Fôrma ATEX 650 com abas iguais.

Na Tabela 1, consta o resumo dos materiais utilizados na construção da laje nervurada:

A taxa de aço da estrutura da laje nervurada (ρ'_n) pode ser calculada de acordo com a equação 1.

$$\rho'_n = \frac{\text{massa total de aço}}{\text{volume total de concreto}}$$

[1] $\rho'_n = 16595 \text{ Kg} / 240,8 \text{ m}^3$
 $\rho'_n = 68,9 \text{ Kg/m}^3$

2.2 Laje maciça equivalente

O método de dimensionamento de lajes maciças foi feito com base na teoria das placas delgadas (método elástico), conforme regulamenta a norma vigente (ABNT NBR 6118 (2014)). Segundo Carvalho (2015), são feitas considerações práticas para simplificação dos cálculos da laje, admitindo que as placas sejam constituídas de material homogêneo, elástico, isotrópico, linear fisicamente e com pequenos deslocamentos.

Também se considera que a ação das

Tabela 1
Resumo dos materiais utilizados na laje nervurada

Material	Quantidade
Concreto	240,80 m ³
Aço	16.595,00 kg
Fôrma de polipropileno	2.384,40 m ²
Fôrma de chapa resinada	55,32 m ²
Cimbramento	0,37 ± 0,03
2.384,40 m ²	0,44 ± 0,09

Fonte: Autor (2018)

placas nas vigas faz-se somente por meio de forças verticais, que as ações das placas nas vigas são uniformemente distribuídas, que não há transmissão de carga diretamente para os pilares, que as vigas de contorno não são deslocáveis na direção vertical e que a rotação das placas no contorno é livre ou totalmente impedida.

Vale ressaltar que, apesar de a laje ser concretada juntamente com as vigas (dando ao conjunto um comportamento monolítico de viga-laje), o dimensionamento é feito como se a laje fosse um elemento isolado por questão de simplificação dos cálculos, logo, também, foi

considerado a compatibilização dos momentos negativos entre uma laje e outra. Os cálculos foram feitos apenas para a região onde originalmente existem as lajes nervuradas, a rampa de acesso e as duas lajes em balanço não foram recalculadas, pois já se tratam de lajes maciças.

As lajes foram agrupadas de acordo com suas dimensões, convencionando-se nos cálculos que o eixo X seria a direção da menor dimensão da laje e o eixo Y referente à direção da maior dimensão da laje. Logo, seguiu-se o roteiro de cálculo de forma que, ao final do dimensionamento, obteve-se lajes de 14 cm de altura, armadas nas duas direções com barras de diâmetros e espaçamentos diversos. Vale ressaltar que o cálculo das lajes maciças foi realizado de modo que as flechas imediatas e as flechas ao longo do tempo de permanência da estrutura se enquadram nos limites da norma.

Depois de realizados todos os cálculos, elaborou-se o detalhamento da estrutura. A Figura 3 mostra a dimensão da laje maciça.

Após o detalhamento, organizou-se em um quadro a quantidade de materiais levantados para a execução da laje maciça, conforme mostra a Tabela 2.

A taxa de aço da estrutura da laje maciça (ρ'_m) pode ser calculada de acordo com a equação 2.

$$[2] \quad \rho'_m = \text{massa total de aço} / \text{Volume total de concreto}$$

$$\rho'_m = 29254 \text{ Kg} / 333,8 \text{ m}^3$$

$$\rho'_m = 87,6 \text{ Kg/m}^3$$

3. RESULTADOS

Após quantificar os materiais utilizados na construção da laje nervurada do TCE-MA, procedeu-se ao dimensionamento e detalhamento de uma estrutura em laje maciça equivalente, cujos materiais necessários para execução também foram quantificados. Pode-se então comparar a quantidade de materiais utilizados em cada modelo de laje conforme a Tabela 3.

Assim, observa-se um aumento de 38,62% no consumo de concreto e um aumento de 76,30% no consumo de aço da laje maciça em relação à laje nervurada. Nota-se, também, que a laje maciça apresentou um aumento de 27,14% da taxa de aço em comparação com a taxa de aço da laje nervurada.

A laje nervurada é executada com fôrmas de polipropileno e chapa resinada, enquanto que a laje maciça é construída exclusivamente com fôrmas de chapa resinada. Assim, constatou-se um aumento de 1% no consumo da área de fôrmas da laje nervurada em relação à laje maciça - esta pequena diferença se dá por conta da altura da laje nervurada (0,26 m), que é maior que a altura da laje maciça dimensionada (0,14 m). Além disso, o quantitativo de cimbramento é igual para os dois modelos de laje, pois a área de cobertura das lajes é equivalente.

Tabela 2
Resumo dos materiais utilizados na laje maciça

Material	Quantidade
Concreto	333,80 m ³
Aço	29.254,00 kg
Fôrma de polipropileno	0 m ²
Fôrma de chapa resinada	2.414,20 m ²
Cimbramento	2.384,40 m ²

Fonte: Autor (2018)

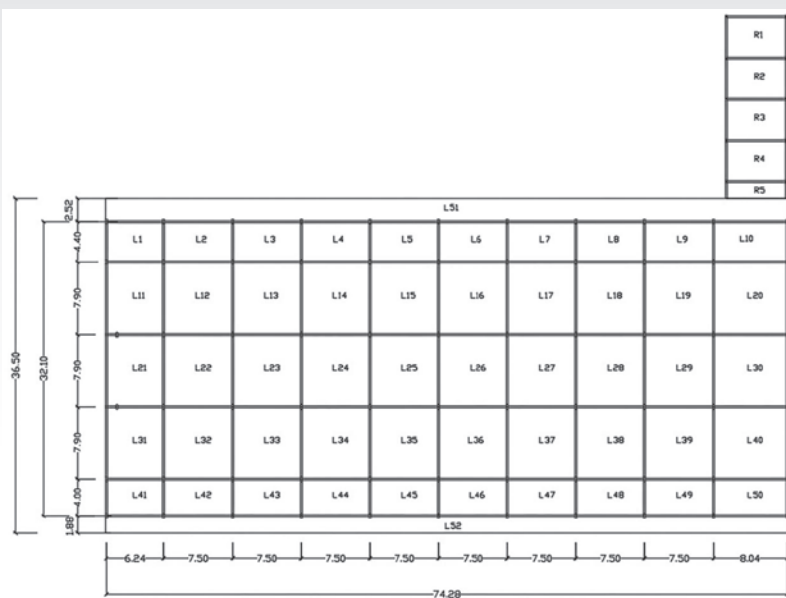


Figura 3
Laje maciça projetada, medidas em metros
Fonte: Autor (2018)

Tabela 3
Resumo dos materiais utilizados na laje maciça e nervurada

Material	Laje nervurada	Laje maciça
Concreto	240,8 m ³	333,80 m ³
Aço	16.595 kg	29.254,00 kg
Fôrma de polipropileno	2.384,4 m ²	0 m ²
Fôrma de chapa resinada	55,32 m ²	2.414,20 m ²
Cimbramento	2.384,4 m ²	2.384,40 m ²

Fonte: Autor (2018)

Adotando como referência os valores de preços dos serviços licitados no ano de 2015 pelo TCE-MA, foi possível calcular o custo total da execução de cada modelo de laje apresentado. Destaca-se que os preços adotados pelo

TCE-MA incluem mão de obra com encargos sociais de 87,49% (desonerado) e BDI (Benefícios e despesas indiretas) de 24,12%, portanto refletem o preço real dos serviços de execução das estruturas no ano em questão.

Quanto ao cimbramento da laje maciça, ressalta-se que o valor da composição de preço unitária adotada pelo TCE-MA considera o valor de R\$ 40,72 para cada m² da laje nervurada apresentada. Como forma de estimar o valor de uma composição de custo equivalente para a laje maciça dimensionada neste trabalho (que possui um peso próprio total maior) será multiplicado o preço unitário de R\$ 40,72/m² pelo fator de 1,3862 correspondente à diferença de peso entre as estruturas dos dois modelos de lajes, sendo esta diferença de peso diretamente proporcional ao volume de concreto armado entre cada modelo de laje. Portanto, para a laje maciça será

considerado um preço unitário de cimbramento igual a R\$ 56,44 /m².

Possuindo o quantitativo de materiais de cada modelo de laje e dos preços de execução dos serviços, é possível calcular o preço total dos dois tipos de estruturas multiplicando os quantitativos de serviço pelo preço unitário dos mesmos, conforme mostram as Tabelas 4 e 5.

A estrutura de lajes maciças apresentou um aumento de 24,5% no preço final quando comparada com a estrutura de lajes nervuradas. Esta diferença no preço final significa uma economia total de R\$ 114.281,35. Ressalta-se que este preço está de acordo com as composições de custo adotadas na licitação da obra feita no ano de 2015. Sendo assim, para obter o preço atual de execução das estruturas, basta multiplicar o quantitativo de serviços por preços de composições de custos atualizadas. A Figura 4 mostra a diferença de preço entre os modelos de lajes comparados.

Constatou-se que, para o estudo de caso da laje do estacionamento do TCE-MA, o modelo estrutural de lajes nervuradas é mais econômico do que o modelo estrutural de lajes maciças. Isto se deve ao fato de que as lajes nervuradas são estruturas mais otimizadas, por conta das nervuras que tornam o peso próprio da estrutura relativamente menor, que, por consequência, influenciam nos carregamentos e esforços internos, demandando principalmente uma menor quantidade de concreto e aço para que a estrutura possa atingir a resistência necessária, ocasionando, assim, um menor preço final de execução da estrutura.

Tabela 4
Custo total da laje nervurada

Serviço	Quantitativo	Preço unitário	Total
Concretagem utilizando concreto usinado bombeado com $f_{ck} = 25$ MPa, com colocação, espalhamento e adensamento mecânico.	240,80 m ³	R\$ 496,47 / m ³	R\$ 119.549,98
Aço Armadura CA 50 – fornecimento e execução.	16.595,00 kg	R\$ 7,06 / kg	R\$ 117.160,70
Fôrma em chapa resinada, esp. 12 mm – fabricação, montagem e desforma.	55,32 m ²	R\$ 30,60 / m ²	R\$ 1.692,79
Montagem e desforma de fôrma de polipropileno para lajes nervuradas.	2.384,40 m ²	R\$ 54,91 / m ²	R\$ 130.927,40
Cimbramento metálico, incluso montagem e desmontagem.	2.384,40 m ²	R\$ 40,72 / m ²	R\$ 97.092,77
TOTAL			R\$ 466.423,64

Fonte: Autor (2018)

Tabela 5
Custo total da laje maciça

Serviço	Quantitativo	Preço unitário	Total
Concretagem utilizando concreto usinado bombeado com $f_{ck} = 25$ MPa, com colocação, espalhamento e adensamento mecânico.	333,80 m ³	R\$ 496,47 / m ³	R\$ 165.721,69
Aço Armadura CA 50 – fornecimento e execução.	29.254,00 kg	R\$ 7,06 / kg	R\$ 206.533,24
Fôrma em chapa resinada, esp. 12 mm – fabricação, montagem e desforma.	2.414,20 m ²	R\$ 30,60 / m ²	R\$ 73.874,52
Montagem e desforma de fôrma de polipropileno para lajes nervuradas.	0,00 m ²	R\$ 54,91 / m ²	R\$ 0,00
Cimbramento metálico, incluso montagem e desmontagem.	2.384,40 m ²	R\$ 56,44 / m ²	R\$ 134.575,54
TOTAL			R\$ 580.704,99

Fonte: Autor (2018)

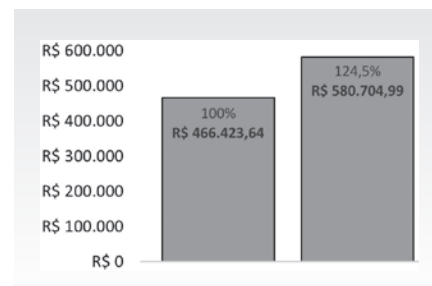


Figura 4
Comparação do preço entre os dois modelos de lajes
Fonte: Autor (2018)


4. CONCLUSÕES

O modelo estrutural de lajes nervuradas é indicado quando há a necessidade de vencer grandes vãos, sendo também interessante sua utilização em caso de elevadas cargas atuantes, como, por exemplo, cargas de veículos, como foi exemplificado neste estudo. Porém, em casos de pequenos vãos (4 a 6 metros) com cargas relativamente pequenas (utilização residencial) este modelo estrutural pode não ser o mais econômico a ser utilizado. Em casos de regiões de lajes em balanço também não é recomendado se utilizar

o modelo de lajes nervuradas, por conta da inversão de momentos fletores, já que a parte inferior da laje (na região das nervuras) não possui tanta resistência à compressão quanto as lajes maciças.

Também é válido observar que o menor volume de concreto demandado pelo modelo de lajes nervuradas, em comparação com o modelo de lajes maciças, acarreta menor peso suportado pelas vigas, pilares e fundações, resultando, assim, em menores dimensões em todos os elementos estruturais, que, por consequência, resulta em menores gastos com

materiais e, portanto, menor custo de construção da estrutura.

Assim, o questionamento sobre a viabilidade econômica entre os dois modelos de lajes apresentados pode ser satisfatoriamente respondido através deste estudo, pois evidenciou-se que, para o caso estacionamento do TCE-MA, o modelo de lajes nervuradas executado é mais econômico do que o modelo de lajes maciças (caso este fosse implantado no local), principalmente por conta do menor consumo de concreto e aço, que refletem no preço final da estrutura. 

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ATEX. Fôrmas de laje nervurada bidirecional. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/bidirecional/>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.
- [3] BRASIL. Tribunal de Contas do Estado do Maranhão. Composição Unitária de Custos. São Luís, 2015.
- [4] BRASIL. Tribunal de Contas do Estado do Maranhão. Projetos Estruturais da Laje de Estacionamento. São Luís, 2015.
- [4] CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2015.

NO PRUMO

Compartilhar teoria e prática da construção civil, com leveza, didatismo e criatividade. Esta é a proposta do livro "No Prumo".

O livro é dividido em duas partes. A primeira traça a história da construção no Brasil e sua relação com a cultura. A segunda revela, na prática, os conceitos e as técnicas consolidadas ao longo dessa história.

A publicação oferece uma leitura atual de temas que vão do projeto e da análise de solo ao serviços de concretagem, sistemas construtivos e sustentabilidade.

Com textos de Paulo Helene, professor aposentado da Escola Politécnica da USP e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 x 29 cm

PÁGINAS: 170

ANO: 2017

VENDAS: Loja virtual (www.ibracon.org.br)



PRODUÇÃO



ASX
PRODUÇÕES ARTÍSTICAS

PATROCÍNIO

POLIMIX
CONCRETO



REALIZAÇÃO

MINISTÉRIO DA
CULTURA

