

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

GUSTAVO AMBROZINO CARDOSO E SÁVIO SILVA TERTULIANO DEUSDARÁ

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE TRELIÇADA E LAJE MISTA *STEEL*
DECK APLICADAS À LAJE DE PISO DO PAVIMENTO SUPERIOR DE UM
SOBRADO COMERCIAL COM APLICAÇÃO DE MATRIZ DE DECISÃO
MULTICRITÉRIO**



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gustavo Ambrozino Cardoso E Sávio Silva Tertuliano Deusdará
Matrícula: 20201090040252 e 20211090040179

Título do Trabalho: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE TRELIÇADA E LAJE MISTA STEEL DECK APLICADAS À LAJE DO PAVIMENTO SUPERIOR DE UM SOBRADO COMERCIAL COM APLICAÇÃO DE MATRIZ DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Aparecida de Goiânia, 13/03/2026.

Local Data

Documento assinado digitalmente
gov.br GUSTAVO AMBROZINO CARDOSO
Data: 16/03/2026 16:07:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br SAVIO SILVA TERTULIANO DEUSDARA
Data: 16/03/2026 17:08:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura dos Autores e/ou Detentores dos Direitos Autorais

GUSTAVO AMBROZINO CARDOSO E SÁVIO SILVA TERTULIANO DEUSDARÁ

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE TRELIÇADA E LAJE MISTA *STEEL DECK* APLICADAS À LAJE DO PAVIMENTO SUPERIOR DE UM SOBRADO COMERCIAL COM APLICAÇÃO DE MATRIZ DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia, Câmpus Aparecida
de Goiânia-GO

Orientadora: Profa. Ma. Paula Miranda
da Silva

Aparecida de Goiânia-GO

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C268 Cardoso, Gustavo Ambrozino
Análise comparativa entre laje treliçada e laje mista steel deck aplicadas à laje de piso do pavimento superior de um sobrado comercial com aplicação de matriz de decisão multicritério. / Gustavo Ambrozino Cardoso e Sávio Silva Tertuliano Deusdará. - Aparecida de Goiânia, 2026.
94 f.

Orientadora: Ma. Paula Miranda da Silva.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Aparecida de Goiânia, Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.

1. Laje treliçada. 2. Laje mista Steel deck. 3. Análise comparativa de custos. 4. Dimensionamento estrutural. 5. Matriz multicritério. I. Título.

CDD 624.183

Catalogação na publicação:
Suzane Gonçalves Duarte Peixoto CRB 1/2746

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE TRELIÇADA E LAJE MISTA *STEEL DECK*
APLICADAS À LAJE DO PAVIMENTO SUPERIOR DE UM SOBRADO COMERCIAL
COM APLICAÇÃO DE MATRIZ DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

GUSTAVO AMBROZINO CARDOSO E SÁVIO SILVA TERTULIANO DEUSDARÁ

Trabalho de conclusão de curso aprovado
como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil no Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
Campus Aparecida de Goiânia.

Aprovado em: 23 /02 / 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



PAULA MIRANDA DA SILVA
Data: 16/03/2026 15:31:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Ma. Paula Miranda da Silva – Presidente da Banca

Documento assinado digitalmente



MURILO MEIRON DE PADUA SOARES
Data: 16/03/2026 13:11:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Murilo Meiron de Padua Soares – Membro Titular

Documento assinado digitalmente



VALDEIR FRANCISCO DE PAULA
Data: 16/03/2026 12:24:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Valdeir Francisco de Paula – Membro Externo

Aparecida de Goiânia-GO

2026

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Análise comparativa entre laje treliçada e laje mista steel deck aplicada à laje de piso do pavimento superior de um sobrado comercial com aplicação de matriz de decisão multicritério.**, sob orientação de Paula Miranda da Silva, apresentado pelo aluno **Gustavo Ambrozino Cardoso (20201090040252)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Aparecida de Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **19:00** do dia **23/02/2026** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Paula Miranda da Silva** (Presidente)
- **Murilo Meiron de Padua Soares** (Examinador Interno)
- **Valdeir Francisco de Paula** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 8,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Paula Miranda da Silva** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Murilo Meiron de Padua Soares**, em **09/03/2026 13:30:24** com chave **461251cc1bd511f19c63005056a537a4**.
- **VALDEIR FRANCISCO DE PAULA**, em **02/03/2026 17:12:48** com chave **2ea8dfa8167411f185fb005056a537a4**.
- **Paula Miranda da Silva**, em **02/03/2026 09:52:26** com chave **aa3014a4163611f188de005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 09/03/2026

Código de Autenticação: 275e28



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Análise comparativa entre laje treliçada e laje mista steel deck aplicada à laje de piso do pavimento superior de um sobrado comercial com aplicação de matriz de decisão multicritério.**, sob orientação de Paula Miranda da Silva, apresentado pelo aluno **Sávio Silva Tertuliano Deusdará (20211090040179)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Aparecida de Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **00:00** do dia **23/02/2026** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Paula Miranda da Silva** (Presidente)
- **Murilo Meiron de Padua Soares** (Examinador Interno)
- **Valdeir Francisco de Paula** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 8,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Paula Miranda da Silva** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Murilo Meiron de Padua Soares**, em **09/03/2026 13:30:15** com chave **408ca0181bd511f1a15f005056a537a4**.
- **VALDEIR FRANCISCO DE PAULA**, em **02/03/2026 17:12:33** com chave **263bee82167411f18942005056a537a4**.
- **Paula Miranda da Silva**, em **02/03/2026 09:52:07** com chave **9f283faa163611f1bffc005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 16/03/2026

Código de Autenticação: fa083a



AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia, pela infraestrutura oferecida e pelo ambiente propício ao nosso desenvolvimento acadêmico ao longo da graduação.

À nossa orientadora, Profa. Paula Miranda da Silva, pela orientação segura na condução deste trabalho, pela paciência nas correções e pelos incentivos constantes, que foram fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa.

Às nossas famílias, base de nossa formação, por acreditarem em nosso potencial e por oferecerem o suporte necessário para que este objetivo se tornasse realidade.

Aos colegas de turma e amigos, pela troca de experiências e pelo companheirismo durante essa trajetória.

Por fim, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste ciclo, registramos nosso sincero agradecimento.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre a laje treliçada com enchimento em EPS e a laje mista *Steel deck*, aplicadas ao mezanino de um sobrado comercial de 244 m². O objetivo foi avaliar o desempenho estrutural, executivo e econômico de ambas as soluções. A metodologia envolveu o dimensionamento conforme as normas ABNT NBR 6118:2023 e NBR 8800:2024, a elaboração de orçamento baseado na tabela SINAPI (Goiás) e a aplicação de uma matriz de decisão multicritério fundamentada no Julgamento de Especialistas. Os resultados demonstraram que ambos os sistemas atenderam aos requisitos estruturais para o vão principal de 2,48 m e sobrecarga comercial de 3,0 kN/m². No entanto, a laje treliçada apresentou um custo direto de R\$ 125,11/m², mostrando-se economicamente mais viável que o *Steel deck*, que custou R\$ 205,80/m² (um acréscimo de 64,5%). Na matriz de decisão, a laje treliçada obteve a maior pontuação global (3,80 contra 3,50 do *Steel deck*), impulsionada pelo peso do fator financeiro. Conclui-se que, para este cenário de vãos reduzidos e sem restrições críticas de prazo, a laje treliçada é a solução com o melhor custo-benefício.

Palavras-chave: Laje treliçada. Laje mista *Steel deck*. Análise comparativa de custos. Dimensionamento estrutural. Matriz multicritério.

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis between a precast lattice slab with EPS infill and a *Steel deck* composite slab, applied to a 244 m² commercial mezzanine. The objective was to evaluate the structural, executive, and economic performance of both solutions. The methodology included structural design according to ABNT NBR 6118:2023 and NBR 8800:2024, budgeting based on the SINAPI database (Goiás), and the application of a multi-criteria decision matrix based on Expert Judgment. Results showed that both systems met the structural requirements for the 2.48 m main span and 3.0 kN/m² commercial live load. However, the lattice slab presented a direct cost of R\$ 125.11/m², proving to be more economically viable than the *Steel deck*, which cost R\$ 205.80/m² (a 64.5% increase). In the decision matrix, the lattice slab achieved the highest global score (3.80 versus 3.50 for the *Steel deck*), driven by the weight of the financial factor. It is concluded that for this scenario of short spans and no critical schedule constraints, the lattice slab is the most cost-effective solution.

Keywords: Precast lattice slab. *Steel deck* composite slab. Comparative cost analysis. Structural design. Multi-criteria decision matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe esquemático dos componentes da laje pré-moldada com vigotas treliçadas.	18
Figura 2 – Treliça espacial utilizada na confecção das vigotas treliçadas	19
Figura 3 – Seção transversal Steel deck	21
Figura 4 – Perfil de fôrma trapezoidal com mossas para ligação mecânica	22
Figura 5 – Perfil de fôrma reentrante com ligação por atrito e confinamento	22
Figura 6 – Tipos usuais de conectores	23
Figura 7 – Planta estrutural do mezanino com indicação das vigas e vãos	34
Figura 8 – Disposição estrutural das vigas do mezanino e definição dos vãos principais.	35
Figura 9 – Seção transversal da laje treliçada	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de resultados entre laje treliçada e laje steel deck (Fernandes e Scariot, 2020)	27
Tabela 2 – Vãos estruturais do mezanino analisado	36
Tabela 3 – Composição das cargas permanentes da laje treliçada	38
Tabela 4 – Ações características consideradas	39
Tabela 5 – Esforços solicitantes na laje treliçada (ELU)	40
Tabela 6 – Área de aço requerida para flexão (ELU)	42
Tabela 7 – Armadura adotada para a laje treliçada	44
Tabela 8 – Composição do volume de concreto por metro quadrado da laje treliçada	47
Tabela 9 – Composição do consumo de aço por metro quadrado da laje treliçada	48
Tabela 10 – Síntese comparativa de quantitativos de materiais	66
Tabela 11 – Comparação consolidada entre laje treliçada e laje Steel deck	70
Tabela 12 – Matriz de decisão ponderada (Trelçada × Steel deck)	72

LISTA DE SÍMBOLOS

A_F	Área efetiva da fôrma metálica colaborante (<i>Steel deck</i>) (mm ²)
A_s	Área de armadura longitudinal (mm ²)
$A_{s,min}$	Área mínima de armadura longitudinal (mm ²)
A_{s+}	Área de armadura positiva (mm ² /m)
A_{s-}	Área de armadura negativa (mm ² /m)
b	Largura da seção considerada (mm)
b_w	Largura da nervura (mm)
d	Altura útil da seção (mm)
δ	Flecha (mm)
δ_{adm}	Flecha admissível (mm)
E_{ci}	Módulo de elasticidade inicial do concreto (MPa)
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto (MPa)
f_{cd}	Resistência de cálculo do concreto (MPa)
f_{yk}	Tensão de escoamento característica do aço (MPa)
f_{yd}	Tensão de cálculo do aço (MPa)
G_k	Ação permanente característica (kN/m ²)
γ_c	Coeficiente parcial de segurança do concreto
γ_s	Coeficiente parcial de segurança do aço
h	Altura total da seção (mm ou cm)
L	Vão da laje (m)
M_{Sd}	Momento solicitante de cálculo (kN·m)
M^+	Momento positivo (vão) (kN·m)
M^-	Momento negativo (apoio) (kN·m)
M_{Rd}	Momento resistente de cálculo (kN·m)
p	Carregamento distribuído (kN/m ²)
q_{ser}	Carregamento de serviço (kN/m ²)
q_d	Carregamento de cálculo no ELU (kN/m ²)
Q_k	Ação variável característica (kN/m ²)
ρ_{min}	Taxa geométrica mínima de armadura

ρ_1 — Taxa geométrica de armadura longitudinal
 V_{sd} — Esforço cortante solicitante de cálculo (kN)
 V_{Rd} — Esforço cortante resistente de cálculo (kN)
 z — Braço de alavanca interno (mm)
 ϕ — Diâmetro da barra de aço
 l_x — Vão teórico da laje na menor direção (direção principal)
 q_{vx} — Ação linear nas vigas paralelas às vigotas treliçadas
 q_{vy} — Ação linear nas vigas perpendiculares às vigotas treliçadas
 τ_{Rd} — Tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento
 k — Coeficiente que considera a influência da altura útil da seção na resistência ao esforço cortante de elementos que dispensam armadura transversal.
 W_d — Carga linear equivalente de cálculo no ELU (kN/m).

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA — Concreto Armado

CA-50 — Aço para armadura com resistência característica de escoamento de 500 MPa

CA-60 — Aço para armadura com resistência característica de escoamento de 600 MPa

CBCA — Centro Brasileiro da Construção em Aço

ELU — Estado Limite Último

ELS — Estado Limite de Serviço

EPS — Poliestireno Expandido

IFG — Instituto Federal de Goiás

kN — Quilonewton

kN/m² — Quilonewton por metro quadrado

MPa — Megapascal

NBR — Norma Brasileira

Q75 — Malha soldada com área de aço aproximada de 75 mm² por direção

Q96 — Malha soldada com área de aço aproximada de 96 mm² por direção

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

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	17
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	HIPÓTESES.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	LAJES	19
2.2	LAJE TRELIÇADA.....	19
2.2.1	Considerações sobre o comportamento estrutural e dimensionamento da laje treliçada	21
2.2.2	Cálculo das reações de apoio da laje treliçada	22
2.2.3	Verificação da laje ao cisalhamento da laje treliçada	22
2.3	LAJE STEEL DECK	23
2.3.1	Verificações na fase construtiva da Steel deck	25
2.3.2	Comportamento e dimensionamento na fase mista steel deck.....	26
2.3.3	Verificação ao cisalhamento steel deck	26
2.3.4	Panorama do setor no Brasil	27
2.4	TRABALHOS ANTERIORES.....	27
2.4.1	Fernandes e Scariot (2020).....	28
2.4.2	Moura (2023)	29
2.4.3	Nascimento e Trindade (2024).....	30
2.5	SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	31
2.5.1	Concreto	31
2.5.2	Massa específica.....	31
2.5.3	Resistência mecânica à compressão.....	31
2.5.4	Resistência à tração	32
2.5.5	Módulo de elasticidade	32
2.6	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	32
2.6.1	Segurança e estados-limites	33
2.6.2	Ações consideradas	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA LAJE TRELIÇADA	35
3.1.1	Ações atuantes da laje treliçada	38
3.1.2	Combinações de ações no estado limite último (ELU).....	40
3.1.3	Combinações de ações no estado limite de serviço (ELS – Combinação Rara):.....	40

3.1.4	Determinação dos esforços solicitantes	41
3.1.5	Dimensionamento das armaduras	43
3.1.6	Modelo adotado para estimativa da flecha.....	46
3.1.7	Quantitativos estruturais da laje treliçada	48
3.2	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA LAJE STEEL DECK	50
3.2.1	Ações atuantes.....	51
3.2.2	Combinações de ações	53
3.2.3	Determinação dos esforços solicitantes	53
3.2.4	Verificação resistente da laje Steel deck.....	55
3.2.5	Verificação no Estado Limite Último (ELU).....	56
3.2.6	Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS).....	57
3.2.7	Limite de deformação admissível	59
3.3	Quantitativos Estruturais Da Laje Steel deck.....	61
3.3.1	Volume de concreto	62
3.3.2	Consumo de aço	62
3.4	LEVANTAMENTO DE CUSTOS DIRETOS DA _s LAJE	63
3.4.1	Metodologia de orçamentação	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	CUSTO DIRETO.....	65
4.2	ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO.....	68
4.3	COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL.....	69
4.4	COMPARAÇÃO DOS QUANTITATIVOS ESTRUTURAIS	70
4.5	MATRIZ DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DO SISTEMA DE LAJE	71
5	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
	ANEXOS.....	77

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A escolha do sistema estrutural de laje exerce influência direta no desempenho estrutural, no custo final da obra e no prazo de execução. Na construção de um edifício, especialmente na laje do pavimento superior, a definição da solução estrutural impacta não apenas os critérios técnicos de resistência e deformação, mas também aspectos executivos, como necessidade de escoramento, logística de materiais, disponibilidade de mão de obra especializada e interferências no cronograma da obra.

Nas últimas décadas, a construção civil brasileira passou por um processo de modernização caracterizado pela adoção de sistemas mais industrializados e racionalizados, com foco na redução de prazos e na otimização de recursos (ABCEM; CBCA, 2020). Nesse contexto, destacam-se os sistemas mistos aço–concreto, como a laje *steel deck*, que vêm ganhando espaço no mercado devido à sua agilidade executiva e compatibilidade com diferentes sistemas estruturais. Paralelamente, a laje treliçada permanece sendo amplamente empregada em edificações comerciais, consolidando-se como solução tradicional, com ampla disponibilidade no mercado nacional e facilidade de execução.

Embora ambos os sistemas apresentem aplicação recorrente, suas características estruturais e construtivas diferem significativamente. A laje treliçada exige escoramento temporário e período de cura para retirada dos apoios, enquanto o sistema *steel deck* pode, dependendo das condições de projeto, reduzir ou eliminar a necessidade de escoramento. Além disso, os sistemas diferem quanto ao consumo de materiais, peso próprio, comportamento em serviço e custos envolvidos.

Dessa forma, a escolha do sistema de laje não deve se basear exclusivamente no custo direto inicial, mas em uma análise integrada que considere simultaneamente critérios estruturais, executivos e econômicos. A ausência dessa abordagem integrada pode conduzir a decisões fundamentadas em um único fator, desconsiderando impactos relevantes no desempenho global da edificação.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando a laje do pavimento superior de um sobrado comercial, qual sistema estrutural — laje treliçada ou laje *steel deck* — apresenta melhor desempenho global quando avaliados conjuntamente critérios estruturais, executivos e econômicos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa entre a laje treliçada e a laje *steel deck* aplicadas à laje de piso do pavimento superior de um sobrado comercial, por meio do dimensionamento estrutural conforme as normas vigentes, levantamento de quantitativos, análise de custos com base na tabela SINAPI e aplicação de matriz de decisão multicritério para apoio à tomada de decisão.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre os sistemas de lajes analisados e seus respectivos critérios normativos de dimensionamento;
- Dimensionar a laje treliçada e a laje *steel deck* conforme prescrições normativas;
- Levantar quantitativos de materiais para cada sistema estrutural;
- Estimar os custos diretos com base na tabela SINAPI vigente para o estado de Goiás;
- Comparar os prazos executivos e as características construtivas de cada sistema;
- Estruturar e aplicar uma matriz de decisão que integre os critérios estruturais, executivos e econômicos avaliados.

1.4 HIPÓTESES

O presente estudo parte das seguintes hipóteses:

1 – A laje treliçada apresenta menor custo direto total para a laje do pavimento superior do sobrado comercial analisado.

2 – O sistema *steel deck* apresenta redução significativa no prazo executivo em comparação à laje treliçada.

3 – A escolha do sistema estrutural varia conforme a ponderação dos critérios adotados na matriz de decisão, não sendo o custo direto isolado suficiente para determinar a solução mais adequada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LAJES

As lajes são elementos estruturais bidimensionais, caracterizados por espessura significativamente inferior às demais dimensões em planta, destinadas a receber ações predominantemente perpendiculares ao seu plano e transmiti-las aos elementos de apoio, como vigas, pilares ou paredes estruturais, conforme estabelecido na ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. As lajes são responsáveis por suportar e distribuir as cargas permanentes e variáveis da edificação, sendo seu comportamento estrutural, em geral, governado pela flexão, podendo envolver também esforços de cisalhamento e punção, a depender das condições de apoio e carregamento. Seu dimensionamento deve atender às verificações nos estados limites último e de serviço (ELU e ELS), garantindo segurança estrutural, controle de deformações e desempenho adequado ao longo da vida útil da estrutura.

Quanto à geometria e funcionamento estrutural, destacam-se neste estudo as lajes treliçadas e as mistas aço-concreto. A laje treliçada é um sistema composto por vigotas pré-fabricadas, elementos de enchimento e capa de concreto que, após a cura, apresenta comportamento estrutural monolítico, conforme aponta Moura (2023). Já a laje mista, conhecida como *steel deck*, é constituída por telha de aço perfilada que atua simultaneamente como fôrma e armadura, trabalhando solidariamente com a capa de concreto, conforme descrito por Bellei e Pinho (2008). A escolha de qual sistema de laje adotar depende de fatores estruturais, executivos e econômicos, devendo atender às exigências normativas e às características específicas de cada projeto.

2.2 LAJE TRELIÇADA

A laje treliçada é um sistema estrutural amplamente empregado na construção civil brasileira, especialmente em edificações residenciais e comerciais de pequeno e médio porte. O sistema é composto por vigotas pré-fabricadas com armadura em forma de treliça, associadas a elementos de enchimento e capa de concreto moldada no local. Após a concretagem e a cura do concreto, ocorre a solidarização entre a vigota e a capa superior, resultando em um comportamento estrutural monolítico e predominantemente unidirecional à flexão (MOURA, 2023).

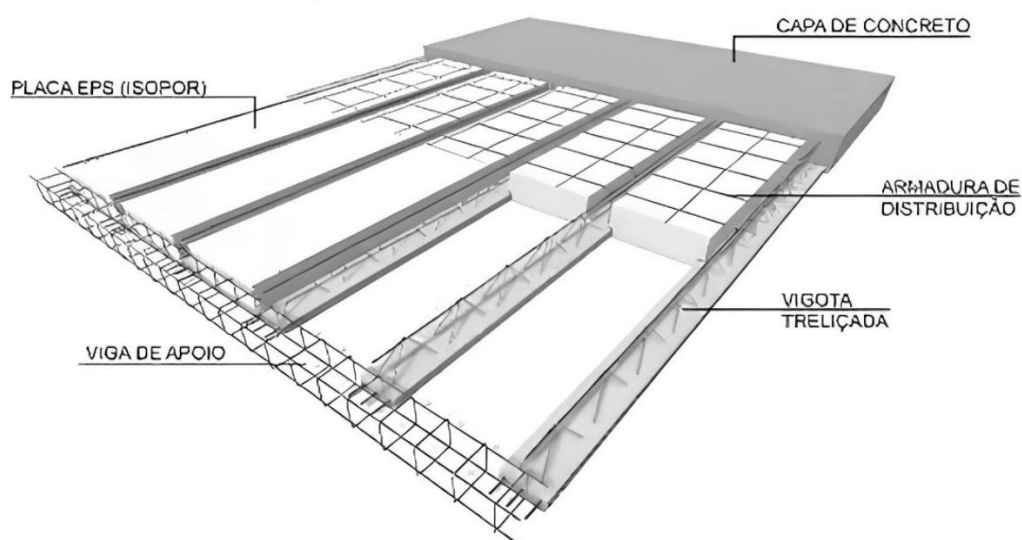
Do ponto de vista estrutural, a seção transversal da laje treliçada pode ser analisada de forma análoga a uma viga do tipo T, onde a capa de concreto atua como mesa comprimida e a vigota como elemento resistente à tração. As vigotas são constituídas por uma base de concreto (patim) na qual é incorporada uma armadura treliçada eletrossoldada, composta por barras longitudinais inferiores e diagonais de ligação. As barras longitudinais atuam como armadura

principal de tração, enquanto as diagonais conferem rigidez ao conjunto durante as fases de transporte, montagem e concretagem.

Os elementos de enchimento, que podem ser cerâmicos, de concreto ou de poliestireno expandido (EPS), possuem função não estrutural, resultando na redução do peso próprio da laje e na racionalização do consumo de concreto, não sendo considerados no cálculo da resistência estrutural.

A Figura 1 apresenta a composição básica de uma laje treliçada com enchimento EPS, destacando os principais elementos estruturais que integram o sistema.

Figura 1 – Detalhe esquemático dos componentes da laje pré-moldada com vigotas treliçadas

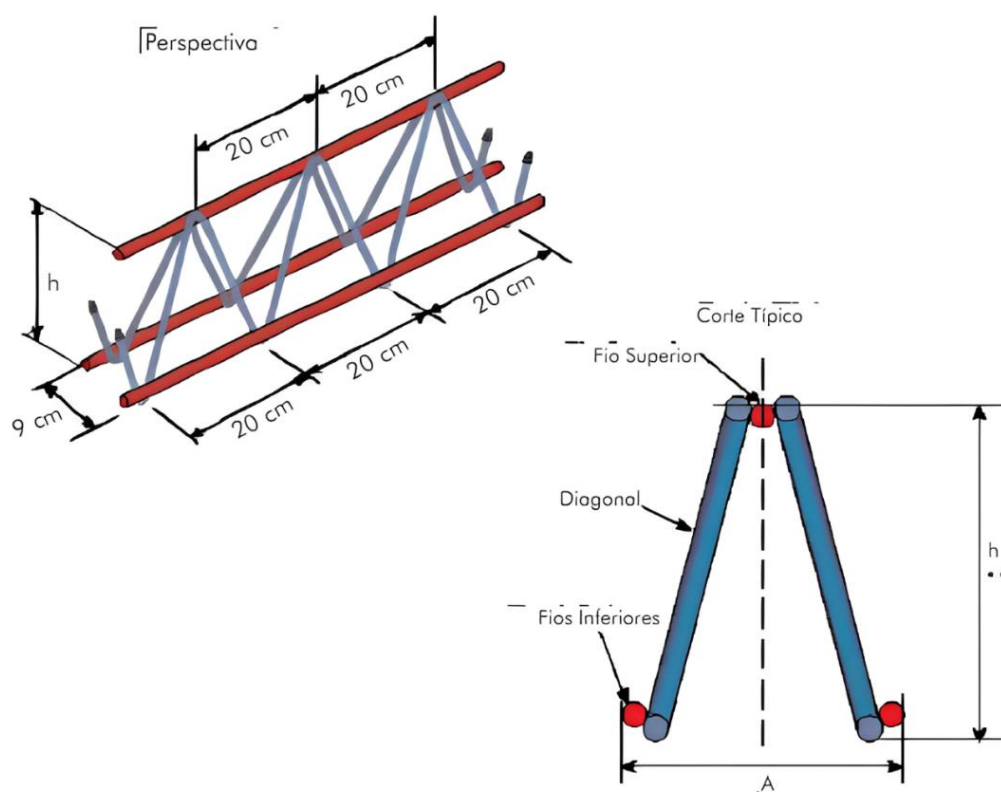


Fonte: CASACOR (2025)

O dimensionamento estrutural da laje treliçada deve atender às prescrições da ABNT NBR 6118:2023, contemplando verificações nos estados limites últimos (ELU) e estado limite de serviço (ELS). Devem ser avaliadas a resistência à flexão, o cisalhamento, o controle da fissuração e, principalmente, o atendimento aos limites de flecha admissíveis, que constituem um dos principais critérios de desempenho do sistema. Além dessas prescrições, aplicam-se também os requisitos da ABNT NBR 14859-1: 2016 - Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos, que trata especificamente das lajes pré-fabricadas com vigotas e elementos de enchimento.

As barras longitudinais das vigotas são em aço CA-50 ou CA-60, enquanto as barras diagonais são em fios de aço de alta resistência. Para armaduras negativas e reforços nas regiões de apoio, utilizam-se barras CA50, conforme recomendações da ABNT NBR 7480:2024 - Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - Requisitos.

Figura 2 – Treliça espacial utilizada na confecção das vigotas trelaçadas



Fonte: Manual Técnico Lajes Trelaçadas Belgo (2010)

O concreto utilizado deve apresentar resistência característica compatível com as exigências de projeto e classe de agressividade ambiental da edificação.

Estudos como o de Moura (2023) indicam que a laje trelaçada apresenta redução significativa no consumo de concreto e no peso próprio quando comparada a sistemas de maciça.

2.2.1 Considerações sobre o comportamento estrutural e dimensionamento da laje trelaçada

No dimensionamento à flexão, o comportamento da laje trelaçada pode ser analisado de maneira análoga ao de vigas com seção transversal do tipo "T", pois a capa de concreto confere

ligação e rigidez ao sistema, fazendo com que uma porção da laje adjacente se deforme em conjunto com a vigota, incorporando-se à zona de compressão.

As vigotas são consideradas como simplesmente apoiadas, resultando em uma estrutura isostática com carregamento uniformemente distribuído. Assim, o momento máximo positivo é calculado pela equação 1:

$$M = \frac{q \cdot l_x^2}{8} \quad (1)$$

Onde q representa o carregamento distribuído atuante na faixa de influência da vigota e l_x é o vão teórico.

2.2.2 Cálculo das reações de apoio da laje treliçada

Para a determinação das ações transmitidas pelas lajes às vigas de contorno, considera-se primariamente a influência do carregamento sobre as vigas transversais às vigotas. Considerando que a capa de concreto é capaz de conferir certa rigidez transversal ao painel, adotou-se de um processo simplificado em que parte das cargas é direcionada às vigas paralelas. Assim, os carregamentos são distribuídos da seguinte forma:

Ações nas vigas perpendiculares às vigotas treliçadas:

$$q_{vy} = \frac{q \cdot l_x}{2} \quad (2)$$

Ações nas vigas paralelas às vigotas treliçadas (considerando uma absorção aproximada de 25% do esforço transversal):

$$q_{vx} = 0,25 \cdot q_{vy} = 0,125 \cdot q \cdot l_x \quad (3)$$

2.2.3 Verificação da laje ao cisalhamento da laje treliçada

Na grande maioria dos casos de dimensionamento de lajes em edificações usuais a armadura transversal para absorção de esforço cortante é dispensada. Para validar a dispensa de estribos, é necessário atender a seguinte condição: o esforço cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) deve ser menor que o esforço cortante resistente de cálculo (V_{rd1}) de acordo com a equação 4:

$$V_{sd} \leq V_{rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 \cdot 40 \cdot \sqrt{\rho_1})] \cdot b_w \cdot d \quad (4)$$

Sendo τ_{Rd} a tensão resistente de cálculo do concreto, b_w largura mínima da nervura e a altura útil da seção geométrica adotada.

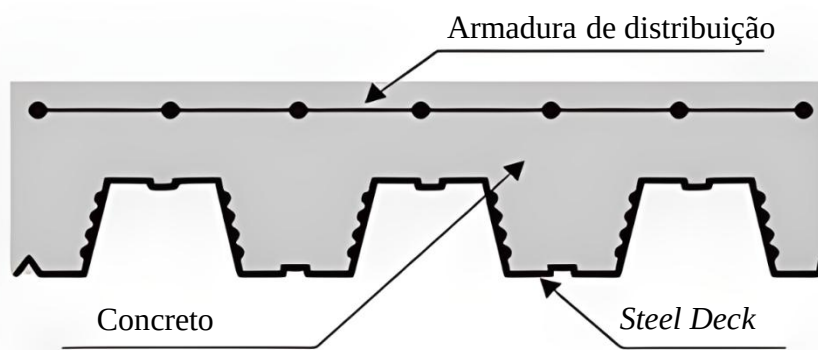
2.3 LAJE STEEL DECK

A laje *steel deck* é um sistema estrutural misto aço–concreto constituído pela associação solidária entre fôrma metálica perfilada, concreto moldado no local e conectores de cisalhamento. O comportamento estrutural desse sistema baseia-se na interação entre os materiais, permitindo atuação conjunta e eficiente à flexão.

Segundo Lemos (2013), o sistema é composto por três elementos principais: o concreto de compressão, a fôrma de aço conformada a frio — que atua como armadura positiva após o endurecimento do concreto — e os conectores de cisalhamento. Durante a fase de concretagem, a fôrma metálica funciona como suporte para o concreto fresco e para as cargas de construção; posteriormente, integra-se estruturalmente ao conjunto.

A Figura 3 apresenta a seção transversal de uma laje *Steel deck*

Figura 3 – Seção transversal *Steel deck*



Fonte: Metform (2022).

A fôrma metálica deve atender aos requisitos geométricos, de espessura e de proteção superficial estabelecidos na ABNT NBR 16421:2023 - Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e ensaios, garantindo a aderência mecânica necessária ao comportamento colaborante do sistema (CAMPOS, 2001). Os perfis podem apresentar geometria trapezoidal ou reentrante, sendo esta última caracterizada por mossas que promovem ligação mecânica por atrito e confinamento.

As Figuras 4 e 5 apresentam um detalhamento da fôrma trapezoidal e reentrante, respectivamente.

Figura 4 – Perfil de fôrma trapezoidal
mossas para ligação mecânica

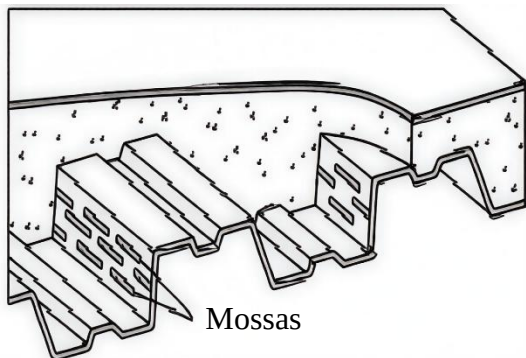


Figura 4 – Fonte: Campos (2001)

Figura 5 – Perfil de fôrma reentrante com com
ligação por atrito e confinamento

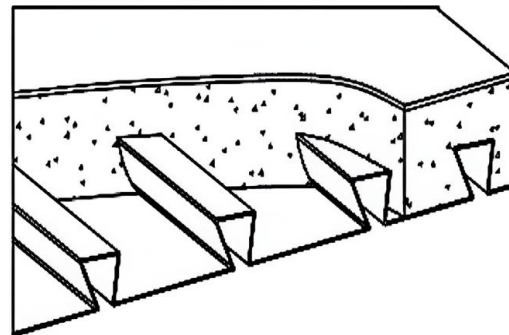


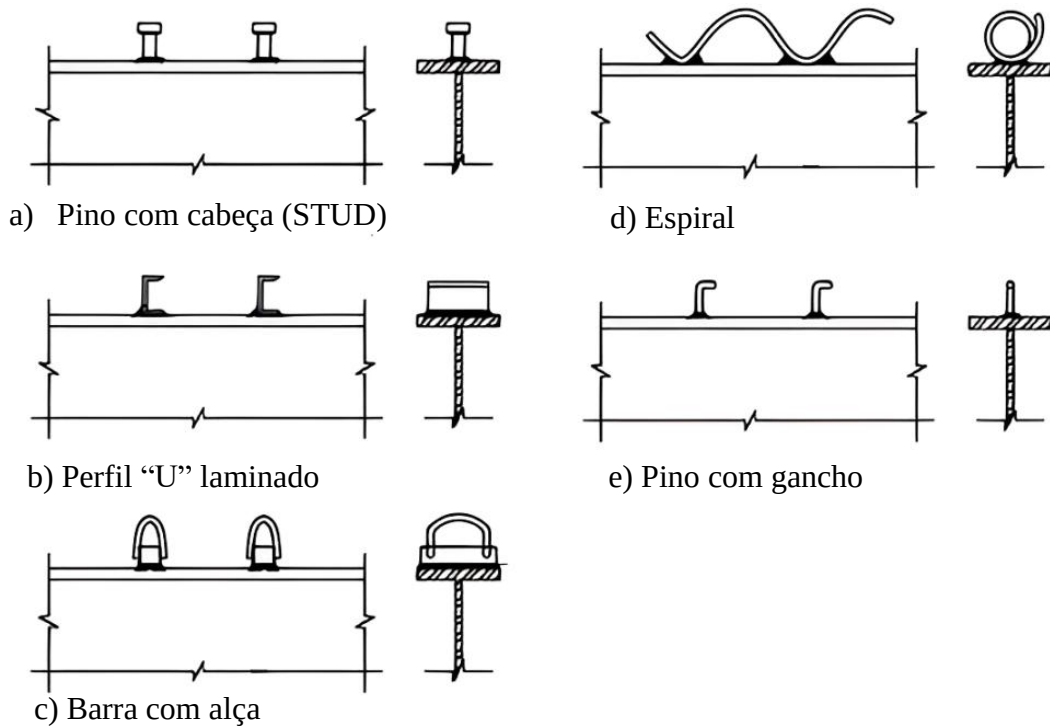
Figura 5 –Fonte: Campos (2001)

O concreto empregado, geralmente, possui resistência característica à compressão (f_{ck}) entre 20 MPa e 35 MPa (C25 a C35). A dosagem deve assegurar adequada trabalhabilidade, permitindo o correto preenchimento das nervuras da chapa e promovendo aderência entre os materiais (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

A transferência dos esforços de cisalhamento longitudinal na interface aço-concreto é assegurada pelos conectores de cisalhamento, sendo o tipo pino com cabeça (*stud bolt*) o mais utilizado para absorver o esforço de arrancamento (*uplift*) da laje, garantindo o comportamento monolítico do conjunto (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016). O dimensionamento, a quantidade e o espaçamento desses conectores devem obedecer aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2024 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

A Figura 6 apresenta os tipos comuns de conectores de cisalhamento, com destaque para os pinos com cabeça *stud bolts*, que são os mais empregados devido à sua eficiência e facilidade de instalação.

Figura 6 - Tipos usuais de conectores.



Fonte: Malite (1990)

Embora o sistema seja projetado para vencer determinados vãos sem escoramento intermediário, em algumas situações específicas — a depender da espessura da chapa e das cargas atuantes na fase construtiva — pode ser necessária a utilização de escoramentos temporários para controle das deformações da fôrma no estado fresco do concreto.

Estudos recentes também analisam o sistema sob a perspectiva da eficiência estrutural e viabilidade econômica. Teixeira (2025) destaca que a laje *steel deck* apresenta desempenho estrutural satisfatório quando corretamente dimensionado, além de vantagens relacionadas à redução do tempo de execução, racionalização do uso de fôrmas e maior produtividade em obra. Ele ainda ressalta que a escolha do sistema deve considerar, além do custo inicial dos materiais, fatores como prazo de execução, disponibilidade de mão de obra especializada e características específicas do projeto.

2.3.1 Verificações na fase construtiva da *Steel deck*

Na fase de lançamento e cura, o concreto fresco não apresenta resistência mecânica. Nessa etapa, a fôrma de aço perfilada atua de maneira isolada como uma fôrma autoportante. Por isso, ela deve ser dimensionada para resistir ao seu próprio peso, ao peso do concreto fresco e às sobrecargas operacionais de montagem e concretagem.

Admitindo-se, a favor da segurança, que a fôrma trabalhe como uma viga isostática biapoiada durante a fase construtiva, o momento fletor solicitante máximo de cálculo (M_d) no meio do vão pode ser obtido por:

$$M_d = \frac{q_d \cdot l_x^2}{8} \quad (5)$$

Onde q_d é o carregamento distribuído total na fase construtiva e l_x é o vão teórico entre os apoios.

2.3.2 Comportamento e dimensionamento na fase mista *steel deck*

Após a cura do concreto e o alcance de sua resistência de projeto, o sistema passa a trabalhar de forma monolítica. A fôrma de aço deixa de ser apenas uma fôrma e assume a função de armadura positiva de tração da laje, enquanto o concreto absorve os esforços de compressão. De forma análoga ao cálculo do momento solicitante de cálculo na fase construtiva, o momento de cálculo na fase mista é calculado através da equação 5.

O momento fletor solicitante de cálculo (M_{sd}) deve ser menor ou igual ao momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}). Considerando a teoria plástica e admitindo interação total (onde a linha neutra plástica se encontra na capa de concreto), o momento resistente positivo é simplificado em função da área efetiva da fôrma de aço (A_F), sua tensão de escoamento de cálculo (f_{yd}) e o braço de alavanca (z) entre as forças resultantes de tração e compressão:

$$M_{Rd} = A_F \cdot f_{yd} \cdot z \quad (6)$$

2.3.3 Verificação ao cisalhamento *steel deck*

De forma análoga a verificação do cisalhamento na laje treliçada, na laje *Steel deck* é necessário que o esforço cortante solicitante de cálculo seja menor ou igual ao esforço cortante resistente de cálculo, como mostra a equação 7:

$$V_{sd} \leq V_{Rd} \quad (7)$$

Além do cisalhamento transversal, nas lajes *steel deck* há exigência da verificação do cisalhamento longitudinal. Este esforço tende a causar o deslizamento longitudinal entre a chapa de aço e o concreto, sendo combatido através de mossas e mossaduras (relevos)

padronizadas ao longo da fôrma metálica, que garantem a aderência mecânica necessária para o trabalho conjunto dos materiais.

2.3.4 Panorama do setor no Brasil

O sistema *steel deck* apresenta crescimento progressivo no mercado da construção civil brasileira, impulsionado pela busca por soluções industrializadas, redução de prazos de execução e racionalização construtiva. De acordo com a Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM) e o Centro Brasileiro da Construção em Aço CBCA (2020), o setor de telhas metálicas e *steel deck* possui ampla representatividade industrial no país, evidenciando a consolidação do sistema no cenário construtivo nacional.

Segundo o relatório *Cenário dos Fabricantes de Telhas de Aço e Steel deck – 2020* (ABCEM; CBCA, 2020), foram identificados 118 fabricantes atuando no setor, dos quais apenas três produzem exclusivamente *steel deck*, enquanto treze empresas fabricam tanto telhas metálicas quanto *steel deck*. No ano de 2019, a produção total do segmento alcançou aproximadamente 433,9 mil toneladas, sendo que o *steel deck* representou cerca de 12,1 mil toneladas, correspondendo a aproximadamente 2,8% da produção total.

O mesmo levantamento aponta que o segmento de *steel deck* apresentou crescimento de aproximadamente 12% em 2019, índice superior ao crescimento das telhas de aço no mesmo período, que foi de 3,4% (ABCEM; CBCA, 2020). Esses dados indicam tendência de expansão do sistema, especialmente em empreendimentos comerciais e industriais que utilizam estruturas metálicas.

Ainda conforme ABCEM e CBCA (2020), cerca de 53% das empresas do setor estão localizadas na região Sudeste, evidenciando concentração produtiva nessa região. O faturamento estimado do segmento de telhas metálicas e *steel deck* foi de aproximadamente R\$ 3,3 bilhões em 2019, demonstrando a relevância econômica da cadeia produtiva associada ao sistema.

A partir desses dados, observa-se que o *steel deck* não se configura apenas como alternativa estrutural, mas como sistema respaldado por setor industrial consolidado, crescimento de mercado e expressiva representatividade econômica no contexto da construção civil brasileira.

2.4 TRABALHOS ANTERIORES

A análise comparativa entre diferentes sistemas de lajes tem sido abordada em estudos acadêmicos que avaliam aspectos estruturais, executivos e econômicos. A literatura recente apresenta pesquisas voltadas à comparação de desempenho, consumo de materiais, tempo de

execução e custos entre sistemas tradicionais em concreto armado e soluções industrializadas, como o *steel deck*.

Observa-se que, embora existam trabalhos comparando o *steel deck* com lajes maciças ou nervuradas, são menos frequentes os estudos que realizam comparação direta com a laje treliçada aplicada a um mesmo projeto, incluindo dimensionamento estrutural detalhado e análise integrada de custos e execução.

Além disso, verifica-se que a utilização de ferramentas estruturadas de apoio à decisão ainda é pouco explorada nesse contexto, especialmente em estudos de graduação. Dessa forma, a análise dos trabalhos anteriores permite identificar contribuições já consolidadas e lacunas que justificam a realização do presente estudo.

2.4.1 Fernandes e Scariot (2020)

Fernandes e Scariot (2020), no trabalho intitulado *Análise Comparativa de Custo da Laje Mista Steel deck com a Laje Treliçada*, realizaram um estudo comparativo aplicado a um projeto comercial com área total de 501,59 m², dividido em três áreas distintas. O objetivo da pesquisa foi avaliar a viabilidade estrutural e econômica dos dois sistemas de laje, considerando sua aplicação em uma mesma edificação.

A laje *steel deck* foi dimensionada conforme orientações do fabricante e em conformidade com a ABNT NBR 8800:2008, enquanto a laje treliçada foi dimensionada de acordo com a ABNT NBR 6118:2018, com auxílio de software de cálculo estrutural. Foram consideradas cargas permanentes, revestimentos e sobrecarga de uso, conforme as Normas vigentes. Após o dimensionamento, realizou-se o levantamento de quantitativos e a estimativa de custos com base na tabela SINAPI (maio de 2020), considerando apenas os insumos diretamente relacionados às lajes.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos principais resultados obtidos pelas autoras, evidenciando o desempenho estrutural e os custos estimados para cada sistema nas áreas analisadas.

Tabela 1 – Comparação de resultados entre laje treliçada e laje *steel deck* (Fernandes e Scariot, 2020)

Área	Condição Estrutural	Sistema	Custo Total (R\$)	Diferença (%)
A01 (maior vão)	<i>Steel deck</i> atendeu aos limites normativos	<i>Steel deck</i>	—	—
A01 (maior vão)	Não atendeu ao limite de flecha (L/250)	Treliçada	—	—
A02	Atendeu aos critérios estruturais	<i>Steel deck</i>	4.351,04	14,17%
A02	Atendeu aos critérios estruturais	Treliçada	3.810,94	Mais econômica
A03	Atendeu aos critérios estruturais	<i>Steel deck</i>	1.984,05	-1,20%
A03	Atendeu aos critérios estruturais	Treliçada	2.008,67	1,20%

Fonte: Adaptado de Fernandes e Scariot (2020).

Observa-se que, para o maior vão analisado (A01), apenas a laje *steel deck* apresentou desempenho estrutural satisfatório, atendendo aos limites de deslocamento estabelecidos em Norma. A laje treliçada apresentou flechas superiores ao limite admissível, inviabilizando sua aplicação nessa condição específica. Para as áreas A02 e A03, ambos os sistemas atenderam às exigências estruturais, sendo que a diferença de custo variou conforme o vão analisado. Na área A02, a laje treliçada apresentou menor custo, enquanto na área A03 a diferença foi pouco significativa, com leve vantagem para o sistema *steel deck*.

2.4.2 Moura (2023)

Moura (2023), no artigo intitulado *Lajes maciças, treliçadas e nervuradas: análise comparativa*, publicado na Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC), desenvolveu estudo com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural e o consumo de materiais de diferentes sistemas de lajes, incluindo a laje treliçada, a partir de parâmetros técnicos e normativos.

A metodologia adotada consistiu na análise comparativa de lajes com dimensões típicas de edificações residenciais, considerando diferentes configurações de vãos (3,0 m × 3,0 m; 3,0 m × 4,0 m; 3,0 m × 5,0 m; 3,0 m × 6,0 m). O dimensionamento foi realizado conforme a ABNT NBR 6118:2018, considerando classe de agressividade ambiental II, concreto classe C25 e aço

CA-50. As verificações contemplaram estados limites último e de serviço, incluindo análise de momentos fletores, esforços cortantes e controle de flechas.

Os resultados indicaram que a laje treliçada apresentou redução significativa no consumo de concreto quando comparada aos sistemas maciço e nervurado. De acordo com o estudo, as lajes maciças consumiram, em média, 23,71% mais concreto que as treliçadas, enquanto as nervuradas apresentaram consumo aproximadamente 21,43% superior. Além disso, verificou-se redução do peso próprio da laje treliçada em relação aos demais sistemas analisados.

O autor concluiu que a laje treliçada apresenta desempenho estrutural satisfatório dentro das dimensões estudadas, com vantagens relacionadas à redução de peso e consumo de materiais. Entretanto, ressalta-se que a escolha do sistema deve considerar as condições específicas de projeto e as exigências normativas quanto ao controle das deformações.

2.4.3 Nascimento e Trindade (2024)

Nascimento e Trindade (2024), no trabalho intitulado *Dimensionamento de lajes mistas de aço-concreto baseado na NBR 8800*, desenvolveram estudo com o objetivo de ampliar o referencial bibliográfico acerca do sistema *steel deck* e apresentar o procedimento de dimensionamento conforme as prescrições da ABNT NBR 8800:2008, contemplando as verificações nos estados limites último e de serviço .

A metodologia adotada consistiu inicialmente em revisão bibliográfica das Normas técnicas aplicáveis ao sistema, especialmente a NBR 8800, com detalhamento das verificações na fase inicial (antes da cura do concreto) e na fase final (com atuação conjunta aço–concreto). Foram abordadas as verificações de momento fletor, cisalhamento longitudinal, cisalhamento vertical e punção, além da análise do deslocamento vertical máximo admissível. Para aplicação prática, foi considerado um pavimento tipo com área de 81 m², utilizado como base para o dimensionamento.

No dimensionamento da laje *steel deck*, foi adotada a fôrma MF-75, com altura de 75 mm e espessura de 1,25 mm, aço com resistência ao escoamento de 280 MPa, resultando em laje com altura total de 15 cm. O concreto especificado apresentou resistência característica de 20 MPa. Após as verificações exigidas em Norma e no manual do fabricante, obteve-se o seguinte resumo para a laje mista: altura de 15 cm, peso próprio de 2,79 kN/m² e consumo de concreto de 9,1125 m³ .

Os resultados indicaram que o sistema *steel deck* apresentou desempenho estrutural adequado às condições de projeto analisadas, atendendo às exigências normativas quanto à

resistência e aos deslocamentos. O estudo ressaltou como vantagens do sistema a redução de escoramentos, maior rapidez executiva e racionalização do processo construtivo. Entretanto, observou-se que a escolha do método construtivo deve considerar fatores adicionais, como logística, disponibilidade de mão de obra e prazo de execução .

Concluiu-se que o sistema *steel deck* constitui solução tecnicamente viável e normativamente consolidada, apresentando desempenho estrutural satisfatório quando corretamente dimensionado. A relevância desse trabalho para a presente pesquisa reside no aprofundamento técnico do dimensionamento da laje *steel deck* conforme a NBR 8800, fornecendo embasamento normativo e parâmetros quantitativos que auxiliam na análise comparativa proposta neste estudo.

2.5 SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

2.5.1 Concreto

O concreto é um material composto por cimento Portland, agregados miúdos e graúdos, água e, eventualmente, aditivos ou adições minerais. A hidratação do cimento leva à formação de um aglomerante que envolve os agregados, conferindo ao material grande capacidade de resistir a esforços de compressão. Por outro lado, a resistência à tração do concreto é reduzida, geralmente, entre 8% e 12% da resistência à compressão (PINHEIRO, 2007).

2.5.2 Massa específica

Concretos especiais, com agregados leves ou pesados, podem apresentar massa específica diferente; contudo, o valor de 2.400 kg/m³ é amplamente utilizado em obras usuais (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A densidade do concreto varia conforme o tipo de agregados utilizados. A Norma NBR 6118:2023 recomenda adotar 2.400 kg/m³ para concreto simples e 2.500 kg/m³ para concreto armado na ausência de ensaios específicos (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). A NBR 6118:2023 também permite a consideração de densidades entre 2.000 e 2.800 kg/m³, sendo 2.400 kg/m³ um valor típico para concretos de uso geral.

2.5.3 Resistência mecânica à compressão

A resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) é determinada por ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos aos 28 dias. Valores típicos empregados em obras de pequeno porte variam entre 20 MPa e 35 MPa, enquanto concretos de alta resistência podem atingir valores superiores a 50 MPa.

2.5.4 Resistência à tração

A resistência do concreto à tração é significativamente inferior à sua resistência à compressão, sendo que o concreto fissura quando submetido a esforços de tração antes de atingir a sua máxima resistência à compressão. Esse comportamento justifica a utilização de armaduras para resistir às forças de tração em elementos flexionados (PINHEIRO, 2007).

O aço empregado em armaduras de concreto armado é um material de elevada resistência à tração e ductilidade. As classes mais utilizadas no Brasil são as CA50 e CA60, com limites de escoamento característicos de 500 MPa e 600 MPa, respectivamente. O módulo de elasticidade do aço de armadura pode ser assumido como 210 GPa (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A combinação do concreto com o aço baseia-se em dois princípios: a aderência entre os materiais e a similaridade dos coeficientes de dilatação térmica. O concreto e o aço apresentam coeficientes de dilatação térmica próximos (aproximadamente $10 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para o concreto e $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para o aço), o que evita tensões internas significativas devido a variações de temperatura e confere ao material composto comportamento solidário (PINHEIRO, 2007).

2.5.5 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade E_{ci} , necessário para a estimativa de deformações, pode ser calculado conforme a expressão prevista no Anexo C da NBR 6118:2023. Para concretos com agregados de gnaiss e idade padrão de 28 dias, utiliza-se:

$$E_{ci} \approx 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \text{ (MPa)} \quad (8)$$

Corrigido por coeficientes que levam em conta o tipo de concreto e o nível de tensão (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural visa garantir a segurança e a funcionalidade das estruturas, verificando os estados-limite último (ELU) e de serviço (ELS), conforme definido pela NBR 6118:2023. O ELU está associado à capacidade resistente máxima da estrutura, incluindo ruptura por flexão, cisalhamento, instabilidade ou perda de aderência; já o ELS está relacionado ao desempenho em serviço, envolvendo limitações de deslocamentos, fissuração e vibrações perceptíveis (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

2.6.1 Segurança e estados-limites

Os estados-limite último e de serviço são verificados por meio de combinações de ações, levando em conta fatores de ponderação que ampliam as ações ou reduzem as resistências. As combinações gerais para o ELU incluem ações permanentes, ações variáveis diretas (sobrecargas de uso, vento), ações variáveis indiretas (deformações impostas, recalques) e ações excepcionais, conforme as prescrições da NBR 6118:2023 (OLIVEIRA JR., 2023). Para o ELS, considera-se o valor de serviço das ações, limitando deformações e fissuras a níveis aceitáveis.

2.6.2 Ações consideradas

As ações que atuam sobre as lajes podem ser classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais.

- Ações permanentes: Incluem o peso próprio da estrutura, o peso de revestimentos e divisórias e outras cargas fixas.
- Ações variáveis diretas: Correspondem às sobrecargas de uso (pessoas, móveis, equipamentos) e às ações de vento.
- Ações variáveis indiretas: Decorrem de deformações impostas, como variações térmicas, retração e fluência do concreto, além de recalques de apoio.
- Ações excepcionais: São aquelas de ocorrência rara, como explosões, incêndios ou impactos acidentais (OLIVEIRA JR., 2023)

2.6.2.1 Ações permanentes

Compreendem o peso próprio dos elementos estruturais, o peso dos revestimentos, das vedações e das instalações fixas. Para o dimensionamento, utiliza-se a densidade adequada de cada material para determinar o carregamento permanente em kN/m^2 .

2.6.2.2 Ações variáveis

As ações variáveis são representadas principalmente pelas sobrecargas de uso, cuja magnitude depende do tipo de ocupação (residencial, comercial, industrial) e é definida pela NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Em edificações comerciais, por exemplo, a Norma recomenda sobrecargas de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para áreas de circulação de público.

Além disso, ações de vento também podem atuar nas lajes, especialmente em edifícios altos, sendo calculadas conforme a NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações. Essas ações variáveis podem ser classificadas em diretas e indiretas. As ações diretas correspondem às próprias sobrecargas de uso (como pessoas e mobiliário) e às ações de vento,

sendo aplicadas diretamente sobre a estrutura e consideradas em diferentes combinações, de acordo com as solicitações mais desfavoráveis.

Já as ações variáveis indiretas incluem os efeitos de retração e fluência do concreto, deformações impostas por variações de temperatura e deslocamentos de apoio. Embora não resultem de cargas externas, essas ações indiretas podem induzir tensões significativas na estrutura e devem ser obrigatoriamente consideradas na verificação dos estados-limite.

2.6.2.3 Ações excepcionais

São ações de ocorrência rara, associadas a situações acidentais, tais como explosões, impactos, colisões ou incêndios. Essas ações são consideradas em combinações específicas de projeto, conforme o Anexo B da NBR 6118:2023.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e comparativa, cujo objetivo principal consiste em analisar, sob a ótica econômica e técnica, dois sistemas estruturais de lajes amplamente utilizados em edificações comerciais: a laje treliçada com enchimento em EPS e a laje *Steel deck*. Embora o dimensionamento estrutural seja apresentado ao longo do capítulo, ressalta-se que ele tem caráter instrumental, pois fornece os quantitativos necessários para a etapa central do estudo, que é a comparação de custos entre os sistemas.

Para garantir equivalência entre as soluções avaliadas, foi adotada como referência uma edificação composta por um pavimento térreo e um mezanino com vãos definidos em projeto estrutural. Ambos os sistemas foram analisados considerando os mesmos vãos estruturais, as mesmas condições de apoio e o mesmo uso da edificação comercial com circulação de público mantendo coerência entre ações permanentes e variáveis. As ações foram definidas conforme a ABNT NBR 6120: 2019 e os critérios de combinações e verificações foram conduzidos com base na ABNT NBR 6118:2023, além das recomendações do fabricante laje *Steel deck*.

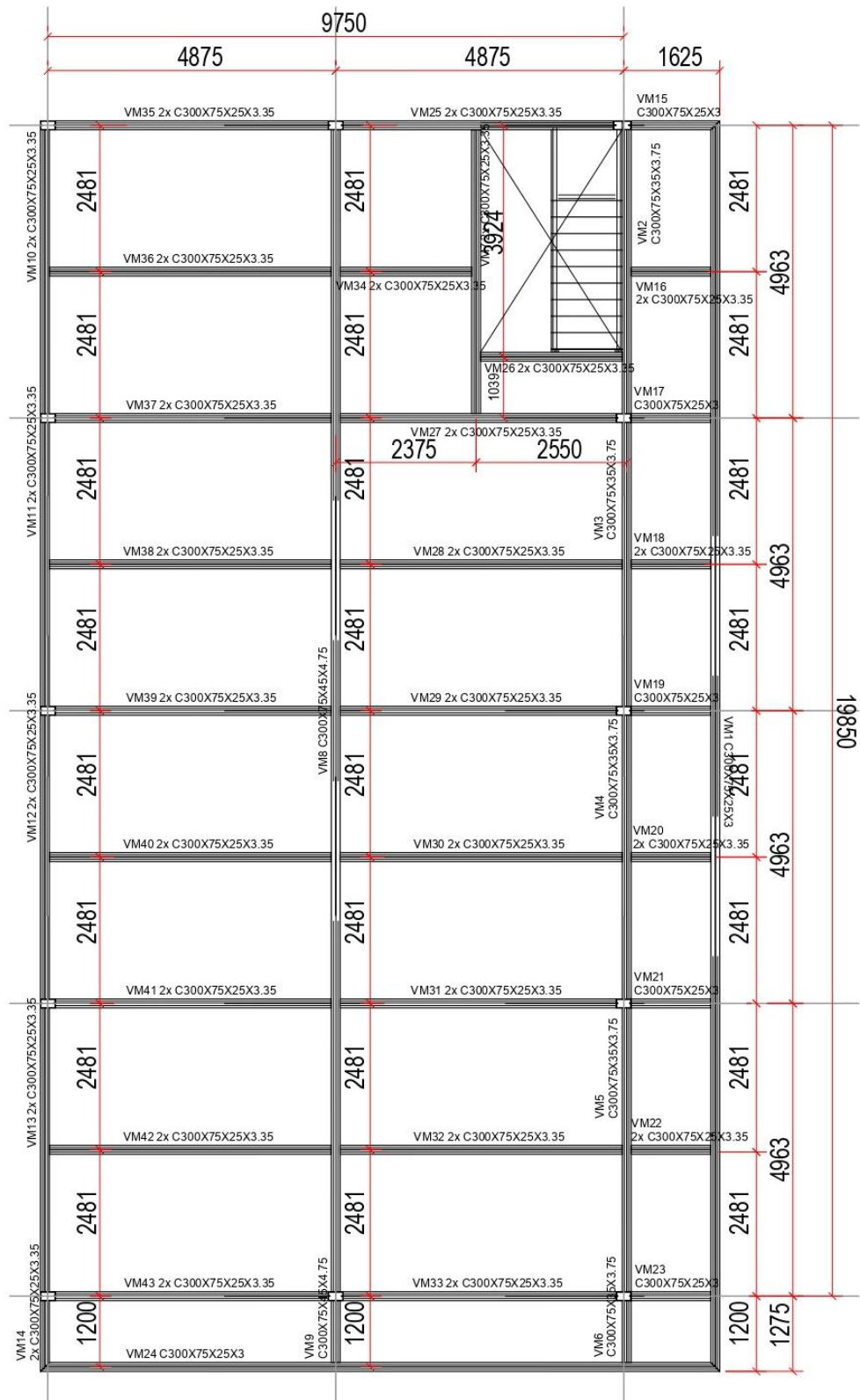
3.1 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA LAJE TRELIÇADA

Para viabilizar a comparação entre os sistemas de laje, procedeu-se ao dimensionamento da laje treliçada considerando mesmos vãos e as mesmas condições de carregamento considerados para a laje mista *Steel deck*. A laje foi modelada como sistema nervurado unidirecional contínuo, apoiado sobre vigas metálicas do mezanino, vencendo o menor vão estrutural da edificação, correspondente a 2,481 m.

A escolha pelo modelo contínuo deveu-se ao fato de a laje estar apoiada em vigas distribuídas ao longo da estrutura, permitindo redistribuição de esforços e redução dos momentos positivos em relação ao modelo simplesmente apoiado. Nessa condição, passam a existir momentos negativos nas regiões de apoio, exigindo a consideração de armadura superior complementar.

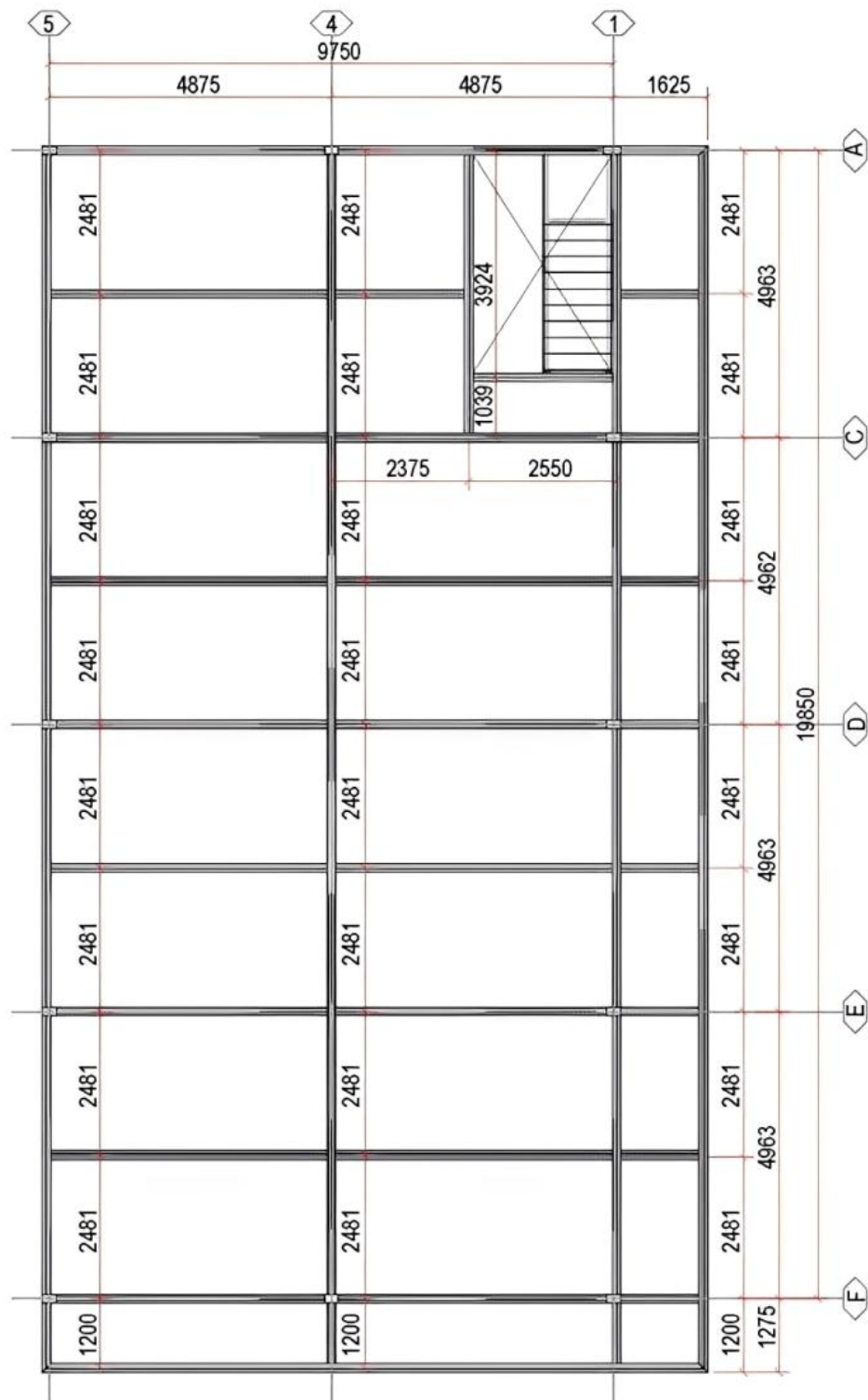
A Figura 7 apresenta a planta estrutural do mezanino, destacando a disposição das vigas e os vãos considerados para o dimensionamento.

Figura 7 – Planta estrutural do mezanino com indicação das vigas e vãos.



Fonte: Autor (2026)

Figura 8 – Disposição estrutural das vigas do mezanino e definição dos vãos principais para dimensionamento das lajes.



Fonte: Autor (2026)

Conforme observado na Figura 8, o mezanino apresenta dois vãos predominantes, sendo um no sentido longitudinal e outro no sentido transversal. A partir dessa identificação, os valores dos vãos utilizados no dimensionamento são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Vãos estruturais do mezanino analisado

Direção	Vão (m)
Longitudinal	2,481
Transversal	4,875

Fonte: Autor (2026)

Observa-se que o menor vão estrutural corresponde a 2,481 m, sendo este adotado como direção principal de trabalho da laje treliçada. Essa escolha proporciona maior eficiência estrutural, uma vez que a redução do vão implica menores momentos fletores e menores deformações em serviço.

Definido o modelo estrutural como laje treliçada unidirecional contínua, procedeu-se à determinação das ações atuantes sobre o sistema. Considerando que o mezanino será destinado a uso comercial com circulação de pessoas, adotou-se uma sobrecarga característica de utilização compatível com essa ocupação, conforme as recomendações da ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

Além disso, foram consideradas as cargas permanentes associadas à composição da laje, incluindo a capa estrutural de concreto, as nervuras das vigotas treliçadas, o enchimento em EPS, a malha de distribuição e o contrapiso de regularização, componentes que contribuem para o carregamento permanente total atuante sobre o sistema estrutural.

3.1.1 Ações atuantes da laje treliçada

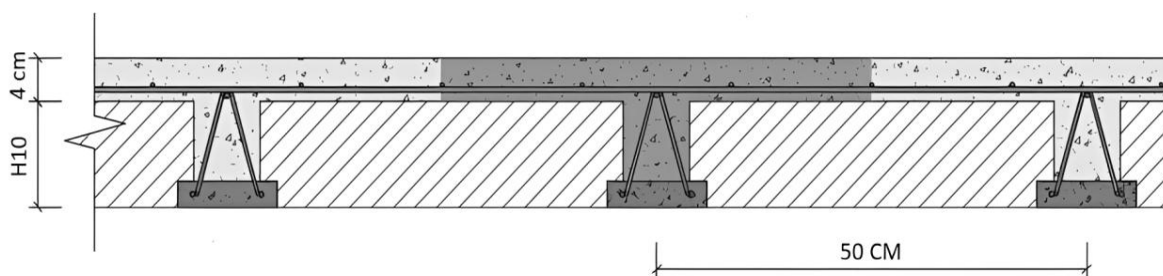
Após a definição da geometria do painel estrutural, procedeu-se à determinação das ações atuantes sobre a laje treliçada, considerando o uso previsto para o mezanino e a composição estrutural adotada. As ações foram classificadas em permanentes e variáveis, conforme estabelecido pela ABNT NBR 6120:2019.

O mezanino foi caracterizado como área de uso comercial destinada à circulação de pessoas, não sendo previsto armazenamento de materiais ou estocagem significativa. De acordo

com a ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações, áreas comerciais com circulação de público apresentam sobrecargas de utilização inferiores às adotadas para áreas de armazenamento. Considerando o uso previsto para a edificação e buscando manter coerência com as prescrições normativas aplicáveis, adotou-se a seguinte sobrecarga característica de utilização para o dimensionamento estrutural da laje: ($Q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$).

A laje treliçada considerada é composta por vigotas treliçadas H10, enchimento em EPS, capa estrutural de concreto com espessura de 4 cm, intereixo entre vigotas de 50 cm e contrapiso de regularização de 3 cm. A definição dessa seção foi realizada após verificação da compatibilidade estrutural com o vão adotado e com as solicitações previstas para o uso comercial, conforme mostrado na figura 9.

Figura 9 – Seção transversal da laje treliçada.



Fonte: Autor (2026)

As cargas permanentes foram determinadas a partir do peso específico do concreto (adotado como 25 kN/m^3) e de estimativas usuais de mercado para os demais componentes estruturais.

A Tabela 3 apresenta a composição das cargas permanentes G_k adotadas:

Tabela 3 – Composição das cargas permanentes da laje treliçada

Componente	Premissa adotada	Carga (kN/m²)
Capa estrutural de concreto	4 cm × 25 kN/m³	1,00
Concreto nas nervuras	Intereixo 0,50 m – seção típica	0,50
Enchimento em EPS	Contribuição desprezível	0,02
Malha/armadura de distribuição	Estimativa de mercado	0,03
Contrapiso (acabamento)	3 cm × 25 kN/m³	0,75
Total (G_k)	—	2,30

Fonte: Autor (2026)

3.1.2 Combinações de ações no estado limite último (ELU)

Para as verificações estruturais, foram adotadas combinações de ações nos Estados Limites Últimos (ELU) e de Serviço (ELS), conforme critérios usuais de projeto.

$$\begin{aligned}
 q_d &= 1,35G_k + 1,50Q_k \\
 q_d &= 1,35(2,30) + 1,50(3,00) \\
 q_d &= 3,105 + 4,50 = 7,605 \approx 7,61 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned} \tag{09}$$

3.1.3 Combinações de ações no estado limite de serviço (ELS – Combinação Rara):

$$\begin{aligned}
 q_{ser} &= G_k + Q_k \\
 q_{ser} &= 2,3 + 3,0 \\
 q_{ser} &= 5,3 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned} \tag{10}$$

A carga de cálculo obtida para o ELU será utilizada na determinação dos esforços solicitantes (item 3.1.4), enquanto a combinação de serviço será empregada na verificação das deformações (item 3.2.7).

A Tabela 4 apresenta a síntese das ações características consideradas no dimensionamento.

Tabela 4– Ações características consideradas

Tipo de ação	Valor (kN/m²)
Cargas permanentes (Gk)	2,30
Sobrecarga (Qk)	3,00
Carga Total (Gk + Qk)	5,30

Fonte: Autor (2026)

3.1.4 Determinação dos esforços solicitantes

A determinação dos esforços solicitantes foi realizada considerando o comportamento da laje como elemento estrutural unidirecional contínuo, apoiado sobre vigas metálicas do mezanino. A direção principal de trabalho foi adotada no menor vão (2,481 m), conforme definido na etapa geométrica.

Para fins de dimensionamento preliminar e obtenção de quantitativos coerentes, adotou-se um modelo simplificado equivalente ao de viga contínua submetida a carregamento uniformemente distribuído. Os coeficientes utilizados para estimativa dos momentos fletores são derivados da teoria clássica das vigas contínuas e amplamente empregados em pré-dimensionamentos, sendo adequados ao nível de detalhamento requerido neste estudo.

Considerando faixa de cálculo de 1,00 m de largura, a carga linear equivalente é:

$$w_d = q_d \cdot 1,00 = 5,30 \text{ kN/m} \quad (11)$$

O vão adotado é: $L = 2,481 \text{ m}$

Inicialmente calcula-se:

$$L^2 = (2,481)^2 = 6,156 \text{ m}^2$$

Para estimativa do momento positivo em elemento contínuo sob carga distribuída, adotou-se:

$$M_+ = \frac{w_d L^2}{12}$$

$$M_+ = \frac{5,3 \cdot 6,156}{12}$$

$$M_+ = \frac{32,63}{12}$$

$$M_+ \approx 2,72 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{m} \quad (12)$$

Para estimativa do momento negativo em apoios internos de elemento contínuo sob carga distribuída, adotou-se:

$$\begin{aligned} M_- &= \frac{w_d L^2}{10} \\ M_- &= \frac{5,3 \cdot 6,156}{10} \\ M_- &= \frac{32,63}{10} \\ M_- &\approx 3,26 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{m} \end{aligned} \quad (13)$$

O esforço cortante máximo junto aos apoios foi estimado por:

$$\begin{aligned} V_{sd} &= \frac{w_d L}{2} \\ V_{sd} &= \frac{5,3 \cdot 2,481}{2} \\ V_{sd} &= \frac{13,15}{2} \\ V_{sd} &\approx 6,57 \text{ kN}/\text{m} \end{aligned} \quad (14)$$

A Tabela 5 apresenta a síntese dos esforços solicitantes obtidos.

Tabela 5 – Esforços solicitantes na laje treliçada (ELU)

Solicitação	Valor
(M₊) (vão)	2,72 kN·m/m
(M₋) (apoio)	3,26 kN·m/m
(V_{sd}) (cortante)	6,57 kN/m

Fonte: Autor (2026)

Ressalta-se que o objetivo desta etapa é a obtenção de valores representativos das solicitações estruturais para subsidiar o dimensionamento das armaduras e a quantificação de materiais. O emprego de coeficientes simplificados encontra respaldo na prática de pré-dimensionamento estrutural e é compatível com o escopo deste trabalho, cujo foco principal é na comparação técnico-econômica entre sistemas de lajes.

Para análises estruturais de maior refinamento, seria possível empregar modelagem computacional ou análise matricial, entretanto tal abordagem ultrapassa o nível de detalhamento necessário à finalidade deste estudo.

3.1.5 Dimensionamento das armaduras

O dimensionamento das armaduras da laje treliçada foi realizado com base nas solicitações obtidas no Estado Limite Último (ELU), conforme apresentado no item 3.1.2, adotando-se os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023 para elementos submetidos à flexão simples.

A laje foi analisada como elemento unidirecional nervurado, considerando faixa unitária de 1,00 m de largura, procedimento usual para lajes desse tipo. A seção estrutural adotada é composta por vigota treliçada H10 e capa estrutural de concreto com espessura de 4 cm, resultando em altura total de 14 cm.

Adotou-se concreto com resistência característica: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Para as armaduras, considerou-se aço CA-50: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Aplicando o coeficiente parcial de segurança do aço ($\gamma_s = 1,15$):

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa} \quad (15)$$

A altura total da seção é: $h = 140 \text{ mm}$

Considerando cobrimento nominal de 20 mm e diâmetro médio da armadura inferior da ordem de 6 mm:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{cobrimento} - \frac{\phi}{2} \\ d &= 140 - 20 - 3 = 117 \text{ mm} \end{aligned} \quad (16)$$

Adotou-se, de forma conservadora: $d = 115 \text{ mm}$

O braço de alavanca interno pode ser aproximado por:

$$z = 0,9d = 0,9 \times 115 = 103,5 \text{ mm} \quad (17)$$

Para elementos submetidos à flexão simples, a NBR 6118:2023 estabelece que a área de aço pode ser obtida por:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{0,87 f_{yd} z} \quad (18)$$

Os momentos obtidos no item 3.1.3 foram:

$$\begin{aligned} M_{sd+} &= 2,72 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \\ M_{sd-} &= 3,26 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

Convertendo para N·mm e aplicando a expressão acima, obtêm-se as áreas de aço apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Área de aço requerida para flexão (ELU)

Região analisada	Momento de cálculo (M_{sd}) (kN·m/m)	Área de aço requerida (A_s) (mm ² /m)
Vão (momento positivo)	2,72	100
Apoio (momento negativo)	3,26	120

Fonte: Autor (2026)

Observa-se que a região de apoio apresenta maior demanda de armadura em função da continuidade estrutural e da inversão do diagrama de momentos fletores.

A verificação da armadura mínima foi realizada conforme estabelecido na ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, especificamente no item referente à taxa mínima de armadura para elementos submetidos à flexão.

Para aço CA-50 ou CA-60, a taxa geométrica mínima pode ser adotada como:

$$\rho_{min} = 0,0015$$

A área mínima de armadura por metro de largura da laje é determinada por:

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Substituindo os valores adotados no dimensionamento:

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= 0,0015 \times 1000 \times 115 \\ A_{s,min} &= 172,5 \text{ mm}^2/\text{m} \end{aligned} \quad (19)$$

Como:

$$\begin{aligned} A_{s+} &= 100 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} < A_{s,min} \\ A_{s-} &= 120 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} < A_{s,min} \end{aligned}$$

Verifica-se, portanto, que o dimensionamento passa a ser governado pela armadura mínima, uma vez que as solicitações de flexão resultantes do uso comercial são inferiores às necessárias para superar o limite mínimo estabelecido pela Norma.

A definição da armadura adotada buscou compatibilizar os valores requeridos com soluções usuais de mercado e, simultaneamente, permitir a obtenção de quantitativos consistentes para a análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais.

Na região de vão, a armadura inferior é fornecida pela própria vigota treliçada H10, cuja armadura incorporada atende com folga à demanda de momento positivo estimada.

Na capa estrutural adotou-se malha soldada Q96, com área aproximada de 96 mm²/m, atuando como armadura de distribuição e controle de fissuração.

Para as regiões de apoio, a malha Q96 foi complementada por reforço superior constituído por barras Ø10 mm espaçadas a cada 60 cm, resultando em área adicional aproximada de 131 mm²/m. Dessa forma, a área total disponível na região de apoio é aproximadamente 227 mm²/m, valor significativamente superior à armadura mínima requerida.

Com base nas solicitações estruturais obtidas e na verificação da armadura mínima conforme a ABNT NBR 6118:2023, definiu-se o arranjo de armaduras adotado para a laje treliçada, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Armadura adotada para a laje treliçada

Região / Finalidade	Solicitação predominante	Armadura adotada	Justificativa técnica e econômica
Vão (flexão positiva)	$(M_{sd+}=2,72\backslash$ kN·m/m)	Armadura inferior incorporada à vigota H10	Solução comercial padronizada, com fornecimento industrial e fácil quantificação no orçamento.
Distribuição na capa	Controle de fissuração	Malha Q96	Padronização executiva e quantificação direta em kg/m ² para análise de custos.
Apoios (flexão negativa)	$(M_{sd-}=3,26\backslash$ kN·m/m)	Ø10 mm c/60 cm (reforço superior complementar)	Complementa a Q96, atingindo (As) requerido e mantendo solução simples para execução e orçamento.

Fonte: Autor (2026)

A seção adotada demonstrou atender adequadamente às solicitações estruturais previstas para uso comercial, garantindo segurança no Estado Limite Último (ELU) e adequado controle de fissuração. A escolha de armaduras padronizadas — vigotas comerciais e malha Q96 — associadas a reforço localizado simples, permite estimar com precisão o consumo de aço por metro quadrado, aspecto essencial para a etapa subsequente de comparação econômica entre a laje treliçada e o sistema *Steel deck*.

3.1.6 Modelo adotado para estimativa da flecha

Para estimativa preliminar da deformação máxima, adotou-se modelo simplificado de viga biapoiada submetida a carregamento uniformemente distribuído:

$$\delta_{max} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (20)$$

Ressalta-se que a laje apresenta continuidade estrutural, o que reduz a flecha real em relação ao modelo biapoiado. Portanto, a adoção desta formulação constitui abordagem conservadora e adequada ao nível de detalhamento do estudo.

O módulo de elasticidade do concreto foi estimado por:

$$E_c \approx 30 \text{ GPa} = 30 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \quad (21)$$

Para efeito de simplificação e comparação entre sistemas, considerou-se a seção equivalente com altura total estrutural de 14 cm: $h = 0,14 \text{ m}$

A inércia bruta por metro de largura pode ser estimada por:

$$\begin{aligned} I &= \frac{bh^3}{12} \\ I &= \frac{1 \cdot (0,14)^3}{12} \\ I &= \frac{0,002744}{12} \\ I &\approx 2,29 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned} \quad (22)$$

Inicialmente calcula-se:

$$L^4 = (2,481)^4 \approx 38,00 \text{ m}^4 \quad (23)$$

Substituindo na equação:

$$\begin{aligned} \delta_{max} &= \frac{5 \cdot 9.800 \cdot 38,00}{384 \cdot 30 \times 10^9 \cdot 2,29 \times 10^{-4}} \\ \delta_{max} &\approx 0,71 \text{ mm} \end{aligned} \quad (24)$$

Para lajes de edificações usuais, pode-se adotar como referência limite de flecha:

$$\begin{aligned} \frac{L}{350} \\ \frac{2,481}{350} = 7,09 \text{ mm} \end{aligned} \quad (25)$$

Comparando: $\delta_{max} = 0,71 \text{ mm} \ll 7,09 \text{ mm}$

Verifica-se que a deformação estimada é significativamente inferior ao limite admissível, indicando que a seção adotada apresenta rigidez suficiente para o uso previsto como comercial. Destaca-se ainda que a análise foi conduzida de forma conservadora, considerando modelo biapoiado e inércia bruta simplificada.

Assim, a laje atende aos critérios de desempenho em serviço, garantindo controle adequado de deformações e comportamento compatível com as exigências funcionais da edificação.

3.1.7 Quantitativos estruturais da laje treliçada

A partir da seção estrutural definida e dos dimensionamentos apresentados nos itens anteriores, procedeu-se ao levantamento dos quantitativos de materiais da laje treliçada. Essa etapa é fundamental para o desenvolvimento da análise comparativa de custos, uma vez que os volumes de concreto e os consumos de aço obtidos servirão como base para a composição orçamentária por metro quadrado.

O volume de concreto foi determinado considerando a contribuição da capa estrutural e das nervuras formadas pelas vigotas, além do contrapiso que, embora não contribua estruturalmente para a resistência à flexão, integra o sistema construtivo do pavimento e influencia diretamente o custo final.

O volume de concreto correspondente à capa estrutural é de aproximadamente 0,04 m³/m². A contribuição das nervuras, considerando entreixo de 50 cm e seção típica compatível com vigota H10, resulta em aproximadamente 0,025 m³/m². O contrapiso de 3 cm acrescenta 0,03 m³/m² ao consumo total.

O volume de concreto da laje treliçada foi estimado a partir da decomposição dos seus elementos constituintes, considerando a capa estrutural, o preenchimento das nervuras e o contrapiso. A Tabela 8 apresenta a composição detalhada do consumo de concreto por metro quadrado, evidenciando a contribuição individual de cada componente para o volume total da laje.

Tabela 8 – Composição do volume de concreto por metro quadrado da laje treliçada

Componente	Espessura/Condição considerada	Volume (m³/m²)
Capa estrutural	4 cm	0,040
Concreto nas nervuras	Intereixo 50 cm – Vigota H10	0,025
Contrapiso	3 cm	0,030
Volume total de concreto	—	0,095

Fonte: Autor (2026)

No que se refere ao consumo de aço, foram considerados três componentes principais: a armadura incorporada às vigotas treliçadas, a malha soldada Q96 utilizada na capa estrutural e o reforço superior localizado sobre os apoios para atendimento ao momento negativo.

O consumo de aço da laje treliçada foi determinado a partir da soma das armaduras responsáveis pelo atendimento aos momentos positivos, momentos negativos, armadura de distribuição (malha soldada) e da armadura incorporada às vigotas treliçadas. A solução estrutural adotada buscou compatibilizar as áreas de aço requeridas com armaduras padronizadas disponíveis no mercado, permitindo simultaneamente a obtenção de quantitativos consistentes para a análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais.

Na região de vão, a armadura inferior é fornecida pela própria vigota treliçada H10, cuja armadura incorporada atende às solicitações de flexão positiva estimadas para a laje.

Na capa estrutural adotou-se malha soldada Q96, com área aproximada de 96 mm²/m por direção, atuando como armadura de distribuição e controle de fissuração.

Para as regiões de apoio, a malha Q96 foi complementada por reforço superior constituído por barras Ø10 mm espaçadas a cada 60 cm, garantindo área de aço suficiente para o atendimento ao momento negativo.

Com base nas armaduras adotadas no dimensionamento, foi realizada a quantificação do consumo de aço por metro quadrado da laje treliçada, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição do consumo de aço por metro quadrado da laje treliçada

Componente	Área de aço adotada	Consumo aproximado (kg/m ²)
Armadura positiva (vão)	Armadura incorporada á vigota H10	1,25
Armadura negativa (apoio)	10 mm c/60 cm	3,25
Malha soldada Q96 (capa estrutural)	96 mm ² /m por direção	4,60

Fonte: Autor (2026)

A adoção da laje treliçada composta por vigota H10 e capa estrutural de concreto com 4 cm de espessura não foi arbitrária, mas fundamentada em critérios de compatibilidade geométrica, resistência estrutural, controle de deformações e racionalidade executiva. Para o vão principal analisado de 2,481 m, essa configuração resultou em altura total de 14 cm, seção suficiente para o atendimento às verificações em Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço, além de representar solução comercial padronizada amplamente utilizada no mercado. A escolha também se mostra adequada do ponto de vista metodológico, por permitir quantificação objetiva dos materiais e posterior comparação econômica com o sistema *Steel deck*.

3.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA LAJE *STEEL DECK*

Com o objetivo de permitir a comparação técnica entre os sistemas estruturais analisados, procedeu-se ao dimensionamento da laje mista *Steel deck* considerando as mesmas condições geométricas e de carregamento adotadas para a laje treliçada. Dessa forma, ambos os sistemas estruturais são avaliados sob premissas equivalentes, permitindo uma análise comparativa coerente entre desempenho estrutural e quantitativos de materiais.

O mezanino analisado apresenta dois vãos principais, sendo adotado como direção de trabalho da laje o menor vão estrutural da edificação, correspondente a 2,481 m, conforme identificado na análise geométrica apresentada anteriormente. A adoção do menor vai como

direção principal de trabalho da laje é uma prática usual no dimensionamento de sistemas unidirecionais, pois proporciona redução dos momentos fletores e das deformações em serviço.

A laje *Steel deck* adotada neste estudo é composta por perfil metálico colaborante trapezoidal, concreto moldado no local e armadura complementar posicionada na capa estrutural. Nesse sistema, o perfil metálico exerce dupla função: durante a execução da obra atua como fôrma permanente, dispensando escoramentos extensivos, e após a cura do concreto passa a atuar como armadura positiva principal da seção, resistindo aos esforços de tração na região inferior da laje. O concreto moldado sobre a chapa metálica absorve os esforços de compressão, caracterizando o comportamento composto aço–concreto típico desse sistema estrutural.

Nas regiões de apoio ocorre inversão do diagrama de momentos fletores, com desenvolvimento de momentos negativos, situação na qual a tração passa a ocorrer na parte superior da seção. Nesses trechos torna-se necessária a utilização de armadura complementar na capa de concreto, responsável pelo controle de fissuração e pela participação resistente nas regiões sujeitas à flexão negativa.

3.2.1 Ações atuantes

A determinação das ações atuantes na laje *Steel deck* foi realizada conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

Considerando que o mezanino analisado será destinado a uso comercial com circulação de pessoas, adotou-se a seguinte sobrecarga característica de utilização:

$$Q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Esse valor corresponde à sobrecarga típica recomendada pela norma para áreas comerciais de circulação de público.

As ações permanentes foram determinadas a partir da composição física do sistema estrutural adotado. A laje mista considerada é composta por:

- Perfil colaborante metálico com altura de 75 mm;
- Concreto moldado sobre a chapa metálica até altura total da laje de 130 mm;

- Armadura de distribuição na capa estrutural;
- Contrapiso de regularização com espessura de 3 cm.

De acordo com o catálogo técnico do perfil colaborante Perfdeck 75, para a configuração adotada no estudo — perfil de 75 mm, chapa metálica com espessura de 0,80 mm e altura total de laje de 130 mm — o consumo médio de concreto estrutural é aproximadamente conforme o catálogo no anexo A:

$$V_c = 0,0787 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Adotando-se para o concreto estrutural peso específico igual a:

$$\gamma_c = 25 \text{ kN}/\text{m}^3$$

obtem-se o peso próprio correspondente ao concreto da laje:

$$\begin{aligned} g_c &= V_c \cdot \gamma_c \\ g_c &= 0,0787 \times 25 \\ g_c &= 1,97 \text{ kN}/\text{m}^2 \end{aligned} \quad (26)$$

Entretanto, considerando a geometria real do perfil metálico, a presença de vazios formados pelas nervuras e pequenas variações construtivas inerentes ao sistema, o catálogo técnico do fabricante indica para essa configuração um peso próprio estrutural médio aproximado de 1,85 kN/m². Esse valor foi adotado no presente estudo como peso próprio estrutural da laje *Steel deck*.

Além do peso próprio estrutural da laje, foi considerado o contrapiso de regularização com espessura de 3 cm. Adotando-se o mesmo peso específico do concreto:

$$\begin{aligned} g_{\text{contrapiso}} &= 0,03 \times 25 \\ g_{\text{contrapiso}} &= 0,75 \text{ kN}/\text{m}^2 \end{aligned} \quad (27)$$

Assim, o carregamento permanente total da laje é dado por:

$$\begin{aligned} G_k &= 1,85 + 0,75 \\ G_k &= 2,60 \text{ kN}/\text{m}^2 \end{aligned} \quad (28)$$

A composição das cargas permanentes consideradas no dimensionamento da laje *Steel deck* é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição das cargas permanentes da laje *Steel deck*

Componente	Premissa adotada	Carga (kN/m ²)
Concreto estrutural + perfil colaborante	Catálogo perfdeck 75	1,85
Contrapiso	3 cm × 25 kn/m ³	0,75
Total (Gk)	—	2,60

Fonte: Autor (2026)

3.2.2 Combinações de ações

As combinações de ações utilizadas nas verificações estruturais foram definidas conforme os critérios da ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto.

Para o Estado Limite Último (ELU) adotou-se conforme a equação 9:

$$q_d = 1,35G_k + 1,50Q_k$$

Substituindo os valores:

$$\begin{aligned} q_d &= 1,35(2,60) + 1,50(3,00) \\ q_d &= 3,51 + 4,50 \\ q_d &= 8,01 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Para o Estado Limite de Serviço (ELS), na combinação rara conforme a equação 10:

$$\begin{aligned} q_{ser} &= G_k + Q_k \\ q_{ser} &= 2,60 + 3,00 \\ q_{ser} &= 5,60 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

3.2.3 Determinação dos esforços solicitantes

A determinação dos esforços solicitantes foi realizada considerando o comportamento da laje como elemento estrutural unidirecional contínuo, apoiado sobre vigas metálicas do mezanino.

Para fins de análise estrutural adotou-se um modelo simplificado equivalente ao de viga contínua submetida a carregamento uniformemente distribuído, considerando faixa de cálculo de 1,00 m de largura. Esse procedimento é amplamente utilizado em análises preliminares de lajes unidirecionais e permite estimar de forma consistente os momentos fletores e esforços cortantes atuantes no painel estrutural.

A carga linear de cálculo no ELU é:

$$\begin{aligned}w_d &= q_d \cdot 1,00 \\w_d &= 8,01 \text{ kN/m}\end{aligned}\tag{29}$$

O vão adotado é:

$$L = 2,481 \text{ m}$$

Calcula-se inicialmente:

$$L^2 = (2,481)^2 = 6,156\tag{30}$$

Momento positivo no vão conforme a equação 12:

$$\begin{aligned}M_{sd+} &= \frac{w_d L^2}{12} \\M_{sd+} &= \frac{8,01 \times 6,156}{12} \\M_{sd+} &\approx 4,11 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

Momento negativo nos apoios conforme a equação 13:

$$\begin{aligned}M_{sd-} &= \frac{w_d L^2}{10} \\M_{sd-} &= \frac{8,01 \times 6,156}{10} \\M_{sd-} &\approx 4,93 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

Esforço cortante máximo conforme a equação 14:

$$\begin{aligned}V_{sd} &= \frac{w_d L}{2} \\V_{sd} &\approx 9,94 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

3.2.4 Verificação resistente da laje *Steel deck*

O dimensionamento da laje *Steel deck* foi realizado considerando o comportamento composto aço–concreto após a cura do concreto.

Nesse sistema estrutural, o perfil metálico atua como armadura positiva principal, enquanto o concreto absorve predominantemente os esforços de compressão. Assim, a verificação resistente no Estado Limite Último é expressa pela condição:

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

em que:

- M_{sd} representa o momento solicitante de cálculo obtido na análise estrutural;
- M_{Rd} representa o momento resistente da seção mista.

No presente estudo, o valor de M_{Rd} não foi obtido por formulação analítica direta, mas sim a partir das tabelas de capacidade resistente fornecidas no catálogo técnico do fabricante do perfil colaborante Perfdeck 75.

Essas tabelas apresentam a capacidade resistente do sistema *Steel deck* em função de:

- Altura total da laje;
- Espessura da chapa metálica;
- Resistência do concreto;
- Condições de aplicação do sistema.

Considerando a configuração adotada neste trabalho — perfil Perfdeck 75, chapa de 0,80 mm, altura total da laje de 130 mm e concreto com $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ — o valor de M_{Rd} foi obtido diretamente do catálogo técnico correspondente a essa condição de aplicação.

Assim, a verificação estrutural no ELU foi conduzida confrontando os momentos solicitantes calculados com a capacidade resistente indicada pelo fabricante para a mesma configuração geométrica e de material.

3.2.5 Verificação no Estado Limite Último (ELU)

A verificação no Estado Limite Último (ELU) tem como objetivo assegurar que a estrutura apresenta resistência suficiente para suportar as ações de cálculo consideradas no projeto.

No caso da laje mista *Steel deck*, a resistência à flexão positiva é garantida pela atuação conjunta entre o perfil metálico colaborante e o concreto moldado no local, formando uma seção composta aço-concreto. Nessa configuração, o perfil metálico funciona como armadura principal de tração, enquanto o concreto resiste predominantemente aos esforços de compressão.

A verificação estrutural é expressa pela condição geral de segurança:

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

Onde:

M_{sd} – Momento solicitante de cálculo obtido a partir da análise estrutural;

M_{Rd} – Momento resistente de cálculo da seção mista aço-concreto.

Os momentos solicitantes obtidos na análise estrutural do painel de laje foram:

$$\begin{aligned} M_{sd+} &= 4,11 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \\ M_{sd-} &= 4,93 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

O valor do momento resistente M_{Rd} foi obtido a partir das tabelas de capacidade resistente fornecidas no catálogo técnico do fabricante do perfil colaborante Perfdeck 75, considerando a configuração adotada no presente estudo:

- Perfil colaborante de 75 mm
- Chapa metálica de 0,80 mm
- Altura total da laje de 130 mm
- Concreto com resistência característica $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Essas tabelas apresentam a capacidade resistente do sistema *Steel deck* em função da geometria da laje, espessura da chapa e resistência do concreto, sendo amplamente utilizadas na prática de dimensionamento desse tipo de sistema estrutural.

Dessa forma, procedeu-se à verificação utilizando o catálogo técnico do fabricante Perfdeck 75, apresentado no Anexo A. Para a configuração adotada neste trabalho — perfil colaborante Perfdeck 75, chapa metálica de 0,80 mm, altura total da laje de 130 mm e vão aproximado de 2,50 m — a tabela de cargas admissíveis indica capacidade de:

$$q_{adm} = 904 \text{ kgf/m}^2$$

considerando a execução da laje sem escoramento durante a concretagem.

Convertendo o valor para unidades do Sistema Internacional:

$$q_{adm} = 904 \times 0,00981$$

$$q_{adm} \approx 8,87 \text{ kN/m}^2$$

A carga de cálculo considerada na análise estrutural foi:

$$q_d = 8,01 \text{ kN/m}^2$$

Comparando os valores obtidos:

$$q_d < q_{adm}$$

$$8,01 < 8,87$$

Verifica-se, portanto, que a capacidade resistente da laje Steel Deck indicada no catálogo do fabricante é superior à carga de cálculo considerada, atendendo aos critérios de segurança estrutural.

Assim, a verificação no Estado Limite Último foi realizada confrontando os momentos solicitantes obtidos na análise estrutural com o momento resistente indicado no catálogo técnico do fabricante para a configuração adotada.

Como os momentos solicitantes calculados são inferiores à capacidade resistente correspondente do sistema, conclui-se que a laje *Steel deck* atende aos critérios de segurança estabelecidos para o Estado Limite Último.

3.2.6 Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)

A verificação no Estado Limite de Serviço (ELS) tem como objetivo avaliar o comportamento da estrutura em condições normais de utilização, garantindo desempenho adequado quanto a deformações, fissuração e funcionamento da edificação.

Para essa verificação foi adotada a combinação rara de ações, conforme estabelecido pela ABNT NBR 6118:2023 :

Substituindo os valores adotados no dimensionamento conforme a equação 10:

$$\begin{aligned}q_{ser} &= 2,60 + 3,00 \\q_{ser} &= 5,60 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Considerando faixa de cálculo de 1,00 m de largura, obtém-se a carga linear de serviço:

$$w_{ser} = 5,60 \text{ kN/m}$$

A partir desse carregamento e do vão estrutural analisado ($L = 2,481 \text{ m}$), foram estimados os esforços solicitantes em serviço.

Momento positivo:

$$M_{ser+} \approx 2,87 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

Momento negativo:

$$M_{ser-} \approx 3,45 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

Esses valores representam as solicitações atuantes no painel estrutural em condições normais de utilização.

No que se refere às deformações, pode-se adotar como limite de flecha para lajes usuais a relação:

Substituindo o vão analisado conforme a equação 25:

$$\begin{aligned}\delta_{adm} &= \frac{2481}{350} \\ \delta_{adm} &= 7,09 \text{ mm}\end{aligned}$$

Considerando que o sistema *Steel deck* apresenta elevada rigidez devido à atuação conjunta entre o perfil metálico e o concreto, além da continuidade estrutural do painel, conclui-se que a solução adotada apresenta comportamento compatível com os limites de deformação admissíveis para o uso comercial da edificação.

3.2.7 Limite de deformação admissível

O dimensionamento da armadura da laje *Steel deck* foi realizado considerando o comportamento estrutural composto entre o perfil metálico colaborante e o concreto moldado no local. Esse comportamento caracteriza um sistema estrutural misto aço–concreto, no qual o perfil metálico atua como armadura resistente à tração na região inferior da seção, enquanto o concreto resiste predominantemente aos esforços de compressão.

Esse princípio de funcionamento das estruturas mistas está descrito na ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto, que estabelece que, em elementos mistos submetidos à flexão, a resistência da seção resulta da interação entre o aço e o concreto, sendo o aço responsável pela absorção das tensões de tração e o concreto pelas tensões de compressão.

No caso específico das lajes *Steel deck*, a chapa metálica perfilada exerce dupla função estrutural: durante a fase construtiva atua como fôrma permanente, e após a cura do concreto passa a atuar como armadura principal da seção composta, contribuindo para a resistência à flexão positiva da laje.

Dessa forma, diferentemente das lajes de concreto armado convencionais, não há necessidade de armadura inferior adicional, pois a própria chapa metálica perfilada desempenha essa função estrutural.

A verificação da necessidade de armadura superior está associada ao comportamento do painel estrutural sob carregamento. Conforme demonstrado na análise estrutural apresentada no item anterior, a laje foi modelada como elemento unidirecional contínuo apoiado sobre vigas metálicas, resultando no desenvolvimento de momentos fletores positivos nos vãos e momentos fletores negativos nas regiões de apoio.

Essa inversão do diagrama de momentos fletores pode ser observada diretamente nos valores obtidos na determinação dos esforços solicitantes, onde foram calculados:

$$M_{sd+} = 4,11 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$M_{sd-} = 4,93 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

A presença de momento negativo indica que, nas regiões de apoio, a tração ocorre na parte superior da seção, o que torna necessária a adoção de armadura na capa de concreto para garantir o adequado comportamento estrutural nesses trechos.

Além da função estrutural nas regiões de momento negativo, a armadura posicionada na capa da laje também desempenha papel fundamental no controle da fissuração do concreto, conforme estabelecido na ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto, que recomenda a utilização de armadura mínima em elementos de concreto submetidos à flexão com o objetivo de limitar a abertura de fissuras e garantir o adequado desempenho em serviço.

Para a configuração adotada neste estudo — perfil colaborante Perfdeck 75, espessura da chapa metálica de 0,80 mm, altura total da laje de 130 mm e concreto com resistência característica $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ — o catálogo técnico do fabricante do perfil colaborante recomenda a utilização de malha soldada Q75 posicionada na capa estrutural da laje.

As recomendações de armadura presentes no catálogo do fabricante são obtidas a partir de ensaios experimentais e análises estruturais do sistema *Steel deck*, sendo usualmente utilizadas no dimensionamento desse tipo de solução construtiva.

A malha soldada Q75 apresenta área de aço aproximada de $75 \text{ mm}^2/\text{m}$ em cada direção, sendo adequada para:

- Controle de fissuração da capa de concreto;
- Distribuição das tensões superficiais da laje;
- Contribuição resistente nas regiões sujeitas a momento negativo.

Assim, a armadura adotada na laje *Steel deck* do presente estudo é composta por:

- Perfil metálico colaborante Perfdeck 75, atuando como armadura principal de tração para momentos positivos;
- Malha soldada Q75, posicionada na capa estrutural para controle de fissuração e participação nas regiões sujeitas a momento negativo.

Dessa forma, a solução estrutural adotada está em conformidade com:

- O comportamento estrutural previsto para sistemas mistos aço–concreto descrito na ABNT NBR 8800:2024;
- Os critérios de controle de fissuração estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023;

- As recomendações técnicas do catálogo do fabricante do perfil colaborante Perfdeck 75.

Dessa forma, a solução estrutural adotada para a laje *Steel deck* — composta por perfil colaborante Perfdeck 75, chapa metálica com espessura de 0,80 mm, altura total da laje de 130 mm, concreto estrutural com resistência característica $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ e armadura complementar constituída por malha soldada Q75 na capa estrutural — apresenta comportamento compatível com as solicitações estruturais obtidas na análise do painel de laje.

Considerando os momentos fletores calculados para o vão analisado, bem como as recomendações de armadura presentes no catálogo técnico do fabricante e os critérios de controle de fissuração estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023, conclui-se que a configuração adotada atende aos requisitos estruturais do sistema misto aço–concreto.

Além disso, a altura total da laje de 130 mm, associada ao perfil colaborante Perfdeck 75, encontra-se dentro das condições de aplicação recomendadas pelo fabricante para o sistema *Steel deck*, apresentando capacidade resistente adequada para o vão de 2,481 m analisado neste estudo.

Dessa forma, pode-se afirmar que a solução estrutural adotada para a laje *Steel deck* é tecnicamente adequada para o uso comercial do mezanino, atendendo às exigências de segurança estrutural e desempenho previstas para o sistema analisado.

3.3 QUANTITATIVOS ESTRUTURAIS DA LAJE *STEEL DECK*

A partir da configuração estrutural adotada e das verificações realizadas nos itens anteriores, procedeu-se ao levantamento dos quantitativos de materiais da laje mista *Steel deck*. Essa etapa é fundamental para a consolidação da análise comparativa de custos, uma vez que os consumos de concreto e aço por metro quadrado servirão de base para a composição orçamentária do sistema.

O sistema estrutural analisado é composto por perfil colaborante metálico Perfdeck 75, chapa com espessura de 0,80 mm, concreto estrutural moldado no local até altura total de 130 mm e armadura complementar na capa estrutural. Os quantitativos foram determinados com base nas características geométricas do sistema e nas informações técnicas disponibilizadas no catálogo do fabricante do perfil colaborante.

3.3.1 Volume de concreto

O volume de concreto estrutural foi obtido a partir das informações técnicas fornecidas pelo fabricante para a configuração adotada. De acordo com o catálogo técnico do perfil colaborante Perfdeck 75, considerando altura total da laje de 130 mm, o consumo médio de concreto estrutural — correspondente à soma da capa de concreto com o preenchimento das nervuras formadas pelo perfil metálico — é aproximadamente:

$$V_{\text{estrutural}} = 0,0787 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Esse volume refere-se apenas ao concreto estrutural da laje mista, não incluindo o contrapiso de regularização executado sobre o pavimento.

Considerando adicionalmente o contrapiso com espessura de 3 cm, adotado para regularização e acabamento do piso do mezanino, obtém-se:

$$V_{\text{contrapiso}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Assim, o volume total de concreto por metro quadrado da laje *Steel deck* é dado por:

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= V_{\text{estrutural}} + V_{\text{contrapiso}} \\ V_{\text{total}} &= 0,0787 + 0,03 \\ V_{\text{total}} &\approx 0,109 \text{ m}^3/\text{m}^2 \end{aligned} \tag{31}$$

Esse valor representa o volume total de concreto utilizado no sistema de laje por unidade de área do pavimento.

3.3.2 Consumo de aço

O consumo de aço da laje *Steel deck* é composto principalmente por dois elementos estruturais:

perfil metálico colaborante, responsável pela resistência à tração na região inferior da laje e atuando também como fôrma permanente;

armadura complementar posicionada na capa de concreto, constituída por malha soldada destinada ao controle de fissuração e distribuição de tensões.

De acordo com o catálogo técnico do fabricante do perfil colaborante, o peso próprio do perfil Perfdeck 75 com espessura de chapa de 0,80 mm é aproximadamente:

$$P_{\text{perfil}} \approx 8,5 \text{ kg/m}^2$$

Para a armadura superior da laje foi adotada malha soldada Q75, cuja massa média é da ordem de:

$$P_{malha} \approx 1,6 \text{ kg/m}^2$$

Assim, o consumo total estimado de aço por metro quadrado da laje *Steel deck* é:

$$P_{total} = P_{perfil} + P_{malha} \quad (32)$$

$$P_{total} = 8,5 + 1,6$$

$$P_{total} \approx 10,1 \text{ kg/m}^2$$

Os quantitativos consolidados neste item serão utilizados como base para a análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais no capítulo seguinte.

3.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DIRETOS DAS LAJE

Com o objetivo de viabilizar a comparação econômica entre os sistemas estruturais analisados, procedeu-se ao levantamento dos custos diretos por metro quadrado das lajes treliçada e *Steel deck*.

Para garantir rastreabilidade, transparência metodológica e aderência a parâmetros públicos de referência, adotou-se como base principal o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), complementado, quando necessário, por orçamento direto de fornecedor para itens não contemplados adequadamente pelo sistema.

Destaca-se ainda que os custos levantados neste item referem-se exclusivamente aos custos diretos de execução, compreendendo materiais, mão de obra e equipamentos diretamente associados à execução da laje, não incluindo BDI, encargos indiretos administrativos ou tributos incidentes sobre o contrato.

A metodologia adotada respeitou os quantitativos estruturais obtidos nos itens anteriores deste capítulo, assegurando coerência entre dimensionamento estrutural e estimativa orçamentária.

3.4.1 Metodologia de orçamentação

O levantamento de custos foi conduzido segundo dois critérios distintos, em função da disponibilidade de composições no SINAPI:

- Para a laje treliçada, utilizou-se composição completa disponibilizada no SINAPI no estado de Goiás, por se tratar de sistema construtivo padronizado amplamente contemplado pelo banco de dados.
- Para a laje *Steel deck*, adotou-se metodologia híbrida, combinando orçamento direto de fornecedor para o fornecimento do perfil colaborante e conectores de cisalhamento *stud bolts* e composições SINAPI para os demais insumos e serviços (concreto, malha soldada, mão de obra e equipamentos).

Essa estratégia foi necessária porque o SINAPI não dispõe de composição específica para fornecimento de perfil *Steel deck* e conectores soldados, itens que possuem variação relevante de preço conforme fabricante, logística e mercado regional.

Os valores unitários utilizados foram obtidos a partir das tabelas vigentes da SINAPI para o período de referência adotado no trabalho, sendo os encargos sociais já incorporados às composições oficiais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CUSTO DIRETO

A análise do custo direto foi realizada a partir dos quantitativos estruturais obtidos no capítulo de dimensionamento e das composições orçamentárias apresentadas no capítulo 3. As planilhas detalhadas de orçamento encontram-se apresentadas nas tabelas de composição de custos do trabalho e no anexo correspondente às planilhas de cálculo.

Para a elaboração dos custos unitários foram utilizadas duas fontes principais de dados:

- Banco de composições do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), utilizado para os serviços e materiais correntes da construção civil, tais como concreto estrutural, armaduras, mão de obra de concretagem e serviços auxiliares;
- Orçamentos de fornecedores e catálogos técnicos, utilizados para os elementos específicos não contemplados nas composições do SINAPI, como o perfil metálico colaborante *Steel deck* e os conectores de cisalhamento.

Para a laje treliçada, foram consideradas composições do SINAPI, que contemplam a execução de lajes pré-moldadas unidirecionais com vigotas treliçadas, incluindo fornecimento das vigotas, elementos de enchimento em EPS, capa estrutural de concreto, armadura de distribuição, escoramento e mão de obra de execução.

Os quantitativos estruturais utilizados foram obtidos a partir do dimensionamento apresentado nesse sistema no trabalho, resultando em consumo aproximado de:

- 0,095 m³/m² de concreto, obtido a partir da soma da capa estrutural, concreto nas nervuras e contrapiso;
- 9,10 kg/m² de aço, considerando a armadura incorporada às vigotas, malha soldada Q96 e reforços superiores nas regiões de apoio.

A partir das composições de custos apresentadas nas tabelas orçamentárias do trabalho — baseadas nas referências do SINAPI — obteve-se custo direto unitário para a laje treliçada de:

$$C_{treliçada} = 125,11 \text{ R\$/m}^2$$

Para a laje *Steel deck*, a estimativa de custos foi realizada por meio da combinação de composições do SINAPI com dados de fornecedores e catálogos técnicos.

Os seguintes elementos tiveram seus custos obtidos diretamente por orçamento de fornecedores especializados:

- Perfil metálico colaborante Perfdeck 75, chapa de 0,80 mm;
- Conectores de cisalhamento utilizados para garantir a interação aço–concreto.

Já os demais serviços e insumos foram obtidos a partir das composições do SINAPI, incluindo:

- Concreto estrutural moldado sobre o perfil metálico;
- Armadura de distribuição superior (malha soldada q75);
- Mão de obra de montagem e concretagem.

Os quantitativos estruturais determinados no dimensionamento indicaram consumo aproximado de:

- 0,109 m³/m² de concreto, considerando concreto estrutural da laje e contrapiso;
- 10,10 kg/m² de aço, composto principalmente pelo peso do perfil metálico colaborante e pela malha soldada superior.

Com base nas planilhas orçamentárias apresentadas nesse trabalho, o custo direto unitário obtido para o laje *Steel deck* foi:

$$C_{steeldeck} = 205,80 \text{ R\$/m}^2$$

A diferença percentual entre os custos unitários foi determinada pela relação:

$$\Delta(\%) = \frac{C_{steeldeck} - C_{treliçada}}{C_{treliçada}} \times 100 \quad (33)$$

Substituindo os valores:

$$\Delta(\%) = \frac{205,80 - 125,11}{125,11} \times 100$$
$$\Delta(\%) \approx 64,5\%$$

Dessa forma, verifica-se que a laje *Steel deck* apresenta custo direto aproximadamente 64,5% superior ao da laje treliçada para o caso analisado.

Considerando a área total do mezanino analisado no estudo (244 m²), essa diferença representa impacto financeiro aproximado de R\$ 19.687,61 na execução da superestrutura do pavimento.

É importante destacar que essa diferença de custo não está associada apenas ao consumo total de aço — que apresenta diferença de aproximadamente 11% entre os sistemas — mas principalmente ao fornecimento do perfil metálico colaborante e dos conectores de cisalhamento, elementos estruturais específicos da laje *Steel deck* que possuem maior valor unitário quando comparados aos componentes tradicionais da laje treliçada.

Essa diferença percentual observada entre os sistemas analisados é consistente com resultados apresentados na literatura técnica. Heinz e Benetti (2016) apontam que, quando a análise se restringe exclusivamente aos custos diretos de materiais e mão de obra da superestrutura, o *Steel deck* pode apresentar custo superior a 50% em comparação às lajes pré-fabricadas treliçadas. Mota (2019) também identificou acréscimos superiores a 60% na etapa estrutural ao utilizar sistemas mistos, especialmente em obras de pequeno porte.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo alinham-se com a literatura técnica recente, evidenciando que a diferença percentual observada não constitui anomalia, mas comportamento recorrente em análises de custo direto entre esses sistemas estruturais.

A Tabela 11 apresenta a síntese comparativa dos principais quantitativos estruturais e dos custos diretos obtidos para os sistemas de laje analisados.

Tabela 11 – Síntese comparativa de quantitativos de materiais

Sistema de laje	Concreto (m ³ /m ²)	Aço (kg/m ²)	Custo direto (R\$/m ²)	Diferença percentual
Laje treliçada com EPS	0,095	9,10	125,11	—
Laje <i>Steel deck</i>	0,109	10,10	205,80	+64,5%

Fonte: Autor (2026)

Observa-se que a laje *Steel deck* apresenta consumo ligeiramente superior de concreto e aço quando comparada à laje treliçada. Entretanto, a principal diferença de custo está associada ao fornecimento do perfil metálico colaborante e dos conectores de cisalhamento, resultando em custo direto aproximadamente 64,5% superior ao sistema de laje treliçada para o caso analisado.

4.2 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

Apesar da diferença significativa no custo direto, a literatura técnica enfatiza que a viabilidade econômica da laje *Steel deck* não deve ser avaliada apenas sob a ótica da superestrutura mas deve considerar também:

- Redução de escoramentos;
- Menor tempo de execução;
- Liberação antecipada de pavimentos;
- Redução de interferências na obra;
- Potencial redução de custos indiretos.

Heinz e Benetti (2016) observam que, ao considerar o cronograma físico-financeiro global da obra, a diferença percentual de custo direto tende a ser atenuada. Bento (2021) também ressalta que a industrialização do processo construtivo pode compensar parcialmente o investimento inicial mais elevado.

No caso específico do mezanino analisado, entretanto, a edificação apresenta:

- Vão reduzido;

- Área limitada;
- Ausência de exigência crítica de prazo;
- Execução simplificada.

Nesse contexto, a laje treliçada demonstrou melhor relação custo-benefício sob o critério de custo direto, sem prejuízo estrutural.

Entretanto, as diferenças tornam-se evidentes nos quantitativos e, principalmente, no custo direto por metro quadrado. A laje *Steel deck* apresenta maior consumo de aço estrutural e volume de concreto, refletindo em custo unitário aproximadamente 64% superior à laje treliçada.

Para a área total de 244 m², a diferença de custo entre os dois sistemas é da ordem de R\$ 19.687,61, valor significativo quando analisado exclusivamente sob a ótica do custo direto da superestrutura, pois representa 64% do custo total direto.

4.3 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL

Para o vão estrutural considerado no estudo (2,48 m) e para a sobrecarga de utilização adotada de 3,0 kN/m², correspondente ao uso comercial do mezanino, ambos os sistemas apresentaram capacidade resistente superior às solicitações atuantes.

Os momentos fletores obtidos na análise estrutural foram da ordem de:

$$\begin{aligned} M_{sd+} &= 2,72 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \\ M_{sd-} &= 3,26 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

valores que se mostraram plenamente compatíveis com a capacidade resistente das seções estruturais adotadas para cada laje.

No que se refere ao desempenho em serviço, a verificação de flecha indicou deslocamento máximo estimado da ordem de 0,71 mm, valor significativamente inferior ao limite admissível de L/350, correspondente a aproximadamente 7,09 mm para o vão analisado. Esse resultado demonstra que a rigidez das seções estruturais adotadas é suficiente para garantir o adequado desempenho da laje em condições normais de utilização.

Do ponto de vista estrutural, a laje *Steel deck* apresenta elevada rigidez inicial em função da atuação composta entre o perfil metálico colaborante e o concreto moldado no local, característica típica das estruturas mistas aço-concreto. Entretanto, a laje treliçada também

demonstrou comportamento estrutural satisfatório, beneficiando-se da continuidade estrutural e da colaboração da capa de concreto executada in loco.

Resultados semelhantes são encontrados na literatura técnica. Heinz e Benetti (2016) destacam que, para vãos inferiores a 3,0 m, as diferenças de desempenho estrutural entre sistemas mistos e lajes pré-fabricadas tendem a ser pouco significativas quando ambos são corretamente dimensionados.

De forma semelhante, Mota (2019) conclui que, em análises comparativas aplicadas a edificações de pequeno e médio porte, o critério estrutural raramente constitui fator determinante na escolha do sistema de laje, uma vez que ambas as soluções apresentam capacidade resistente suficiente para as solicitações usuais.

Dessa forma, para o contexto específico do mezanino analisado neste estudo, verifica-se que o desempenho estrutural não representa a principal variável na tomada de decisão, direcionando a análise comparativa principalmente para critérios econômicos e executivos.

4.4 COMPARAÇÃO DOS QUANTITATIVOS ESTRUTURAIS

A análise dos quantitativos estruturais evidenciou diferenças entre os sistemas de laje analisados, especialmente no que se refere ao consumo de materiais por metro quadrado de estrutura.

A laje treliçada apresentou consumo aproximado de 0,095 m³/m² de concreto e 9,10 kg/m² de aço, valores resultantes da soma da capa estrutural de concreto, concreto das nervuras formadas pelas vigotas e contrapiso de regularização, além das armaduras incorporadas às vigotas treliçadas, malha de distribuição e reforços superiores nos apoios.

Por sua vez, a laje *Steel deck* apresentou consumo aproximado de 0,109 m³/m² de concreto e 10,10 kg/m² de aço. Nesse sistema, o aço encontra-se concentrado principalmente no perfil metálico colaborante, que permanece incorporado à estrutura após a concretagem, desempenhando simultaneamente as funções de fôrma permanente e armadura positiva principal, conforme previsto no comportamento das estruturas mistas aço-concreto descritas na ABNT NBR 8800:2024.

O consumo de concreto também se mostrou ligeiramente superior no slaje *Steel deck*, resultado da maior altura estrutural adotada (130 mm) e da geometria do perfil metálico colaborante que compõe o sistema estrutural.

Resultados semelhantes são relatados na literatura técnica. Bento (2021), ao realizar estudo comparativo entre sistemas de laje em edificações comerciais, observou que a laje *Steel deck* tende a apresentar maior consumo de aço por metro quadrado, especialmente em obras de menor porte, nas quais a padronização industrial do sistema metálico não alcança escala suficiente para diluição do custo unitário.

Assim, embora ambos os sistemas apresentem desempenho estrutural satisfatório para o vão analisado, observa-se que a laje treliçada apresenta menor consumo global de materiais estruturais, fator que contribui diretamente para a diferença de custo observada entre os sistemas analisados no presente estudo.

4.5 MATRIZ DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DO SISTEMA DE LAJE

Com base nos resultados obtidos no dimensionamento, nos quantitativos e nos custos diretos apresentados na tabela 10, elaborou-se uma matriz de decisão multicritério para apoiar a escolha entre laje treliçada e laje *Steel deck*.

O objetivo dessa matriz multicritério é organizar racionalmente o processo decisão, atribuindo pesos aos critérios de acordo com o contexto do empreendimento (mezanino para uso comercial) e avaliando o desempenho relativo de cada solução.

A Tabela 12 apresenta a consolidação dos principais parâmetros estruturais, quantitativos de materiais e custos diretos obtidos para os sistemas de laje treliçada e laje *Steel Deck* analisados neste estudo.

Tabela 12 – Comparação Consolidada entre Laje Treliçada e Laje *Steel deck*

Critério Avaliado	Laje Treliçada	Laje <i>Steel deck</i>
Altura estrutural (cm)	14 cm	13 cm
Atendimento ao ELU	Atende	Atende
Atendimento ao ELS	Atende	Atende
Volume de concreto (m³/m²)	0,095	0,109
Consumo total de aço (kg/m²)	9,10	10,10
Custo direto (R\$/m²)	125,11	205,80
Custo total para 244 m² (R\$)	30.526,84	50.214,45
Diferença percentual de custo	—	+64%

Fonte: Autor (2026)

A matriz foi construída para escala de 1 a 5, onde:

- 1 = desempenho muito desfavorável no critério.
- 3 = desempenho intermediário/neutro.
- 5 = desempenho muito favorável no critério.

Para mitigar a subjetividade na atribuição dos pesos da matriz multicritério, adotou-se a técnica de Julgamento de Especialistas recomendada pelo Project Management Institute (PMI, 2021), fundamentando a distribuição percentual nas conclusões dos trabalhos analisados na revisão bibliográfica. O critério de 'Custo Direto' recebeu o maior peso (35%), ancorado nos estudos de Heinz e Benetti (2016) e Mota (2019), que evidenciam o impacto financeiro da superestrutura como a variável decisiva em obras de pequeno porte. Em contrapartida, o 'Prazo/Produtividade' recebeu o segundo maior peso (20%), respaldado por Nascimento e Trindade (2024), que apontam a redução do tempo de execução como o principal benefício competitivo dos sistemas mistos para compensar o custo inicial. Os demais critérios operacionais (Logística, Escoramento, Desempenho e Disponibilidade), que somam os 45% restantes, tiveram seus pesos distribuídos conforme o grau de interferência direta no cronograma de um mezanino comercial, alinhando-se aos princípios de planejamento de obras estabelecidos por Mattos (2010).

1) Custo direto (peso 35%)

- Treliçada = 5: apresentou custo direto R\$ 125,11/m², menor no estudo, sendo decisiva para custo-benefício no cenário analisado.
- *Steel deck* = 2: custo direto R\$ 205,80/m², aproximadamente 64% superior, com maior peso do perfil metálico + conectores.

2) Prazo / Produtividade (peso 20%)

- Treliçada = 3: execução consolidada, porém com etapas de escoramento, montagem, concretagem e cura, além de desmontagem de escoras.
- *Steel deck* = 5: alta produtividade por industrialização, fôrma permanente, montagem mais rápida e menor dependência de escoramento prolongado.

3) Logística e execução em obra (peso 15%)

- Treliçada = 3: logística favorável (elementos leves, EPS), mas exige maior movimentação de escoras e controle de nivelamento.
- *Steel deck* = 4: montagem rápida, porém com necessidade de manuseio de peças metálicas, parafusamento/fixação e planejamento de içamento.

4) Escoramento e interferência no pavimento inferior (peso 10%)

- Treliçada = 2: demanda escoramento durante execução/cura, com interferência direta no pavimento inferior e maior tempo de ocupação.
- *Steel deck* = 5: em geral permite reduzir escoramento e agiliza a liberação de área inferior (quando o vão/espessura estão no limite de não escorar).

5) Desempenho em serviço (peso 10%)

- Treliçada = 4 e *Steel deck* = 4: ambos atenderam ELS (flecha dentro de limites), sem indicativo de desempenho inferior para o vão analisado. Como os dois atendem, a nota fica equivalente.

6) Disponibilidade / Dependência de fornecedor (peso 10%)

- Treliçada = 4: sistema amplamente difundido e com fornecedores diversos, menor volatilidade de preço e prazo em geral.
- *Steel deck* = 3: maior dependência de fornecedor específico (perfil + studs), maior sensibilidade ao mercado do aço e frete.

A matriz confirma a premissa do trabalho: não existe sistema melhor universalmente, mas sim sistemas mais adequados em função de cada especificidade.

A Tabela 13 apresenta a matriz de decisão com cada critério estabelecido, percentual de peso e justificativa de critério, bem como a nota atribuída em cada critério a cada um dos dois sistemas de lajes estudados. Para o mezanino estudado vão reduzido e sem restrição extrema de prazo, o critério do custo direto tem maior peso favorecendo a escolha pela laje treliçada. Entretanto, em cenários em que o prazo e liberação rápida das áreas sejam fatores determinantes a laje *Steel deck* apresenta melhor desempenho global na matriz, pois sua natureza industrializada elimina a necessidade de escoramentos prolongados, permitindo o tráfego imediato no pavimento inferior após a concretagem e reduzindo drasticamente as etapas manuais de montagem e carpintaria, o que acelera o ciclo construtivo e otimiza a produtividade total da obra.

Tabela 13 – Matriz de decisão ponderada (Treliçada × *Steel deck*)

Critério	Peso (%)	Justificativa do peso	Treliçada (nota 1–5)	Steel deck (nota 1–5)
Custo direto (R\$/m²)	35	Critério mais sensível ao cliente e base do comparativo econômico	5	2
Prazo / Produtividade	20	Impacta cronograma e custos indiretos; relevante, mas não crítico no caso	3	5
Logística e execução em obra	15	Depende de escoramento, transporte, manuseio e interferências	3	4
Escoramento e interferência no pav. inferior	10	Reduz transtornos e liberações de área durante execução	2	5
Desempenho em serviço (flecha/fissuração)	10	Ambos atendem ELS; ainda assim influencia sensação de rigidez e fissuração	4	4
Disponibilidade / Dependência de fornecedor	10	Aço + perfil colaborante variam com mercado e prazos	4	3
Total	100			

Fonte: Autor (2026)

Para a obtenção do resultado global que fundamenta a escolha do sistema estrutural mais adequado, aplicou-se o método da soma ponderada. Esse método consiste em multiplicar a nota obtida em cada critério pelo seu respectivo peso percentual (em formato decimal) e, em seguida, somar os resultados parciais.

As equações abaixo demonstram o cálculo exato da pontuação final para cada um dos sistemas avaliados:

a) Pontuação global da Laje Trelaçada:

$$(5 \times 0,35) + (3 \times 0,20) + (3 \times 0,15) + (2 \times 0,10) + (4 \times 0,10) + (4 \times 0,10) \quad (34) \\ 1,75 + 0,60 + 0,45 + 0,20 + 0,40 + 0,40$$

$$\text{Pontuação Final} = 3,80$$

b) Pontuação global da Laje Mista *Steel deck*:

$$(2 \times 0,35) + (5 \times 0,20) + (4 \times 0,15) + (5 \times 0,10) + (4 \times 0,10) + (3 \times 0,10) \quad (35) \\ 0,70 + 1,00 + 0,60 + 0,50 + 0,40 + 0,30$$

$$\text{Pontuação Final} = 3,50$$

Conforme demonstrado pelo cálculo de ponderação, a Laje Trelaçada obteve a maior nota global (3,80) em comparação a laje *Steel deck* (3,50). Esse resultado quantitativo atesta que, mediante a distribuição de pesos estabelecida para a realidade do mezanino projetado, a opção convencional pré-fabricada apresenta a melhor adequação aos objetivos do projeto, sendo fortemente impulsionada pela sua vantagem no custo direto.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como propósito responder ao problema de pesquisa estabelecido: qual sistema apresenta o melhor desempenho global para o mezanino de um sobrado comercial? A análise integrada concluiu que a laje treliçada com enchimento em EPS é a solução mais vantajosa para este cenário.

Sob a ótica estrutural, ambos os sistemas mostraram-se tecnicamente viáveis e seguros para o vão de 2,48 m e sobrecarga comercial de 3,0 kN/m². Como o desempenho técnico de ambos foi satisfatório, a decisão foi governada pela viabilidade financeira. A laje treliçada apresentou um custo direto de R\$ 125,11/m², enquanto o *Steel deck* custou R\$ 205,80/m² — um acréscimo de 64,5% para o sistema industrializado.

A comparação direta entre os sistemas indica que a laje *Steel deck* apresenta consumo aproximadamente 11% maior de aço e cerca de 15% maior volume de concreto por metro quadrado quando comparada à laje treliçada.

A matriz de decisão multicritério, fundamentada na literatura técnica, confirmou essa escolha ao atribuir nota global de 3,80 à laje treliçada e 3,50 ao *Steel deck*. Como a obra possui vão reduzido e nenhuma restrição crítica de prazo que justifique o investimento na agilidade do sistema misto, o peso do "Custo Direto" foi o fator determinante para a vitória do sistema pré-fabricado.

Conclui-se, portanto, que a escolha do sistema estrutural não deve ser generalista. A laje ideal varia conforme o contexto, exigindo que a engenharia analise conjuntamente o tripé estrutural, executivo e econômico de cada projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA; CBCA – CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Cenário dos Fabricantes de Telhas de Aço e Steel deck – 2020**. São Paulo: ABCEM; CBCA, 2020.
- 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: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480: Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16421: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- BELLEI, I. H.; PINHO, M. O.; PINHO, F. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Ziguarte Editora, 2008.
- BENTO, Antonio Anderson Ponte. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas unidirecionais em concreto armado e lajes steel deck para residência unifamiliar**. 2021. 194 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2021.
- CAMPOS, Paulo César de. **Efeito da continuidade no comportamento e na resistência de lajes mistas com fôrma de aço incorporada**. 2001. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CASACOR. **Laje treliçada: o que é, vantagens e como usar**. 2025. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/noticias/casacor-explica/laje-pre-moldada-o-que-e-vantagens-e-aplicacoes-na-construcao>. Acesso em: 8 nov. 2025.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

FERNANDES, L. S.; SCARIOT, J. **Análise Comparativa de Custo da Laje Mista *Steel deck* com a Laje Treliçada**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário da Serra Gaúcha (FSG), Caxias do Sul, 2020.

HEINZ, João Marcos Miguel; BENETTI, João Silvio Zambiazzi. **Análise de custos diretos de lajes mistas *steel deck* e comparativo de custos com lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas**. 2016. 134 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

LEMO, Paula Piccolo de. **Sistema de lajes mistas *steel deck*: análise comparativa com o sistema de lajes zero em concreto armado**. 2013. Trabalho de Diplomação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MALITE, Maximiliano. **Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios**. 1990. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.

METFORM. **Catálogo Técnico *Steel deck***. Betim: Metform, [s.d.]. Disponível em: [https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/metform/steel_deck_metform\[1\].pdf](https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/metform/steel_deck_metform[1].pdf). Acesso em: 8 nov. 2025.

MOTA, André Guilherme. **Análise comparativa de custo de materiais entre uma estrutura convencional de concreto armado e uma estrutura mista de aço e concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MOURA, Tiago Rodrigues Coelho de. Lajes maciças treliçadas e nervuradas: análise comparativa. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC)**, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 194-209, 2023.

NASCIMENTO, Lucas Rodrigues; TRINDADE, Christiane Areias. **Dimensionamento de lajes mistas de aço-concreto baseado na NBR 8800**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, Silvestre. **Ações nas Estruturas de Concreto Armado: O Poder das Cargas.** Engenheiro Doutor Pro, 7 nov. 2023. Disponível em: <https://engenheirodoutorpro.com.br/acoes-nas-estruturas-de-concreto-armado/>. Acesso em: 8 nov. 2025.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do concreto armado.** São Carlos: EESC-USP, 2007.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia PMBOK: Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos.** 7. ed. Pensilvânia: PMI, 2021.

PROJETOU. **Steel deck: O que é, vantagens e como funciona a laje mista.** 2022. Disponível em: <https://www.projetou.com.br/posts/steel-deck>. Acesso em: 8 nov. 2025.

TEIXEIRA, Andre Luiz Alves. *Steel deck: Eficiência estrutural e desempenho em sistemas mistos de construção.* **International Integralize Scientific**, v. 5, n. 49, jul. 2025.

ANEXOS

**ANEXO A - CATALOGO PERFDECK75 USADO PARA AUXILIO DE
DIMENSIONAMIENTO**

Soluções PerfDeck75

O conjunto PERFDECK75 possui acessórios que complementam sua instalação, fornecendo um melhor acabamento e soluções técnicas para sua obra.



O que é o PerfDeck75

O **PERFDECK75** é uma fôrma de aço colaborante, instalado antes do lançamento do concreto, servindo como fôrma para contenção do concreto e armadura positiva da laje. Tem alto desempenho, devido a resistência mecânica do aço empregado (ZAR 280) e longa vida útil, pois possui revestimento galvanizado Z275.

Em muitos casos, pode-se eliminar o sistema de escoramento, durante e posteriormente a concretagem, promovendo agilidade, limpeza e eficiência na obra.*

PERFDECK75 é a opção N°1 na construção civil, podendo ser utilizado em:

- Edifícios Garagens;
- Habitacionais;
- Escritórios;
- Hospitais;
- Universidades;
- Shoppings;
- Igrejas e Mezaninos;
- Lajes de Multi-andares em geral;
- Lajes de Cobertura.

* Consultar tabelas de vãos e cargas

Principais vantagens

- ✓ Pode eliminar o sistema de escoramento, dependendo do vão;
- ✓ Redução ou exclusão da armadura positiva;
- ✓ Permite a utilização da estrutura metálica como estrutura mista (aço/concreto);
- ✓ Facilita a passagem de tubulações para instalações prediais.

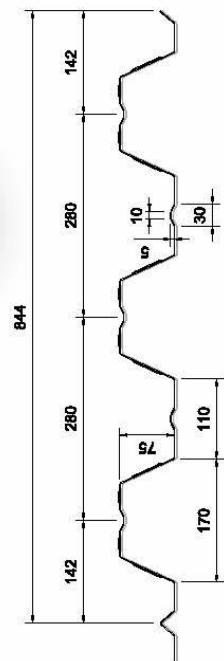


PERFDECK75
O STEEL DECK DA PERFINASA

Informações técnicas do perfil

O PERFDECK75 tem largura útil de 844mm, e espessura de 0.80mm. Em sua composição emprega-se o aço ZAR280 e revestimento galvanizado Z275. Deve ser instalado essencialmente com malha de retração, com área mínima de 0,1% da área de capeamento do concreto.

O concreto deve ter resistência de no mínimo 20 MPa. Além disso, pode ser utilizado com pinos stud bolts, ou conectores de cisalhamento similares, que promoverão a interação do aço com o concreto.



ALTURA TOTAL DA LAJE (mm)	PESO PRÓPRIO DA LAJE (kg/m²)	CONSUMO DE CONCRETO (m³/m²)	PERFDECK75 - #0,80mm	
			TIPO	MALHA (mm)
125	178,80	0,0745	Q - 75	Ø3,8 x 3,8 - 150x150
130	188,88	0,0787	Q - 75	Ø3,8 x 3,8 - 150x150
140	209,28	0,0872	Q - 75	Ø3,8 x 3,8 - 150x150
150	229,44	0,0956	Q - 92	Ø4,2 x 4,2 - 150x150
160	249,60	0,1040	Q - 92	Ø4,2 x 4,2 - 150x150
170	270,00	0,1125	Q - 113	Ø3,8 x 3,8 - 100x100
180	290,16	0,1209	Q - 113	Ø3,8 x 3,8 - 100x100
190	310,56	0,1294	Q - 138	Ø4,2 x 4,2 - 100x100
200	330,72	0,1378	Q - 138	Ø4,2 x 4,2 - 100x100

PERFDECK75
O STEEL DECK DA PERFINASA

Cargas impostas admissíveis (kgf/m²)

VÃOS SIMPLES - BI APOIADO (mm)

PERF-DECK
#0,80mm

H LAJE (mm)	ESPAÇAMENTO ENTRE VICAS (mm)															
	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500
125	989	894	811	739	676	621	572	528	489	455	422	395	369	346	324	304
130	1102	996	904	824	754	692	638	586	545	506	471	439	411	385	361	339
140	1216	1098	997	908	831	763	703	649	602	606	519	485	453	424	398	374
150	1328	1201	1090	993	908	833	768	709	658	610	568	530	495	464	NA	NA
160	1441	1303	1239	1078	985	904	833	770	714	660	616	575	537	NA	NA	NA
170	1555	1404	1275	1162	1063	976	898	830	769	714	665	620	579	NA	NA	NA
180	1667	1507	1367	1247	1140	1046	964	891	826	766	713	665	NA	NA	NA	NA
190	1781	1609	1460	1331	1218	1118	1029	951	881	818	761	710	NA	NA	NA	NA
200	1894	1711	1553	1415	1295	1188	1094	1012	937	869	801	755	NA	NA	NA	NA

FCK 20MPa



Sem Escoramento



Com Escoramento



Não Atendimento



Cargas impostas admissíveis (kgf/m²)

VÃOS DUPLOS - TRÊS APOIOS (mm)

PERF-DECK
#0,80mm

ESPAÇAMENTO ENTRE VIGAS (mm)

H LAJE (mm)	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500
125	1231	1112	1010	921	843	775	714	659	611	568	528	494	461	432	405	381
130	1372	1240	1126	1027	940	863	795	735	681	632	589	549	514	481	452	425
140	1512	1367	1242	1132	1036	856	876	810	751	697	649	606	567	531	498	469
150	1653	1494	1356	1237	1132	1039	958	886	820	762	709	662	620	580	NA	NA
160	1793	1621	1472	1343	1229	1128	1039	961	890	827	770	718	672	NA	NA	NA
170	1934	1748	1587	1447	1325	1216	1121	1036	960	891	830	775	724	NA	NA	NA
180	2075	1875	1702	1553	1421	1305	1202	1111	1030	956	890	831	NA	NA	NA	NA
190	2075	2002	1818	1658	1517	1394	1284	1186	1099	1021	951	888	NA	NA	NA	NA
200	2075	2002	1933	1763	1614	1482	1365	1261	1169	1086	1011	944	NA	NA	NA	NA

FCK 20MPA



Sem Escoramento



Com Escoramento



Não Atendimento



PERFINASA

Cargas impostas admissíveis (kgf/m²)

VÃOS TRIPLOS - QUATRO APOIOS (mm)

PERFDECK
#0,80mm

H.LAJE (mm)	ESPAÇAMENTO ENTRE VIGAS (mm)															
	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500
125	1251	1112	1010	921	843	775	714	659	611	568	528	494	461	432	405	381
130	1372	1240	1126	1027	940	863	795	735	681	632	589	549	514	481	452	425
140	1512	1367	1242	1132	1036	856	876	810	751	697	649	606	567	531	498	469
150	1653	1494	1356	1237	1132	1039	958	886	820	762	709	662	620	580	NA	NA
160	1793	1621	1472	1343	1229	1128	1039	961	890	827	770	718	672	NA	NA	NA
170	1934	1748	1587	1447	1325	1216	1121	1036	960	891	830	775	724	NA	NA	NA
180	2075	1875	1702	1553	1421	1305	1202	1111	1030	956	890	831	NA	NA	NA	NA
190	2075	2002	1818	1658	1517	1394	1284	1186	1099	1021	951	888	NA	NA	NA	NA
200	2075	2002	1933	1763	1614	1482	1365	1261	1169	1086	1011	944	NA	NA	NA	NA

FCK 20MPA

Sem Escoramento

Com Escoramento

Não Atendimento

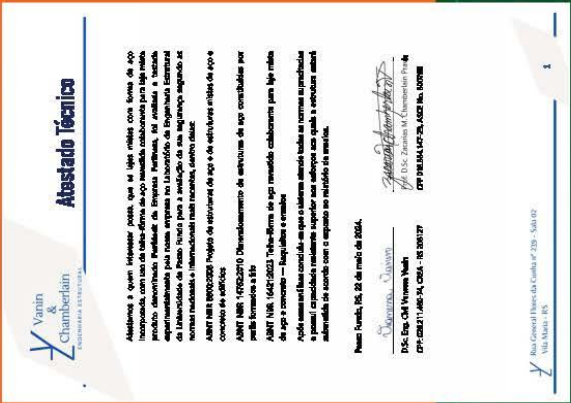
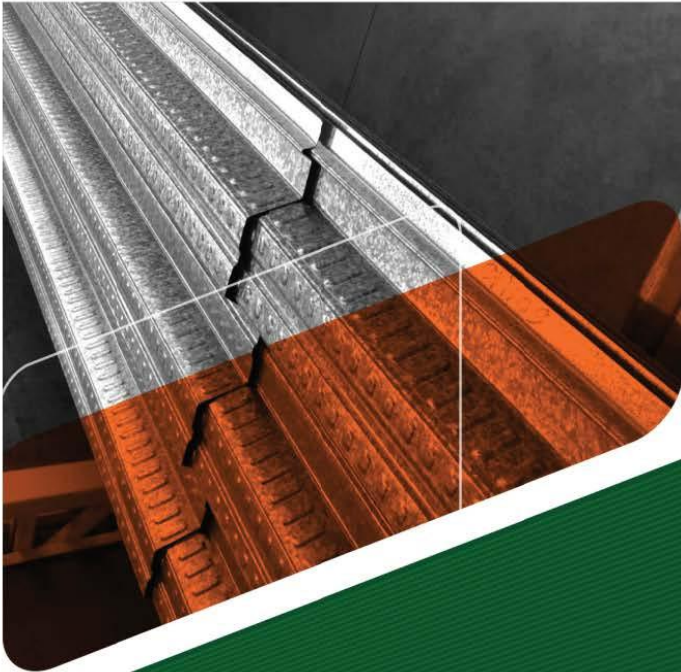


PERFINASA

Ensaio de Homologação

Os valores e dados, anteriormente apresentados nas tabelas, foram obtidos por meio de ensaios e testes, realizados em laboratório pela Universidade de Passo Fundo - RS.

O **PERFDECK75**, atende as normas brasileiras vigentes, desempenhando com excelência seu uso como telha-forma de aço revestida colaborante para laje mista.



PERFINASA

WhatsApp (62) 3237-1400

Instagram perfinasa

Website perfinasa.com.br



PERFINASA

**A principal
indústria de aço
do Centro-Oeste**

Líder do segmento

Há mais de 61 anos fornecendo
aço certificado de alta qualidade.



(62) 3237-1400



perfinasa



perfinasa.com.br



PERF-DECK 75
O STEEL DECK DA PERFINASA

ANEXO B – TABELA COMPOSIÇÃO SINAPI PARA LAJE TRELIÇADA

Cliente: TCC

Área:

Obra: TCC

Revisão: 1 (Atual)

Período da obra:

Índice	Origem	Cód.	Item	Tipo custo	Qtd.	Qtd. total Insumo	Unid.	Unitário (R\$)	Total (R\$)	%
1	Própria		LAJE TRELICADA						30.526,31	57,62
1.1	SINAPI	101952	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM EPS, VIGOTA TRELICADA, ALTURA TOTAL DA LAJE "LT" = 16 CM (ENCHIMENTO+CAPA) = (12+4). AF_08/2025		244,0000		M2	125,11	30.526,31	57,62
		92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	Composição	1,1850	289,1400	KG	13,00	3.758,70	7,09
		88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Composição	0,3630	88,5720	H	31,70	2.807,60	5,30
		103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES. FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	Composição	0,0600	14,6400	M3	790,79	11.577,22	21,85
		92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	Composição	1,0700	261,0800	M	18,15	4.738,51	8,94
		88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Composição	0,2720	66,3680	H	22,42	1.488,07	2,81
			Equipamentos				-	0,02	5,35	0,01
			Mão de obra				-	23,87	5.824,01	10,99
			Materiais				-	101,20	24.692,76	46,61
		44379	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELICADA (LAJOTAS + VIGOTAS) COM LAJOTA EM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS). H12, 33 X 100 X 12 CM (L X C X A) E VIGOTA VTR 12 X 12 CM (L X A). PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KGFM2, VAO ATE 6,00 M (SEM COLOCACAO)	Materiais	1,0000	244,0000	M2	0,00	0,00	0,00
		40304	PREGO DE AÇO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	Materiais	0,0370	9,0280	KG	25,05	226,15	0,43
		6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, EM MACARANDUBA/MASSARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	Materiais	1,7200	419,6800	M	14,13	5.930,08	11,19
			Outros				-	0,02	4,20	0,01

ANEXO C – TABELA COMPOSIÇÃO SINAPI LAJE *STEEL DECK*

Índice	Origem	Cód.	Item	Tipo custo	Descrição	Qtd.	Qtd. total insumo	Unid.	Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	Própria		laje steel deck							22.451,11
1.1	SINAPI	99431	CONCRETAGEM DE LAJES EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÓRMAS MANUSEÁVEIS, COM CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK 25 MPa - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_09/2024			19,2800		M3	638,26	12.305,56
		88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Composição		0,1190	2,2943	H	31,70	72,73
		88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Composição		0,5690	10,9510	H	32,15	352,09
		88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Composição		0,4480	8,5989	H	22,42	192,80
		90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	Composição		0,0610	1,1761	CHI	0,57	0,67
		90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	Composição		0,0580	1,1182	CHP	1,49	1,66
			Equipamentos					-	0,09	1,72
			Mão de obra					-	23,59	454,85
			Materiais					-	592,44	11.422,29
		38408	CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL, CLASSE DE RESISTÊNCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 190 +/- 20 MM, EXCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	Materiais		1,0000	19,2800	M3	584,00	11.259,52
			Outros					-	0,03	0,62
			Serviços terceiros					-	22,10	426,09
		44535	SERVIÇO DE BOMBEAMENTO DE CONCRETO COM CONSUMO MÍNIMO DE 40 M3, (DISPONIBILIZAÇÃO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO	Serviços terceiros		1,1050	21,3044	M3	20,00	426,09
1.2	AGETOP	052012	ACO CA 60-B 4,2 MM - (OBRAS CIVIS)			225,2400		Kg	8,62	1.941,25
			Mão de obra					-	2,27	512,11
		0008	AJUDANTE	Mão de obra		0,0700	15,7668	h	15,48	244,07
		0006	ARMADOR	Mão de obra		0,0700	15,7668	h	17,00	268,04
			Materiais					-	6,35	1.429,15
		2446	ACO CA-80 - 4,2 MM	Materiais		1,1000	247,7640	Kg	5,55	1.375,09
		0102	ARAMÉ RECOZIDO 18	Materiais		0,0200	4,5048	Kg	12,00	54,06
1.3	SINAPI	88317	SOLDADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES			20,2500		H	32,86	665,38
		95379	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA SOLDADOR (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	Composição		1,0000	20,2500	H	0,28	5,64
			Mão de obra					-	24,41	494,27

		6160	SOLDADOR (HORISTA)	Mão de obra		1,0000	20,2500	H	24,13	488,63
			Materials					-	8,45	171,11
		37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	20,2500	H	3,32	67,23
		43482	EPI - FAMILIA SOLDADOR - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	Materials		1,0000	20,2500	H	1,82	36,86
		37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	20,2500	H	1,43	28,96
		43468	FERRAMENTAS - FAMILIA SOLDADOR - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	Materials		1,0000	20,2500	H	1,21	24,50
		37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	20,2500	H	0,08	1,62
		37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	20,2500	H	0,59	11,95
1.4	SINAPI	88278	MONTADOR DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES			316,5000		H	23,82	7.538,92
		95344	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	Composição		1,0000	316,5000	H	0,20	63,19
			Mão de obra					-	17,50	5.538,64
		44487	MONTADOR DE ESTRUTURAS METÁLICAS HORISTA	Mão de obra		1,0000	316,5000	H	17,30	5.475,45
			Materials					-	6,32	2.000,28
		37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	316,5000	H	3,32	1.050,78
		43488	EPI - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	Materials		1,0000	316,5000	H	0,89	281,69
		37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	316,5000	H	1,43	452,60
		43464	FERRAMENTAS - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	Materials		1,0000	316,5000	H	0,01	3,17
		37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	316,5000	H	0,08	25,32
		37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	Materials		1,0000	316,5000	H	0,59	186,74