

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO

ROBERTA ALVES TEIXEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE LAJES MISTAS VISANDO UM
ORÇAMENTO FINAL MAIS VANTAJOSO**

Belo Horizonte

2025

ROBERTA ALVES TEIXEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE LAJES MISTAS VISANDO UM
ORÇAMENTO FINAL MAIS VANTAJOSO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA/TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **vinte e oito dias** do mês de **outubro de 2025**, às 17h, a estudante **Roberta Alves Teixeira**, matrícula 2023668853, defendeu o Trabalho intitulado “**Estudo Comparativo de Lajes Mistas Visando um Orçamento Final mais Vantajoso**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 95 (noventa e cinco pontos)

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas

Nota: 95 (noventa e cinco pontos)

Examinador(a): MSc. Janaina Soraia de Sá Machado



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 28/11/2025, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Janaina Soraia de Sa Machado, Professora Magistério Superior-Substituta**, em 09/12/2025, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4673976** e o código CRC **8A5C9763**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

DEDICO este estudo ao meu marido Lucas Gonçalves Chagas de Laia, aos meus pais Edir Alves da Silva Teixeira (in memoriam) e José Roberto Teixeira e a minha avó, Conceição Teixeira, e aos meus amigos da VIAVOZ que de alguma forma contribuíram para este momento.

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre diferentes configurações de lajes mistas de aço e concreto, com o objetivo de identificar a solução estrutural mais vantajosa, aliando desempenho técnico e economia. A pesquisa teve como foco a análise de alternativas compostas por telhas fôrma do tipo MF75, variando-se a espessura das chapas metálicas, a altura total da laje e a necessidade de armaduras adicionais, sempre respeitando os critérios normativos de resistência ao fogo e desempenho estrutural. Para isso, adotou-se como método a modelagem de três hipóteses distintas, seguidas do levantamento quantitativo de materiais e da composição de custos com base em insumos padronizados dos bancos SINAPI, TCPO e SBC. As análises foram conduzidas considerando uma laje com 120 metros quadrados de área e vão de três metros, submetida a uma carga sobreposta de uso para edificações comerciais. A primeira hipótese, com chapa metálica de menor espessura e maior capeamento de concreto, resultou no custo intermediário por metro quadrado. A segunda hipótese, com chapa mais espessa e menor volume de concreto, apresentou o maior custo por metro quadrado, enquanto a terceira, que incorporou armaduras adicionais para momentos positivos e negativos, obteve o menor custo total por metro quadrado, aliado com ótimo desempenho técnico. Os resultados demonstram que a escolha da configuração da laje mista deve considerar não apenas os aspectos técnicos e normativos, mas também o equilíbrio entre consumo de materiais e custo total, de modo a garantir um desempenho seguro e eficiente.

Palavras-chave: lajes mistas; aço e concreto; telha fôrma; composição de custo.

Abstract

This paper presents a comparative analysis of different configurations of composite steel concrete slabs, aiming to identify the most cost effective structural solution from a technical and economic perspective. The research focused on alternatives using MF75 steel-deck profiles, varying the thickness of the metal sheets, the total slab depth, and the need for additional reinforcement, while always meeting the required fire-resistance and structural-performance standards. To achieve this, three distinct design scenarios were modeled, followed by a detailed material takeoff and cost estimates based on standardized inputs from the SINAPI, TCPO, and SBC cost databases. The analyses considered a 120 square meter slab with a three-meter span, designed to support the live loads of a commercial building. The first scenario, featuring a thinner metal sheet and a thicker concrete topping, resulted in an intermediate cost per square meter. The second, with a thicker sheet and a smaller concrete volume, produced the highest cost per square meter. The third scenario, which incorporated additional reinforcement for both positive and negative bending moments, achieved the lowest total cost per square meter while maintaining excellent technical performance. The results show that selecting the optimal composite slab configuration requires weighing not only technical and code requirements but also the balance between material consumption and overall cost to ensure safe and efficient structural performance.

Keywords: steel deck; steel and concrete; cost analysis, mixed slabs.

Lista de símbolos (opcional)

STEEL DECK – Laje mista

MF – Metform

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos

SBC - Sistema de Banco de Composições

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

CH - Chapa

MPa – Megapascal

f_{ck} – Resistencia característica à compressão do concreto

ELU – Estado Limite Último

TRRF – Tempo requerido de resistência ao fogo

Lista de figuras

Figura 1 - Laje mista.....	17
Figura 2 - Tabela de dimensionamento MF-50	20
Figura 3 - Tabela de dimensionamento MF-75	21
Figura 4 - Arremates.....	22
Figura 5 - Espessuras mínimas de chapas	23
Figura 6 - Dimensões da seção transversal da laje	24
Figura 7 - Dimensões e disposições das lajes.....	26
Figura 8 - Resistência ao momento fletor (negativo) para telha fôrma MF75 da Metform	32
Figura 9 - Seção transversal da telha fôrma MF75.....	33
Figura 10 - Disposição da armadura negativa	36
Figura 11 - disposição de armaduras	37
Figura 12 - Disposição da armadura de fissuração.....	38
Figura 13 - Planilha de composição de custo Hipótese 01	40
Figura 14 - Planilha de composição de custo Hipótese 02	41
Figura 15 - Planilha de composição de custo Hipótese 03	42
Figura 16 – Comparativo de custo por metro quadrado das hipóteses analisadas	44

Lista de Tabelas (opcional)

Tabela 1 – Tempo mínimo de resistência do fogo e lâmina média de concreto.....	23
Tabela 2 - Verificação da capacidade resistente da telha fôrma MF75 para menor espessura de chapa, com altura total de laje de 160 mm	28
Tabela 3 - Verificação da capacidade resistente da telha fôrma MF75 para diferentes espessuras de chapa, com altura total de laje de 140 mm.	29
Tabela 4 - Capacidade resistente telha fôrma MF-75 com espessura de 0,8mm.....	30
Tabela 5 - Custos Variáveis.....	39
Tabela 6 - Custos fixos	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO	15
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	LAJES.....	16
3.2	SISTEMAS MISTOS	16
3.3	LAJES MISTAS	17
3.4	DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS	18
3.4.1	DIMENSIONAMENTO ESTADO LIMITE ÚLTIMO	19
3.4.2	DIMENSIONAMENTO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO	19
3.4.3	TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS	19
3.4.4	ARMADURAS ADICIONAIS	22
3.4.5	ARREMATES	22
3.4.6	DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	23
4	METODOLOGIA	25
4.1	DEFINIÇÃO DAS LAJES	26
4.2	HIPÓTESES DE ANÁLISES.....	26
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
6	CONCLUSÃO	45
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

As lajes são elementos estruturais responsáveis por receber as cargas aplicadas sobre os pisos e transmiti-las às vigas, pilares e fundações. As vigas, por sua vez, direcionam essas cargas para os pilares, que as transferem para as fundações da edificação.

As lajes podem ser de diferentes tipos, como lajes mistas, maciças, nervuradas, cogumelo e pré-moldadas, cada uma com suas particularidades estruturais e construtivas. A busca por soluções mais eficientes e econômicas tem impulsionado o desenvolvimento de novas técnicas e materiais, visando otimizar o desempenho estrutural e reduzir custos.

Entretanto, para a escolha do sistema estrutural adequado, é necessário avaliar alguns critérios, baseados no custo, na qualidade do produto final e na eficiência do método executivo. Nesse contexto, as lajes mistas surgem como uma alternativa em destaque para diversas edificações, pois esse sistema é capaz de reduzir o peso próprio da estrutura e agilizar a execução pela dispensa do uso de escoramento e fôrmas, oferecendo assim, uma relação custo-benefício vantajosa, tornando-se uma boa opção para projetos que buscam eficiência estrutural e economia.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa de diferentes configurações de lajes mistas de aço e concreto, considerando aspectos estruturais e econômicos, a fim de identificar a alternativa mais vantajosa do ponto de vista do orçamento final. A metodologia empregada envolverá a definição de parâmetros de análise, estudos de caso e cálculos de viabilidade econômica, possibilitando uma avaliação embasada para a tomada de decisão no projeto estrutural.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é realizar uma análise comparativa entre diferentes configurações de lajes mistas de aço e concreto, a partir da variação de parâmetros como espessura da telha fôrma, altura da laje e necessidade de armaduras adicionais. A análise visa identificar a

alternativa mais vantajosa em termos de orçamento final, considerando aspectos estruturais e econômicos, de modo a permitir a escolha da solução mais eficiente, equilibrando desempenho estrutural, custo de materiais e viabilidade construtiva.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 LAJES

Segundo Botelho e Marchetti (2015) as lajes são elementos estruturais planos cuja principal função é transmitir as cargas verticais aplicadas sobre elas para as vigas ou diretamente para os pilares, dependendo do sistema construtivo adotado. Elas desempenham um papel fundamental na estabilidade e na funcionalidade das edificações, garantindo a rigidez necessária para a estrutura e proporcionando conforto e segurança aos usuários.

Existem diversos tipos de lajes que podem ser executadas, como as lajes maciças, nervuradas, cogumelo e pré-moldadas, entre outras. A escolha do tipo de laje mais adequado depende de fatores como viabilidade econômica, segurança estrutural e exigências do projeto.

3.2 SISTEMAS MISTOS

Queiroz, Pimenta e Martins (2012) definem o sistema misto da seguinte maneira:

Denomina-se sistema misto de aço e concreto aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto (geralmente armado), formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista. A interação entre o concreto e o perfil de aço pode se dar por meios mecânicos (conectores, mossas, ressaltos e etc.), por atrito (no caso de fôrmas de aço com cantos reentrantes) ou, em alguns casos, por simples aderência e repartição de cargas.

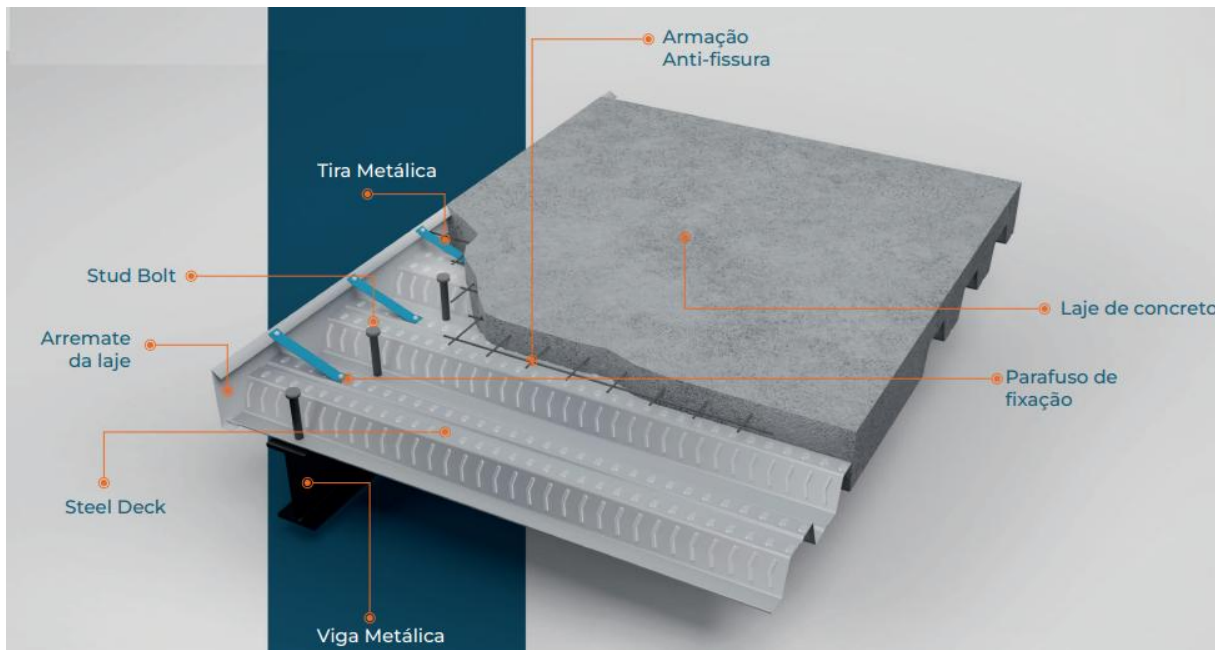
3.3 LAJES MISTAS

As lajes mistas de aço e concreto (Figura 1), são elementos estruturais compostos por uma fôrma de aço nervurada, uma camada de concreto e tela de aço para evitar fissuração que podem ocorrer devido a retração e a variação de temperatura (Fakury, Castro e Silva e Caldas, 2016).

Em alguns casos, dependendo dos momentos solicitantes na laje, é necessário prever armaduras adicionais. Além de armaduras positivas, armaduras negativas podem ser adicionadas para absorver os momentos negativos, especialmente em lajes com continuidade (Cichinelli, 2014).

Presentes no mercado brasileiro desde 1970, essas lajes vêm ganhando destaque ao longo dos últimos anos devido a suas vantagens, como a facilidade de instalação, eliminação do escoramento e desforma, agilidade no processo construtivo e redução do peso próprio da estrutura (Cichinelli, 2014).

Figura 1 - Laje mista



Fonte: Isoeste metálica, 2023.

As fôrmas, também conhecidas como Steel deck, telhas fôrma ou fôrmas colaborantes, são produzidas a partir de chapas finas de aço estrutural conformadas a frio. Apresentam espessuras usuais de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm, e comprimento padrão de até 12 metros. Sua superfície lateral é composta por nervuras (ou "mossas"), que proporcionam aderência entre o concreto e a fôrma. Em estruturas com vigas mistas, são utilizados conectores de cisalhamento para garantir a solidarização entre a viga e a laje, garantindo um desempenho estrutural mais eficiente (Fakury, Castro e Silva e Caldas, 2016).

As fôrmas desempenham uma dupla função ao longo de sua vida útil. Antes da cura do concreto, ou até que este atinja 75% de sua resistência à compressão, elas atuam como fôrma para a estrutura bem como plataforma de serviço durante a etapa de execução. Além disso, devem suportar todas as solicitações até o final da obra. Após a cura, na fase final, as fôrmas atuam como armaduras positivas, contribuindo para a resistência da estrutura e garantindo que ela funcione como um único elemento estrutural (Isoeste Metálica, 2023).

Segundo Fakury, Castro e Silva e Caldas (2016), no Brasil existem alguns fabricantes de telhas trapezoidais, dentre os quais se destacam a Isoeste Metálica (antiga Metform) e a ArcelorMittal Perflor, que produzem telhas com alturas variando entre 50 mm e 75 mm, resultando em lajes com altura total entre 100 mm e 200 mm. A espessura mínima da camada de concreto deve ser de 50 mm acima das fôrmas, e a resistência característica à compressão f_{ck} do concreto deve ser superior a 20 MPa.

3.4 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS

O dimensionamento das lajes mistas pode ser realizado com base em tabelas técnicas disponibilizadas pelos próprios fabricantes das telhas perfiladas. Essas tabelas orientam a escolha da espessura da chapa metálica e a altura da laje, de acordo com os vãos a serem vencidos e as cargas atuantes, tanto durante a fase de construção quanto a fase final. Elas trazem informações sobre a capacidade resistente da telha na fase construtiva, antes da cura do concreto e após a cura do concreto da laje mista. Além disso, possibilitam identificar a necessidade de escoramento provisório e a exigência de armaduras de controle de fissuração, conforme as particularidades de cada configuração geométrica (Cichinelli, 2014).

3.4.1 DIMENSIONAMENTO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

No dimensionamento no estado limite último (ELU), é necessário considerar duas fases distintas, a fase inicial de construção e fase final de utilização.

Na fase inicial, ou seja, na fase de construção a telha fôrma deve ser capaz de suportar as ações devido a construção, sendo elas o peso próprio da estrutura, a sobrecarga de construção adotada com o valor de 1 kN/m^2 , e os efeitos de empoçamento. A verificação dessa etapa deve seguir as diretrizes da ABNT NBR 14762:2011.

Na fase final, após a cura do concreto, a telha passa a compor o sistema de laje mista, nesta etapa as telhas fôrma devem resistir ao peso próprio, além de todas as ações permanentes e variáveis de utilização (Fakury, Castro e Silva e Caldas, 2016).

3.4.2 DIMENSIONAMENTO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

Na fase de execução, especialmente quando a fôrma metálica é utilizada sem escoramento, ela deve suportar as ações do peso próprio e do concreto ainda fresco. Nessa condição, é fundamental limitar a flecha vertical da telha, que não deve ultrapassar o menor valor entre $L/180$ (sendo L o vão da laje) e 20 mm.

Após a cura do concreto, com a laje assumindo seu comportamento estrutural definitivo, é necessário prever armaduras mínimas para o controle de fissuração causada por retrações e variações térmicas. Essas armaduras são normalmente dispostas na forma de telas soldadas, localizadas na parte superior da laje, com área equivalente a 0,1% da seção de concreto acima da telha (Fakury, Castro e Silva e Caldas, 2016).

3.4.3 TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS

Nas figuras 2 e 3 são apresentadas as tabelas de dimensionamento da fabricante Isoeste Metálica, antiga Metform.

Figura 2 - Tabela de dimensionamento MF-50

Altura total da laje (mm)	Espessura Steel Deck (mm)	Vão Máximo sem escoramento			Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mistá (10 ⁶ m ⁴ /m)	Vão da Laje Mistá Carga sobreposta máxima (kN/m ²)																
		Simplex (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)			Balanços (mm)	1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,83	2,32	2,03	1,78	1,54
	0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
	1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38
110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,94	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
	0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
	1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
	0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
	1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,54	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19
	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06
	1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79
140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41
	0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,05	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36
	1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26
150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63
	0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66
	1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66

Fonte: Isoeste metálica, 2023.

Figura 3 - Tabela de dimensionamento MF-75

Altura total da laje (mm)	Espessura Steel Deck (mm)	Vão Máximo sem escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Vão da Laje Mista															
		Simplex (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanços (mm)			2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000
130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
	0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
	0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
150	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	16,46	12,86	11,68	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
	0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,67	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
160	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73
	0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68
170	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88
	0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91
180	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96
	0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14
190	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,67	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18
	0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,64	16,96	15,32	13,66	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36
200	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39
	0,80	1.350	2.550	2.600	1.000	4,15	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	0,95	1.900	2.900	3.000	1.100	4,17	45,11	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

Fonte: Isoeste metálica, 2023.

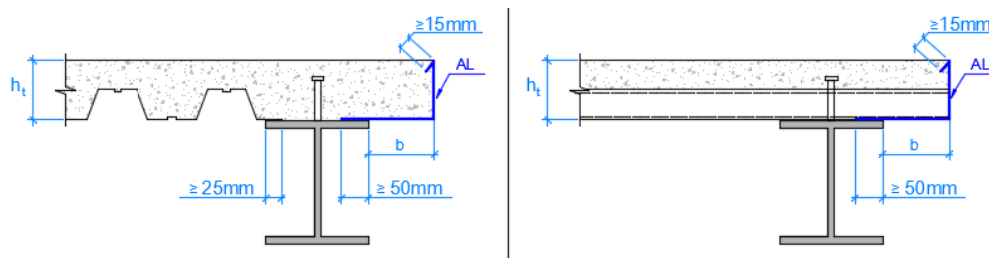
3.4.4 ARMADURAS ADICIONAIS

Caso as cargas atuantes na laje mista excedam os limites de sobrecarga admissíveis, será necessária a utilização de armaduras adicionais, tanto positivas quanto negativas. As armaduras positivas devem ser posicionadas dentro das canaletas da fôrma metálica. As armaduras negativas, por sua vez, devem ser dimensionadas para garantir a continuidade entre vãos, e na verificação da fissuração, sendo adotado o maior valor entre elas. Nesse caso, considera-se apenas a contribuição da seção de concreto, conforme as diretrizes da NBR 6118:2023 (ArcelorMittal Perfilor, 2017)

3.4.5 ARREMATES

Para garantir o formato e o acabamento adequado da laje durante a instalação da telha fôrma é necessário o uso de peças complementares conhecidas como arremates, que são instalados nas extremidades das lajes.

Figura 4 - Arremates



Fonte: Manual técnico Metform, 2020.

A imagem a seguir apresenta a tabela com as espessuras mínimas recomendadas para as chapas dos arremates, conforme especificações do Manual Técnico da Metform.

Figura 5 - Espessuras mínimas de chapas

Altura da Laje (mm)	Espessura Mínima da Chapa (mm)												
	Balanço do Arremate de Laje (b) (mm)												
	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
100	0,95	0,95	0,95	0,95	1,25	1,25	1,55	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35
110	0,95	0,95	0,95	1,25	1,25	1,55	1,55	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35
120	0,95	0,95	1,25	1,25	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35
130	0,95	1,25	1,25	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	-
140	0,95	1,25	1,25	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	-
150	1,25	1,25	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35	-
160	1,25	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	-	-
170	1,25	1,55	1,95	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35	-	-
180	1,55	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35	-	-	-
190	1,55	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35	-	-	-
200	1,95	1,95	2,70	2,70	2,70	2,70	3,35	3,35	3,35	-	-	-	-

Tabela 4.16 – Espessuras mínimas dos arremates de laje, conforme recomendações do Steel Deck Institute (SDI)

Fonte: Manual técnico Metform, 2020.

3.4.6 DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A verificação da resistência das lajes com telha fôrma em situação de incêndio deve seguir o item C.3 – Anexo C – da NBR 14323:2013, e pode ser atendida de forma mais econômica quando se considera apenas a capacidade térmica do concreto e das armaduras, eliminando a necessidade de aplicar materiais adicionais de proteção térmica na telha fôrma.

Para que esse tipo de solução seja viável, especialmente quando for necessário atender a um tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) específico, para isso é fundamental que a laje com telha fôrma cumpra os requisitos de isolamento térmico, sendo que a espessura efetiva da lâmina de concreto (h_{ef}) deve ser de acordo com a tabela abaixo (Manual técnico Metform, 2020)

Tabela 1 – Tempo mínimo de resistência do fogo e lâmina média de concreto

TRRF (mm)	h_{ef} (mm)
30	60
60	80
90	100
120	120

Fonte: Manual técnico Metform, 2020.

A altura efetiva mínima também pode ser determinada por meio das equações apresentadas a seguir, conforme a ABNT NBR 14323:2013.

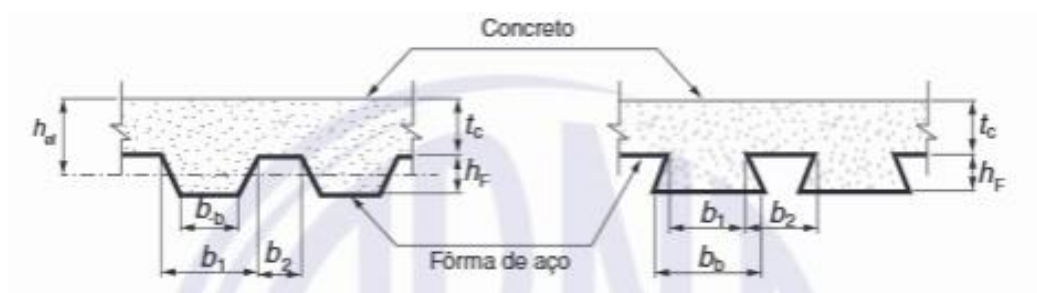
$$h_{ef} = t_c + \frac{h_f}{2} \left(\frac{b_1 + b_b}{b_1 + b_3} \right), \text{ para } \frac{h_f}{t_c} \leq 1,5 \text{ e } t_c > 40\text{mm} \quad (\text{equação 1})$$

Ou

$$h_{ef} = t_c + \left(1 + 0,75 \frac{b_1 + b_b}{b_1 + b_3} \right), \text{ para } \frac{h_f}{t_c} > 1,5 \text{ e } t_c > 40\text{mm} \quad (\text{equação 2})$$

Se $b_2 > 2b_1$, a espessura efetiva pode ser tomada como igual a t_c .

Figura 6 - Dimensões da seção transversal da laje



Fonte: Figura C.1 da ABNT NBR 14323:2013.

Segundo o Manual técnico da Metform (2020):

Para a verificação de lajes em situação de incêndio (sem aplicação de materiais para proteção passiva), além do critério de isolamento térmico acima descrito, também deverão ser atendidos os critérios de resistência da seção aos carregamentos. Deverá ser verificada a resistência das lajes com telha fôrma ao momento positivo e/ou negativo de acordo com o modelo estático (simplesmente apoiado ou contínuo) adotado no TRAMO analisado (de maneira similar a verificação realizada em temperatura ambiente para lajes com armadura de reforço item 4.3 - página 31). Toda seção analisada (momentos positivos e/ou negativos) deverá ter resistência garantida exclusivamente pelas armaduras adicionais e pelo concreto (com resistências minoradas devido ao efeito de temperatura elevada).

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho teve início com a definição das configurações das lajes mistas a serem avaliadas, considerando um cenário de carregamento de utilização de edificações comerciais. Foram estabelecidas três variações principais: espessura da telha fôrma metálica, altura total da laje e inclusão ou não de armaduras adicionais. Essas combinações foram definidas com base nas exigências normativas de segurança estrutural e resistência ao fogo, de modo a refletir diferentes soluções viáveis para o sistema construtivo analisado.

Com base nas configurações adotadas, procedeu-se ao dimensionamento das lajes utilizando as tabelas e critérios de cálculo fornecidos pelo Manual Técnico da fabricante Metform (atualmente Isoeste Metálica), especialmente no que se refere à resistência da telha fôrma MF75. A escolha da fabricante se justifica por sua ampla utilização no mercado nacional e por ser uma das empresas pioneiras na produção de perfis metálicos voltados a sistemas de lajes mistas de aço e concreto no Brasil. Além disso, seus catálogos técnicos apresentam parâmetros consistentes e reconhecidos, bastante empregados em projetos e estudos acadêmicos.

Para cada hipótese configurada, foram elaboradas planilhas quantitativas detalhadas, contendo os insumos necessários, consumo de concreto, quantidade de aço, consumo de telha fôrma e demais componentes envolvidos na execução. Os custos de materiais e mão de obra foram obtidos a partir de bases de dados oficiais da construção civil, como SINAPI, TCPO e SBC, garantindo a padronização e a atualidade dos valores utilizados.

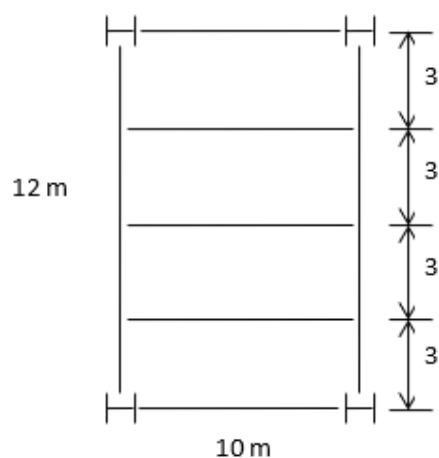
Por fim, foram realizadas análises comparativas entre as alternativas modeladas, considerando o custo total por metro quadrado, o impacto no desempenho estrutural e a viabilidade econômica da execução. Os resultados foram organizados em planilhas e gráficos para facilitar a interpretação, com o objetivo de identificar a alternativa mais vantajosa em termos de orçamento e desempenho estrutural, de acordo com as condições estipuladas.

4.1 DEFINIÇÃO DAS LAJES

Serão dimensionadas as lajes mistas de aço e concreto da estrutura de um edifício comercial, considerando apenas as ações gravitacionais. A telha fôrma a ser utilizada será a MF75 da Metform, e o concreto $fck = 30 \text{ Mpa}$, peso específico $\gamma_{con} = 25 \text{ kN/m}^3$.

A laje em estudo apresenta as dimensões indicadas na Figura 7.

Figura 7 - Dimensões e disposições das lajes



Fonte: Autor, 2025.

Os carregamentos aplicados na laje são:

- Sobrecarga de $3,00 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio da estrutura das vigas de aço igual a $0,30 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio das divisórias igual a $1,20 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio do revestimento do piso igual a $1,00 \text{ kN/m}^2$;

Totalizando uma carga sobreposta de $W_{Sn} = 5,20 \text{ kN/m}^2$

4.2 HIPÓTESES DE ANÁLISES

Para a análise das lajes mistas, iremos fazer três comparações:

1. Laje com a menor espessura de fôrma de aço que atenda à altura efetiva mínima exigida para um TRRF de 90 minutos, conforme o Anexo C da NBR 14323, sem armaduras adicionais;
2. Laje com o menor peso próprio atendendo um TRRF de 90 minutos, conforme o Anexo C da NBR 14323, sem armaduras adicionais;
3. Laje com a menor espessura de fôrma de aço que satisfaça exatamente a espessura efetiva mínima para um TRRF de 90 minutos, conforme a norma citada, incluindo a verificação e dimensionamento de armaduras adicionais, caso necessárias para suportar as ações previstas.

Cálculo da altura efetiva para atender ao TRRF de 90 min:

$$h_{ef} = t_c + \frac{h_f}{2} \left(\frac{b_1 + b_b}{b_1 + b_2} \right)$$

$$100 = t_c + \frac{75}{2} \left(\frac{155 + 119}{155 + 119} \right)$$

$$t_c = 62,5mm \geq 40mm$$

Altura da laje:

$$h_{laje} = h_1 + h_2 = 62,5 + 75$$

$$h_{laje} = 137,50mm$$

$$h_{laje} = 140mm$$

1ª hipótese de análise:

Para as análises será considerada apenas o perfil MF75, conforme a Figura 3 e a Tabela 4.1.8 do Manual Técnico da Metform para o perfil MF75, para atender ao requisito de TRRF igual a 90 minutos com a menor espessura de fôrma metálica possível, adota-se a chapa com espessura de 0,80 mm, que corresponde à menor espessura disponível recomendada para essa condição.

Nesta configuração, a altura total da laje será de 160 mm, o vão é de 3.000 mm e a execução é prevista sem escoramento.

A carga sobreposta nominal é de 5,20 kN/m².

Tabela 2 - Verificação da capacidade resistente da telha fôrma MF75 para menor espessura de chapa, com altura total de laje de 160 mm

DECK	ALTURA (mm)	ESP. CHAPA (mm)	PESO PRÓPRIO (kN/m ²)	Vão (mm)	W_{Rn} (kN/m ²)
MF75	160	0,8	2,97	3000	5,37

Fonte: Autor, 2025.

Para a laje mista em análise, considerando um vão de 3000mm e altura de 160mm, a sobrecarga máxima admissível é de $W_{Rn} = 5,37$ kN/m².

Como a carga sobreposta nominal é $W_{Sn} = 5,20$ kN/m², conclui-se que a resistência da laje mista é suficiente para suportar os carregamentos previstos, sem necessidade de reforço adicional.

Para controle das fissuras decorrentes da retração e variações térmicas do concreto, será adotada armadura de fissuração do tipo Q92, composta por barras de Ø4,2 mm dispostas a cada 150 mm em ambas as direções, com consumo aproximado de 1,48 kg/m².

O consumo estimado de concreto, conforme tabela de referência do fabricante, é de 0,1225 m³/m².

2ª hipótese de análise

Laje com o menor peso próprio.

Para a obtenção de uma laje com o menor peso próprio possível, deve-se priorizar a redução da espessura da capa de concreto, uma vez que o concreto apresenta densidade elevada e influencia significativamente no peso próprio da estrutura. Assim, ao adotar a menor altura do capeamento, respeitando as exigências normativas, especialmente no que diz respeito à resistência ao fogo (TRRF), é possível otimizar o dimensionamento da laje em termos de leveza e eficiência estrutural.

Vão - L= 3000 mm

TRRF= 90 min

$h_{ef} = 140$ mm

Tabela 3 - Verificação da capacidade resistente da telha fôrma MF75 para diferentes espessuras de chapa, com altura total de laje de 140 mm.

DECK	ALTURA (mm)	ESP. CHAPA (mm)	PESO PRÓPRIO (kN/m ²)	W_{Rn} (kN/m ²)	SITUAÇÃO
MF75	140	0,8	2,50	4,48	NÃO ATENDE
MF75	140	0,95	2,52	5,76	ATENDE
MF75	140	1,25	2,55	8,31	SUPERDIMENSIONADA

Fonte: Autor, 2025.

Com base na comparação entre diferentes espessuras da telha fôrma MF75, que terá seu uso exclusivo neste estudo, para altura total de 140 mm, verificou-se que a chapa de 0,95 mm representa a solução mais eficiente em termos de peso próprio e resistência estrutural.

Apesar de a chapa de 0,80 mm apresentar o menor peso próprio (2,50 kN/m²), sua capacidade resistente ($W_{Rn} = 4,48$ kN/m²) é inferior à carga sobreposta de $W_{Sn} = 5,20$ kN/m², tornando-a inviável. Por outro lado, a chapa de 0,95 mm apresenta carga máxima resistente de $W_{Rn} = 5,76$ kN/m², superior a solicitante, com peso próprio de 2,52 kN/m², sendo assim a opção mais equilibrada entre leveza e segurança.

A chapa de 1,25 mm, embora com desempenho superior ($W_{Rn} = 8,41$ kN/m²), apresenta um aumento de peso próprio não justificável para esta aplicação, além de impactar negativamente no custo da solução.

Para a laje da telha fôrma MF75, chapa de 0,95 mm e altura total de 140 mm, para controle das fissuras decorrentes da retração e variações térmicas do concreto, será adotada armadura de fissuração do tipo Q75, composta por barras de Ø3,8 mm dispostas a cada 150 mm em ambas as direções, com consumo aproximado de 1,21 kg/m².

O consumo estimado de concreto, conforme tabela de referência do fabricante, é de 0,1025 m³/m².

3ª hipótese de análise:

Laje com a menor espessura de fôrma de aço que satisfaça exatamente a espessura efetiva mínima para um TRRF de 90 minutos, com armaduras adicionais.

Para atender à exigência de resistência ao fogo (TRRF) de 90 minutos, adotou-se a menor espessura de fôrma metálica disponível recomendada para a telha fôrma MF75, com chapa de espessura 0,80 mm e altura total de laje de 140 mm. Conforme a Tabela 4.1.8 do Manual Técnico da Metform, essa configuração apresenta peso próprio de 2,50 kN/m² e capacidade máxima de carga sobreposta de $W_{Rn} = 4,48$ kN/m².

Tabela 4 - Capacidade resistente telha fôrma MF-75 com espessura de 0,8mm

DECK	ALTURA (mm)	ESP. CHAPA (mm)	PESO PRÓPRIO (kN/m²)	W_{Rn} (kN/m²)
MF75	140	0,8	2,50	4,48

Fonte: Autor, 2025.

Carga sobreposta solicitante: $W_{Sn} = 5,20$ kN/m²

Carga resistente: $W_{Rn} = 4,48$ kN/m²

Carga excedente = $5,20 - 4,48 = 0,72$ kN/m²

Para o cálculo das armaduras de reforço, são consideradas duas regiões separadamente: tramos internos e os tramos externos. Para a determinação da resistência última das seções, adota-se como comprimento de cálculo 90% do vão livre para os tramos externos e 80% do vão livre para os tramos internos, considerando a distribuição dos momentos fletores ao longo da laje.

Tramo externo

Verificação da necessidade de armadura positiva:

Considerando-se L como 90% do vão livre.

$$L_{ext} = 90\% \times 3 \text{ m} = 0,9 * 3 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$$

Carga sobreposta solicitante: $W_{Sn} = 5,20$ kN/m²

Utilizando a tabela de dimensionamento da telha fôrma MF75, a carga resistente para o vão de $L=2,70$ m, será de:

$$W_{Rn} = 6,11 \text{ kN/m}^2$$

Logo, $W_{Rn} > W_{Sn}$ *ok!*

Sendo assim, não haverá necessidade de armaduras adicionais positivas no tramo externo.

Tramo interno

Verificação da necessidade de armadura positiva:

Considerando-se L como 80% do vão livre.

$$L_{int} = 80\% \times 3 = 0,8 \times 3 = 2,40 \text{ m}$$

Carga sobreposta solicitante: $W_{Sn} = 5,20 \text{ kN/m}^2$

Utilizando a tabela de dimensionamento da telha fôrma MF75, a carga resistente para o vão de $L=2,40$ m, será de:

$$W_{Rn} = 8,39 \text{ kN/m}^2$$

Logo, $W_{Rn} > W_{Sn}$ *ok!*

Sendo assim, não haverá necessidade de armaduras adicionais positivas no tramo interno.

Armadura negativa adicional

Nas regiões de apoio, onde ocorrem momentos fletores negativos, considerou-se a carga total atuante, incluindo a sobrecarga e o peso próprio da laje:

q = somatório da carga atuante W_{Sn} + peso próprio da laje (telha fôrma + concreto)

$$q = 5,20 + 2,50 = 7,70 \text{ kN/m}^2$$

De forma simplificada, para o cálculo do momento negativo será adotado conforme a redistribuição de momentos, permitida pela NBR 6118.

$$M_{sn} = 0,0625 \times q \times l^2$$

Logo, o momento negativo será de:

$$M_{sn} = 0,0625 \times 7,70 \times 3^2$$

$$M_{sn} = 4,333 \text{ kN.m/m}$$

Figura 8 - Resistência ao momento fletor (negativo) para telha fôrma MF75 da Metform

Altura da Laje (mm)		Armaduras em Tela Soldada							
		X 75	X 92	X 113	X 138	X 159	X 196	X 246	X 283
130	Mn- (kN.m/m)	-	3,64	4,43	5,35	6,11	7,42	9,12	10,32
140	Mn- (kN.m/m)	-	-	4,85	5,87	6,71	8,15	10,03	11,37
150	Mn- (kN.m/m)	-	-	5,27	6,38	7,30	8,88	10,95	12,43
160	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	6,90	7,89	9,61	11,87	13,48
170	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	8,48	10,34	12,78	14,54
180	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	9,08	11,07	13,70	15,59
190	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	11,80	14,62	16,65
200	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	12,53	15,53	17,70

Fonte: Tabela 4.14 do manual técnico da Metform

Segundo a tabela 4.14 do manual técnico Metform, resistência ao momento fletor negativo, poderá ser utilizada a tela soldada X113, correspondente a 1,13 cm²/m no sentido longitudinal às nervuras, com consumo aproximado de 1,80 kg/m².

Verificação da armadura mínima

Para controle de fissuração e como reforço longitudinal, adota-se uma área mínima de armadura no sentido perpendicular às nervuras, calculada de acordo com as normas tecnica ABNT NBR 14323:2013 e 6118:2023 como:

$$A_{s,min} = 0,10\% \times A_c$$

$$A_{s,min} = 0,10\%(6,5 \times 100) = 0,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Dessa forma, para fins de controle de fissuração devido à retração e às variações térmicas do concreto, é possível utilizar a tela soldada Q75, que possui 0,75 cm²/m, composta por barras de Ø3,8 mm espaçadas a cada 150 mm em ambas as direções, com consumo estimado de 1,21 kg/m².

Neste caso, existem duas alternativas viáveis para garantir o controle de fissuração e atender aos esforços de momento negativo nas regiões de apoio. A primeira consiste na aplicação da tela soldada Q-113 ($1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$) sobre os apoios, associada à tela Q-75 ($0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$) no restante da laje, atendendo simultaneamente à resistência estrutural e à exigência de armadura mínima para controle de fissuração. A segunda solução propõe o uso da tela Q-75 em toda a extensão da laje, com a adição de uma segunda camada dessa mesma tela sobre os apoios, totalizando $1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$ nas regiões críticas resultando em um valor superior ao requerido. Ambas as alternativas apresentam bom desempenho, podendo ser adotada aquela que melhor se adequar às diretrizes de projeto, critérios econômicos ou preferências do contratante.

Para o estudo, como alternativa mais eficiente e econômica, optou-se pela adoção da tela soldada Q-113 nas regiões de apoio, conforme especificado na Tabela 4.14 do Manual Técnico da Metform, que recomenda uma área de aço de $1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$ no sentido longitudinal às nervuras para resistir aos momentos negativos. Para as demais regiões da laje, será utilizada a tela Q-75, com área de aço de $0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$, suficiente para controle de fissuração decorrente da retração e das variações térmicas do concreto.

Essa combinação permite atender às exigências de desempenho estrutural, com menor consumo de material, otimizando o custo total da solução sem comprometer a segurança.

O consumo estimado de concreto, conforme tabela de referência do fabricante, é de $0,1025 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Quantitativo para análise final das soluções propostas

As telhas-fôrma MF75 são fornecidas com largura útil de 820 mm e comprimentos variáveis, podendo chegar até 12.000 mm.

Figura 9 - Seção transversal da telha fôrma MF75



Fonte: Isoeste metálica, 2023.

Para o presente estudo, foram adotados painéis de telha fôrma com dimensões de 820 mm × 12.000 mm, totalizando 12 painéis por faixa de 10 metros de largura da laje (10.000 mm / 820 mm = 12,20 painéis).

Logo, será calculada o comprimento necessário de complemento de deck.

$$\text{Comprimento total de telha fôrma} = 12 \times 820 = 9840 \text{ mm}$$

$$\text{Comprimento restante} = 10.000 - 9840 = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Comprimento de complemento} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

Será necessário a adoção um complemento de 80 mm em cada extremidade, o qual pode ser executado por meio de complemento de deck ou por meio de arremate. Para este estudo, considerando o comprimento requerido, optou-se pela utilização do arremate, que apresenta as seguintes dimensões:



Sendo, $a = 0,14 \text{ m}$, $b = 0,02 \text{ m}$, e $h = 0,14 \text{ m}$ - totalizando um comprimento de 0,3 metros.

Espessura da chapa = 0,95 mm

Perímetro da laje =

$$p_{\text{laje}} = 12 + 12 + 10 + 10 = 44 \text{ mm}$$

Área de arremate =

$$A_{\text{arremate}} = 0,30 \times 44 = 13,20 \text{ m}^2$$

A seguir, serão apresentados os quantitativos de materiais para cada uma das hipóteses analisadas.

1ª hipótese – Telha MF75 com espessura de 0,80mm e altura total da laje de 160mm

Quantidade de painéis de telha fôrma MF75: **12 unidades**

Arremate: **13,20 m²**

Armadura de fissuração (tela Q92 – 1,48 kg/m²):

$$A_{s,fiss} = 120 \text{ m}^2 \times 1,48 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{177,60 \text{ kg}}$$

Consumo de concreto (0,1225 m³/m²):

$$C_{concreto} = 120 \text{ m}^2 \times 0,1225 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = \mathbf{14,70 \text{ m}^3}$$

2ª hipótese - Telha MF75 com espessura de 0,95 mm e altura total da laje de 140 mm

Quantidade de painéis de telha fôrma MF75: **12 unidades**

Arremate: **13,20 m²**

Armadura de fissuração (tela Q75 – 1,21 kg/m²):

$$A_{s,fiss} = 120 \text{ m}^2 \times 1,21 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{145,20 \text{ kg}}$$

Consumo de concreto (0,1025 m³/m²):

$$C_{concreto} = 120 \text{ m}^2 \times 0,1025 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = \mathbf{12,30 \text{ m}^3}$$

3ª hipótese - Telha MF75 com espessura de 0,80 mm, altura da laje de 140 mm e armaduras adicionais

Quantidade de painéis de telha fôrma MF75: **12 unidades**

Arremate: **13,20 m²**

Armadura adicional positiva: Dispensada

Armadura adicional negativa sobre os apoios (tela soldada Q113 – 1,80 kg/m²):

Figura 10 - Disposição da armadura negativa



Fonte: Manual Técnico ArcelorMittal, 2017.

A armadura negativa será disposta no sentido paralelo a nervura:

$$C = 0,3 \times 3 = 0,90 \text{ m}$$

Assim, teremos então uma área de distribuição de tela de:

$$A = 0,90 \times 10 = 9,00 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 9,00 \times 8 = 72,00 \text{ m}^2$$

Armadura de fissuração (tela Q75 - 1,21 kg/m²)

As disposições das armaduras estão representadas na Figura 11.

Figura 12 - Disposição da armadura de fissuração



Fonte: Manual Técnico ArcelorMittal, 2017.

Sendo assim:

$$A = 1,20 \times 10 = 12,00 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 12,00 \times 4 = 48,00 \text{ m}^2$$

Logo, teremos um consumo de $48 \text{ m}^2 * 1,21 \text{ kg/m}^2 = 58,08 \text{ kg}$, correspondendo a de tela Q75.

Será considerado 15% a mais de área para contabilizar o traspasse entre as telas Q113 e a tela Q75:

$$A_{s,fiss(Q75)} = 58,08 \times 1,15 = 66,79 \text{ Kg}$$

Consumo de concreto ($0,1025 \text{ m}^3/\text{m}^2$):

$$C_{concreto} = 120 \text{ m}^2 \times 0,1025 = 12,30 \text{ m}^3$$

Com o objetivo de facilitar o levantamento quantitativo final e padronizar a análise dos insumos, os cálculos referentes à terceira hipótese foram ajustados para uma base unitária de 1 m^2 de laje.

- Quantidade de deck: $1/0,82 = 1,22 \approx 1,5$ unidade de deck.
- Arremate: 1 m^2
- Armadura negativa: $0,3 \times 1 \text{ m} = 0,30 \text{ m} \therefore 0,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^2$
- Armadura de fissuração: $1 \text{ m} - 0,6 \text{ m} = 0,40 \text{ m} \therefore 0,4 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^2$
- Considerando 15% do traspasse na armadura de fissuração = $0,4 \text{ m}^2 \times 1,15 = 0,46 \text{ m}^2$
- Consumo de concreto: $0,1025 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Na composição orçamentária das lajes mistas, os custos podem ser agrupados em custos fixos e custos variáveis, conforme sua relação com a quantidade executada. Os custos fixos correspondem às despesas que se mantêm constantes ao longo da obra, independentemente da área construída. Já os custos variáveis referem-se aos insumos cujo consumo é diretamente proporcional à metragem executada. Essa diferenciação permite compreender a estrutura de custos da solução adotada e fundamenta a análise comparativa entre as alternativas estudadas. A seguir, são apresentadas as tabelas contendo a discriminação dos custos fixos e dos custos variáveis considerados na análise.

Tabela 5 - Custos Variáveis

CUSTOS VARIÁVEIS
CHAPA DE AÇO COM NERVURAS TRAPEZOIDAIS
CONCRETO
TELA ELETROSOLDADA
CHAPA DE AÇO GALVANIZADA

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 6 - Custos fixos

CUSTOS FIXOS
ARAME GALVANIZADO
ESPACADOR CIRCULAR P/ FERRAGENS TIPO ROSETA, COBERTURA 30mm
VIBRADOR DE IMERSAO ELETRICO
ESPACADOR BELGO TIPO TRELICA
ARMADOR / FERREIRO
CONCRETISTA
AJUDANTE DE CONCRETISTA
CARPINTEIRO DE FORMAS
AJUDANTE ESPECIALIZADO
MONTADOR DE ESTRUTURA METALICA
AJUDANTE DE ARMADOR

Fonte: Autor, 2025.

Abaixo nas Figura 13, Figura 14, Figura 15 serão detalhadas as composições de custos finais para laje de cada hipótese.

Figura 13 - Planilha de composição de custo Hipótese 01

1	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	TIPO	UND	QUANT.	VALOR UNI.	TOTAL
COMPOSIÇÃO	-	-	LAJE STEEL DECK 75, CH 0,8MM, H=16CM, CONCRETO BOMBEADO 30MPA	ESTRUTURA	m ²	120,00		67.759,20
Insumo	07.006.000001.MAT	TCPO	CHAPA DE AÇO COM NERVURAS TRAPEZOIDAIS PARA LAJE # 0,80 mm	Material	m ²	1,1000	241,85	266,04
Insumo	1525	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, LAJE 16CM, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100+/- 20MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZAÇÃO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO (NBR 8953)	Material	m ³	0,1225	654,44	80,17
Insumo	36840	SBC	TELA ELETROSOLDADA NERVURADA Q-92 15x15cm 4,2mm (1,48kg/m ²)	Material	m ²	1,4800	12,85	19,02
Insumo	6256	SBC	CHAPA DE AÇO GALVANIZADA BITOLA GSG 0,95mm	Material	kg	7,6000	10,87	82,61
Insumo	000400	SBC	ARAME GALVANIZADO #16 (0,032kg/m)	Material	KG	0,2172	22,48	4,88
Insumo	004143	SBC	ESPACADOR CIRCULAR P/ FERRAGENS TIPO ROSETA, COBERTURA 30mm	Material	UN	2,4000	0,31	0,74
Insumo	037431	SBC	VIBRADOR DE IMERSAO ELETRICO 2CV	Material	H	0,2235	2,36	0,53
Insumo	062035	SBC	ESPACADOR BELGO TIPO TRELICA - 6 cm x 6,00 m ARCELOR MITAL	Material	UN	0,6270	51,40	32,23
Insumo	099300	SBC	ARMADOR ou FERREIRO	Mão de Obra	H	0,6110	18,07	11,04
Insumo	099322	SBC	CONCRETISTA	Mão de Obra	H	0,4370	24,13	10,54
Insumo	099323	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO - CONCRETISTA	Mão de Obra	H	0,7160	17,16	12,29
Insumo	099350	SBC	CARPINTEIRO DE FORMAS	Mão de Obra	H	0,3450	18,07	6,23
Insumo	099450	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO	Mão de Obra	H	0,8690	17,16	14,91
Insumo	099543	SBC	MONTADOR DE ESTRUTURA METALICA	Mão de Obra	H	0,7460	18,07	13,48
Insumo	099807	SBC	AJUDANTE DE ARMADOR	Mão de Obra	H	0,5800	17,16	9,95
TOTAL					m²	1,000		564,66

Fonte: Autor, 2025.

Figura 14 - Planilha de composição de custo Hipótese 02

2	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	TIPO	UND	QUANT.	VALOR UNI.	TOTAL
COMPOSIÇÃO	-	-	LAJE STEEL DECK 75, CH 0,95MM, H=14CM, CONCRETO BOMBEADO 30MPA	ESTRUTURA	m²	120,00		71.067,60
Insumo	07.006.000002.MAT	TCPO	CHAPA DE AÇO COM NERVURAS TRAPEZOIDAIS PARA LAJE # 0,95 mm	Material	m²	1,1000	284,84	313,32
Insumo	1525	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, LAJE 14CM, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100+/- 20MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZAÇÃO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO (NBR 8953)	Material	m³	0,1025	654,44	67,08
Insumo	1303	SBC	TELA ELETROSOLDADA NERVURADA Q-75 15x15cm 3,8mm (1,21kg/m2)	Material	m²	1,2100	10,25	12,40
Insumo	6256	SBC	CHAPA DE AÇO GALVANIZADA BITOLA GSG 0,95mm	Material	kg	7,6000	10,87	82,61
Insumo	000400	SBC	ARAME GALVANIZADO #16 (0,032kg/m)	Material	Kg	0,2172	22,48	4,88
Insumo	004143	SBC	ESPACADOR CIRCULAR P/ FERRAGENS TIPO ROSETA, COBERTURA 30mm	Material	un	2,4000	0,31	0,74
Insumo	037431	SBC	VIBRADOR DE IMERSAO ELETRICO 2CV	Material	h	0,2235	2,36	0,53
Insumo	062035	SBC	ESPACADOR BELGO TIPO TRELICA - 6 cm x 6,00 m ARCELOR MITAL	Material	un	0,6270	51,40	32,23
Insumo	099300	SBC	ARMADOR ou FERREIRO	Mão de Obra	h	0,6110	18,07	11,04
Insumo	099322	SBC	CONCRETISTA	Mão de Obra	h	0,4370	24,13	10,54
Insumo	099323	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO - CONCRETISTA	Mão de Obra	h	0,7160	17,16	12,29
Insumo	099350	SBC	CARPINTEIRO DE FORMAS	Mão de Obra	h	0,3450	18,07	6,23
Insumo	099450	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO	Mão de Obra	h	0,8690	17,16	14,91
Insumo	099543	SBC	MONTADOR DE ESTRUTURA METALICA	Mão de Obra	h	0,7460	18,07	13,48
Insumo	099807	SBC	AJUDANTE DE ARMADOR	Mão de Obra	h	0,5800	17,16	9,95
TOTAL					m²	1,000		592,23

Fonte: Autor, 2025.

Figura 15 - Planilha de composição de custo Hipótese 03

3	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	TIPO	UND	QUANT.	VALOR UNI.	TOTAL
COMPOSIÇÃO	-	-	LAJE STEEL DECK 75, CH 0,8MM, H=14CM, CONCRETO BOMBEADO 30MPA	ESTRUTURA	m²	120,00		66.616,80
Insumo	07.006.000001.MAT	TCPO	CHAPA DE AÇO COM NERVURAS TRAPEZOIDAIS PARA LAJE # 0,80 mm	Material	m²	1,1000	241,85	266,04
Insumo	1525	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, LAJE 14CM, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100+/- 20MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZAÇÃO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO (NBR 8953)	Material	m³	0,1025	654,44	67,08
Insumo	1303	SBC	TELA ELETROSOLDADA NERVURADA Q-75 15x15cm 3,8mm (1,21kg/m2)	Material	m²	0,5566	10,25	5,71
Insumo	4411	SBC	TELA ELETROSOLDADA NERVURADA Q-113 10x10cm 3,8mm (1,80kg/m2)	Material	m²	1,0800	15,63	16,88
Insumo	6256	SBC	CHAPA DE AÇO GALVANIZADA BITOLA GSG 0,95mm	Material	kg	7,6000	10,87	82,61
Insumo	000400	SBC	ARAME GALVANIZADO #16 (0,032kg/m)	Material	KG	0,2172	22,48	4,88
Insumo	004143	SBC	ESPACADOR CIRCULAR P/ FERRAGENS TIPO ROSETA, COBERTURA 30mm	Material	UN	2,4000	0,31	0,74
Insumo	037431	SBC	VIBRADOR DE IMERSAO ELETRICO 2CV	Material	H	0,2235	2,36	0,53
Insumo	062035	SBC	ESPACADOR BELGO TIPO TRELICA - 6 cm x 6,00 m ARCELOR MITAL	Material	UN	0,6270	51,40	32,23
Insumo	099300	SBC	ARMADOR ou FERREIRO	Mão de Obra	H	0,6110	18,07	11,04
Insumo	099322	SBC	CONCRETISTA	Mão de Obra	H	0,4370	24,13	10,54
Insumo	099323	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO - CONCRETISTA	Mão de Obra	H	0,7160	17,16	12,29
Insumo	099350	SBC	CARPINTEIRO DE FORMAS	Mão de Obra	H	0,3450	18,07	6,23
Insumo	099450	SBC	AJUDANTE ESPECIALIZADO	Mão de Obra	H	0,8690	17,16	14,91
Insumo	099543	SBC	MONTADOR DE ESTRUTURA METALICA	Mão de Obra	H	0,7460	18,07	13,48
Insumo	099807	SBC	AJUDANTE DE ARMADOR	Mão de Obra	H	0,5800	17,16	9,95
TOTAL					m²	1,000		555,14

Fonte: Autor, 2025.

Com base nos valores apresentados, observa-se que os custos variáveis representam aproximadamente 80% do custo total da solução, enquanto os custos fixos correspondem a 20%. Essa relação evidencia que a maior parte do custo está vinculada diretamente à área executada, reforçando a relevância dos materiais e da mão de obra na composição final da laje mista.

5 Discussão dos Resultados

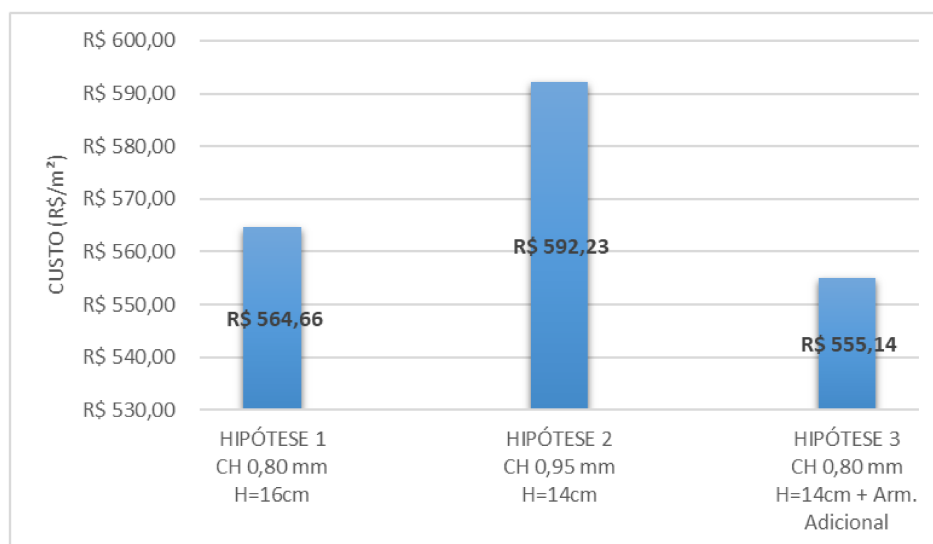
A partir das composições orçamentárias detalhadas para as três configurações distintas de lajes mistas em steel deck, foram realizadas comparações entre os cenários com base no custo total por metro quadrado, nas soluções estruturais empregadas e na viabilidade técnico-econômica de cada alternativa. Observa-se que, para as três alternativas estudadas, os custos fixos permanecem praticamente constantes, não influenciando de forma significativa a diferença entre os custos unitários finais. Dessa forma, a variação observada entre as hipóteses decorre majoritariamente dos custos variáveis, especialmente do volume de concreto, da espessura da chapa metálica e do consumo de telas, que representam a parcela mais sensível e proporcional ao aumento ou redução da área executada. Essa análise reforça que as diferenças de custo entre as soluções estão diretamente associadas aos materiais vinculados à metragem da laje, evidenciando que a racionalização dos insumos variáveis é o principal fator determinante para a economia final.

As configurações analisadas foram:

1. **Hipótese 1** – Telha fôrma MF75 com espessura de 0,80 mm e altura total de 16 cm, com tela Q92 e concreto C30 bombeado.
 - **Custo por m²:** R\$ 564,66
2. **Hipótese 2** – Telha fôrma MF75 com espessura de 0,95 mm e altura total de 14 cm, com tela Q75 e concreto C30 bombeado.
 - **Custo por m²:** R\$ 592,23
3. **Hipótese 3** – Telha fôrma MF75 com espessura de 0,80 mm e altura total de 14 cm, com tela Q75 para controle de fissuração e tela Q113 para armadura negativa.
 - **Custo por m²:** R\$ 555,14

A Figura 16 apresenta o comparativo do custo por metro quadrado das três hipóteses de lajes mistas analisadas.

Figura 16 – Comparativo de custo por metro quadrado das hipóteses analisadas



Fonte: Autor, 2025.

Com base nas análises observadas, destaca-se a Hipótese 3 composta por chapa de 0,80 mm, altura total da laje de 14 cm, e incorporação de armaduras adicionais para momentos negativos, demonstrou o melhor equilíbrio entre desempenho técnico e viabilidade econômica, resultando no menor custo total por metro quadrado. A utilização de reforços localizados permitiu ampliar a capacidade estrutural da laje nos trechos críticos, com controle de fissuração e deformações, sem representar aumento significativo no custo dos materiais. Mostrou-se tecnicamente eficiente e economicamente vantajosa, evidenciando que o reforço localizado, quando bem dimensionado, pode racionalizar os materiais de forma equilibrada.

A Hipótese 1, composta pela mesma chapa metálica de 0,80 mm, porém com altura total de 16 cm e adoção de armadura mínima de fissuração, apresentou um custo 1,71% superior ao da hipótese 3. Embora não exija armaduras adicionais, o maior capeamento do concreto contribuiu para o aumento do custo total por metro quadrado. Além disso, a maior espessura do concreto implica em um maior peso próprio da laje, o que pode impactar significativamente no dimensionamento das demais estruturas da edificação como vigas, pilares e fundações, o que elevaria o custo final da obra. Ainda assim, trata-se de uma solução tecnicamente válida e estruturalmente segura.

Por outro lado, a Hipótese 2, que utilizou chapa de maior espessura 0,95 mm e altura total de laje de 14 cm, apresentou o maior custo unitário, sendo 6,68% superior ao da Hipótese 3. A economia de concreto proporcionada pela menor altura da laje não foi suficiente para compensar o maior custo da telha fôrma, tornando essa alternativa menos competitiva do ponto de vista econômico, ainda que atenda aos critérios estruturais exigidos.

Do ponto de vista estrutural, a Hipótese 3 oferece o melhor desempenho, especialmente nas regiões críticas de momentos negativos e positivos, sendo também indicada para projetos com solicitações mais exigentes ou que demandem um maior controle de fissuração e deformações.

Em termos de custo-benefício, a Hipótese 3 se consolida como a alternativa mais vantajosa, reunindo eficiência estrutural, atendimento aos critérios de segurança e o menor custo total por metro quadrado entre as opções avaliadas.

6 Conclusão

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre diferentes configurações de lajes mistas em aço e concreto, utilizando telha fôrma do tipo MF75, com foco na busca por soluções estruturalmente viáveis e economicamente mais vantajosas. Foram analisadas três hipóteses estruturais, variando-se a espessura da telha fôrma metálica, a altura da laje e a presença de armaduras adicionais, todas compatíveis com os requisitos normativos de desempenho e resistência ao fogo. A metodologia adotada envolveu o dimensionamento técnico das alternativas, levantamento quantitativo de materiais e a composição de custos com base em bancos de dados oficiais, como SINAPI, TCPO e SBC.

A partir das análises desenvolvidas, foi possível identificar que a alternativa que utilizou a menor espessura de telha 0,80 mm, com menor altura de laje 14 cm, atendendo ao TRRF de 90 minutos, com incorporação de armaduras adicionais negativas sobre os apoios e armadura de fissuração (Hipótese 3), demonstrou o melhor desempenho técnico aliado ao menor custo total por metro quadrado. A estratégia de reforço localizado permitiu equilibrar segurança estrutural,

controle de fissuração e racionalização de materiais, superando as demais configurações avaliadas.

A Hipótese 1, que utilizou uma menor espessura de telha de 0,80 mm, maior altura total de laje com 16 cm e armadura de controle de fissuração obteve um custo intermediário, sem comprometer o desempenho estrutural exigido. Entretanto, o maior volume de concreto empregado nessa configuração implica em um aumento do peso próprio da laje, o que pode onerar os demais elementos estruturais como vigas, pilares e fundações, elevando o assim o custo total da edificação. A Hipótese 2, com chapa mais espessa de 0,95 mm, resultou na maior composição de custo unitário, devido ao maior valor da telha fôrma, tornando-se a alternativa menos competitiva do ponto de vista econômico.

Os resultados obtidos reforçam que a escolha da configuração de laje mista deve considerar não apenas os critérios normativos de segurança e resistência, mas também a viabilidade econômica e o consumo racional de materiais. A alternativa mais econômica identificada no estudo mostrou-se especialmente aplicável em edificações comerciais de pequeno e médio porte, onde o equilíbrio entre desempenho técnico e custo é essencial.

Contudo, ressalta-se que o presente estudo se restringiu à análise de ações gravitacionais em pavimentos típicos, não considerando efeitos como vibrações, cargas concentradas ou ações dinâmicas, o que limita a abrangência de sua aplicação. Para estudos futuros, sugere-se ampliar o escopo da investigação, considerando diferentes vãos estruturais, sistemas com escoramento parcial, variabilidade de f_{ck} , além da análise de outros modelos de telhas fôrma disponíveis no mercado.

Conclui-se que a integração entre critérios de projeto, custo e desempenho é fundamental para a escolha de sistemas estruturais mais eficientes. A aplicação racional de lajes mistas, quando bem dimensionada e planejada, permite ganhos relevantes em produtividade, economia e segurança na construção civil.

7 Referências bibliográficas

ARCELORMITTAL PERFILOR. POLYDECK 59S: **O Steel Deck da ArcelorMittal guia para dimensionar armaduras complementares**. 1. ed. São Paulo: ArcelorMittal Perfilor, 2017.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. v. 1. 8. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

BRASIL. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI** – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Brasília, DF, 2025.

CICHINELLI, Gisele. CBCA – Associação Brasileira do Concreto Armado. **Lajes em steel deck**. Site da CBCA, 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/lajes-em-steel-deck>. Acesso em: 14 maio. 2025.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.

ISOESTE METÁLICA. **ISODECK®**: tecnologia de alta performance para sua obra. Vol.1. Isodeck e Isoeste Metálica, 2023.

METFORM. **Manual técnico de telha fôrma Steel Deck**. Ed. 2020, Rev. 02. Betim: Metform, 2020.

TCPO. Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 14. ed. São Paulo: Editora PINI, 2021.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas mistas**. Vol. 1. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SBC. Sistema de Custos Referenciais de Obras. São Paulo, 2022.