

Universidade Federal do Amazonas

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil

César Juniors Soares Marques

Análise comparativa entre lajes maciças de concreto armado e lajes treliçadas unidirecionais

Manaus - AM

2025

César Juniors Soares Marques

Análise comparativa entre lajes maciças de concreto armado e lajes treliçadas unidirecionais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Winston Junior Zumaeta Moncayo

Manaus - AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- M357a Marques, Cesar Juniors Soares
Análise comparativa entre lajes maciças de concreto armado e lajes
treliçadas unidirecionais / Cesar Juniors Soares Marques. - 2025.
64 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Winston Junior Zumaeta Moncayo.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do
Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Manaus,
2025.
1. Análise Comparativa. 2. Lajes Maciças. 3. Lajes Treliçadas
Unidirecionais. 4. Concreto Armado. I. Moncayo, Winston Junior
Zumaeta. II. Universidade Federal do Amazonas. Faculdade de
Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. III. Título
-



Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Departamento de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

CÉSAR JUNIORS SOARES MARQUES

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO E LAJES TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovação em 01 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Winston Junior Zumaeta Moncayo, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Régis Pamponet da Fonseca, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Igor Roberto Cabral Oliveira, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Documento assinado eletronicamente por **Winston Junior Zumaeta Moncayo, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 14:58, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Roberto Cabral Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 15:00, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regis Pamponet da Fonseca, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 18:51, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2917482** e o código CRC **3A1546E4**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão por todas as pessoas envolvidas na produção deste trabalho, o contínuo suporte que foi recebido por eles possibilitou a realização desta conquista, finalizar o curso de Engenharia Civil.

Aos meus pais, Mercy e César, pelo incentivo, amor e “puxões de orelha”, os quais foram essenciais para a formação do que eu sou. A paixão pelo estudo que eles demonstram diariamente me trouxe até este curso.

Ao meu irmão, Julius, que segue sendo meu exemplo de dedicação e perseverança. Seus conselhos e parceria continuam auxiliando meu futuro.

Aos meus amigos, os quais fizeram o trabalho e a faculdade serem mais divertidos com os momentos de risadas e de aprendizado.

À minha esposa, Millena, que caminha ao meu lado para crescermos juntos. Seu suporte fez possível a realização deste trabalho e de nossos sonhos.

Aos meus professores, que mostram o melhor caminho a ser seguido nesta graduação. Todos os professores deste curso marcaram meu aprendizado, especialmente os professores de estruturas. Seus conhecimentos farão parte do profissional que serei. Obrigado.

RESUMO

MARQUES, César Juniors Soares. **Análise comparativa entre lajes maciças de concreto armado e lajes treliçadas unidirecionais**. 2025. Projeto Final de Engenharia Civil – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

Nos últimos anos, o custo da construção civil no Brasil apresentou elevação significativa, impactando diretamente a execução de edificações residenciais. Segundo dados do IBGE (2025), o custo nacional da construção por metro quadrado passou de R\$ 1.818,64 em abril para R\$ 1.826,53 em maio, refletindo no aumento dos gastos com insumos, em especial o concreto armado, amplamente utilizado na construção de lajes. Tradicionalmente, empregam-se lajes maciças, porém, alternativas como as lajes treliçadas unidirecionais vêm sendo adotadas como opções viáveis. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo comparar ambos os sistemas estruturais, analisando o consumo de concreto e aço, a deflexão resultante e os impactos financeiros. Para tanto, foram projetadas as lajes presentes no piso superior de duas residências familiares com dimensões idênticas, diferenciando-se apenas pelo tipo de laje, o que permitiu mensurar e comparar os resultados obtidos. Os cálculos demonstraram que as lajes treliçadas unidirecionais demandam 29% menos volume de concreto em relação às lajes maciças de mesma dimensão, contudo apresentam acréscimo de 2,46% no custo em relação ao peso de aço e maior deformação, em função de seu comportamento estrutural semelhante ao de vigas independentes. O estudo apresentou uma economia de 22% entre os tipos de lajes utilizados.

Palavras-Chave: Análise Comparativa; Lajes Maciças; Lajes Treliçadas Unidirecionais; Concreto Armado.

ABSTRACT

In recent years, construction costs in Brazil have increased significantly, directly affecting the execution of residential buildings. According to data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2025), the national construction cost per square meter rose from R\$ 1,818.64 in April to R\$ 1,826.53 in May, reflecting higher expenses related to construction materials, especially reinforced concrete, which is widely used in slab construction. Traditionally, solid slabs are employed; however, alternatives such as one-way trussed slabs have increasingly been adopted as viable options. In this context, the present study aims to compare both structural systems by analyzing concrete and steel consumption, resulting deflection, and financial impacts. For this purpose, the slabs located on the upper floor of two single-family residences with identical dimensions were designed, differing only in slab type, which allowed for measurement and comparison of the results obtained. The calculations showed that one-way trussed slabs require 29% less concrete volume compared to solid slabs of the same dimensions; however, they present a 2.46% increase in costs related to steel weight and greater deformation due to their structural behavior, which resembles that of independent beams. Overall, the study demonstrated a 22% cost reduction between the types of slabs used.

Keywords: Comparative analysis; Solid slabs; Unidirectional trussed slabs; Reinforced Concrete.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Representação da linha neutra..... | 12 |
| Figura 2: Representação dos tipos de elementos de enchimento que podem ser utilizados nas lajes treliçadas unidirecionais, lajotas cerâmicas ou poliestireno expandido..... | 13 |
| Figura 3: Vigota treliçada..... | 13 |
| Figura 4: Elementos de laje com vigotas pré-fabricadas..... | 18 |
| Figura 5: Elementos de laje com painéis pré-fabricados..... | 18 |
| Figura 6: Vigota treliçada..... | 19 |
| Figura 7: Seção típica de uma armadura treliçada eletrossoldada..... | 19 |
| Figura 8: Laje pré fabricada com vigotas treliçadas..... | 20 |
| Figura 9: Enchimentos de EPS entre vigotas..... | 21 |
| Figura 10: Situações de vinculação das lajes..... | 23 |
| Figura 11: Planta baixa do piso superior..... | 29 |
| Figura 12: Visualização 3D do projeto..... | 29 |
| Figura 13: Forma estrutural do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais..... | 31 |
| Figura 14: Dimensões da seção transversal da vigota treliçada em centímetros..... | 32 |
| Figura 15: Carregamento distribuído na vigota da laje treliçada unidirecional..... | 34 |
| Figura 16: Detalhamento do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais..... | 36 |
| Figura 17: Forma estrutural do pavimento superior no projeto de laje maciças..... | 41 |
| Figura 18: Momentos fletores presentes nas lajes 101, 102 e 105..... | 43 |
| Figura 19: Média entre os momentos fletores negativos das lajes 101 e 102..... | 44 |
| Figura 20: Compatibilização dos momentos fletores entre as lajes 101 e 102..... | 45 |
| Figura 21: Detalhamento do pavimento superior das armaduras positivas horizontais do projeto de lajes maciças..... | 47 |
| Figura 22: Detalhamento das armaduras positivas verticais no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 48 |
| Figura 23: Detalhamento das armaduras negativas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 49 |
| Figura 24: Detalhamento das armaduras positivas negativas no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 50 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Relação da classe de agressividade ambiental com cobertura nominal mínimo..... | 22 |
| Tabela 2: Cálculo da área de aço a partir de k_c e k_s | 24 |
| Tabela 3: Relação da área de aço com espaçamento entre barras | 25 |
| Tabela 4: Valores de coeficiente ξ em função do tempo..... | 26 |
| Tabela 5: Alturas iniciais para laje-pré moldada em função de carga e vãos livre máximos..... | 30 |
| Tabela 6: Relação da altura do elemento de enchimento com a altura total da laje | 30 |
| Tabela 7: Peso específico para revestimentos de pisos. | 31 |
| Tabela 8: Cargas uniformemente distribuídas para edifícios residenciais em kN/m^2 | 32 |
| Tabela 9: Densidade aparente mínima para diferentes tipos de poliestireno expandido | 33 |
| Tabela 10: Momentos fletores atuantes nas vigotas das lajes treliçadas unidirecionais | 35 |
| Tabela 11: Dimensionamento por fórmulas adimensionais e área de aço necessária | 35 |
| Tabela 12: Resultado do detalhamento do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais. | 36 |
| Tabela 13: Peso linear de aço CA-60 | 37 |
| Tabela 14: Peso linear de vigotas treliçadas | 38 |
| Tabela 15: Resultado do cálculo dos momentos fletores utilizando tabelas | 42 |
| Tabela 16: Momentos fletores compatibilizados..... | 45 |
| Tabela 17: Área de Aço para os momentos atuantes nas lajes maciças | 46 |
| Tabela 18: Resultado do detalhamento das armaduras positivas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças | 47 |
| Tabela 19: Resultado do detalhamento das armaduras positivas verticais no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 48 |
| Tabela 20: Resultado do detalhamento das armaduras negativas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 49 |
| Tabela 21: Resultado do detalhamento das armaduras negativas verticais no pavimento superior do projeto de lajes maciças..... | 50 |
| Tabela 22: Peso linear de aço CA-50 | 51 |
| Tabela 23: Relação de volume de concreto utilizado nas lajes superiores de ambos projetos | 53 |
| Tabela 24: Relação do peço do aço inserido nas lajes superiores de ambos projetos | 54 |

| | |
|--|----|
| Tabela 25: Relação das cargas em kN aplicadas nas lajes superiores de ambos projetos | 56 |
| Tabela 26: Relação de insumos e valores unitários por unidade de medida | 57 |
| Tabela 27: Relação dos valores do peso do aço e volume de concreto nas lajes superiores de ambos projetos..... | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 3. METODOLOGIA | 15 |
| 4. REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 4.1. Lajes maciças..... | 17 |
| 4.2. Lajes treliçadas unidirecionais | 17 |
| 4.3. Modelo de cálculo: vigas independentes | 19 |
| 4.4. Elementos de enchimento | 20 |
| 4.5. Software | 21 |
| 4.6. Dimensionamento de lajes maciças e treliçadas unidirecionais | 22 |
| 5. DESENVOLVIMENTO | 28 |
| 5.1. Informações do projeto | 28 |
| 5.2. Dimensionamento das Lajes Treliçadas..... | 30 |
| 5.3. Dimensionamento das Lajes Maciças | 41 |
| 6. RESULTADOS | 52 |
| 6.1. Volume de Concreto | 52 |
| 6.2. Peso do aço | 53 |
| 6.3. Cargas..... | 54 |
| 6.4. Custos..... | 56 |
| 7. DISCUSSÕES | 58 |
| 7.1. Concreto..... | 58 |
| 7.2. Aço | 59 |
| 7.3. Cargas..... | 59 |
| 7.4. Flechas..... | 60 |
| 7.5. Custos..... | 60 |
| 8. CONCLUSÃO | 61 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 63 |

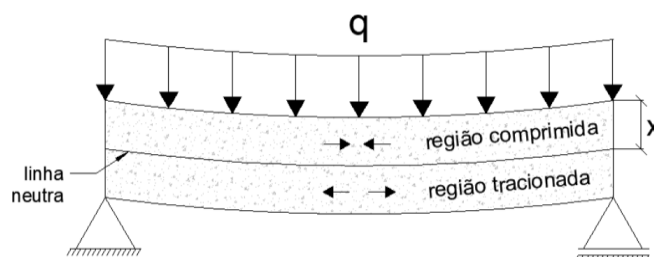
1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o capital investido na indústria da construção civil tem aumentado. De acordo com o IBGE (2025): “O custo nacional da construção, por metro quadrado, que em abril fechou em R\$ 1.818,64, passou em maio para R\$ 1.826,53, sendo R\$ 1.051,98 relativos aos materiais e R\$ 774,55 à mão de obra.” Tal fato decorre de diversos motivos, um deles sendo a quantidade de insumos utilizados para realização de obras como residências com estrutura de concreto armado. Um dos insumos mais utilizados é o Cimento Portland, devido sua trabalhabilidade e resistência obtida com o concreto.

Para a construção de uma residência são necessários elementos estruturais como fundações, pilares, vigas e lajes. Comumente são utilizadas as lajes maciças, as quais, segundo Pinheiro (2003) são elementos planos, em geral horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta denominada espessura. A principal função das lajes é receber os carregamentos atuantes no andar, provenientes do uso da construção (pessoas, móveis e equipamentos), e transferi-los para os apoios.

Porém, devido às cargas atuantes, a laje deforma em formato de arco gerando uma região de compressão e outra de tração, acima e abaixo da linha neutra respectivamente. De acordo com Moura (2019), a linha neutra é compreendida como um plano que separa duas regiões – a comprimida e a tracionada – em um mesmo elemento quando submetido à flexão, como pode ser observado pela figura 1. A região comprimida é resistida pelo concreto, enquanto a região tracionada fissa o mesmo e é resistida pelo aço. Ou seja, o concreto pouco resiste aos esforços de tração, podendo ser retirado em certas áreas tracionadas para redução do peso e do material utilizado.

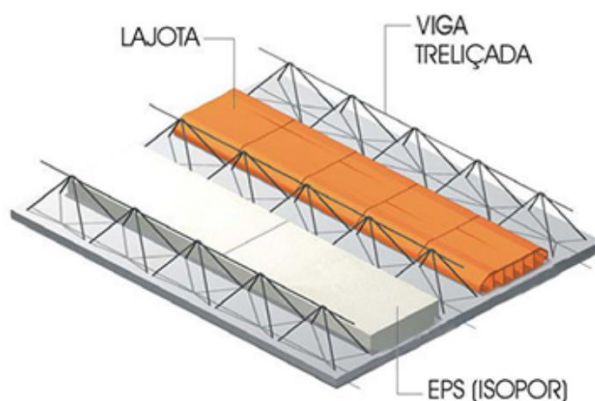
Figura 1: Representação da linha neutra



Fonte: MOURA (2019)

De acordo com a ABNT NBR 14859-1:2016, lajes pré-fabricadas são elementos estruturais planos, constituídos por elementos pré-fabricados, estruturais e inertes de enchimento e/ou de forma permanente, armaduras e concreto complementar de obra, sendo compostos por espaçadores e vigotas. A figura 2 ilustra a composição desses elementos. A laje treliçada tem sido mais utilizada devido sua praticidade na construção e economia de insumos.

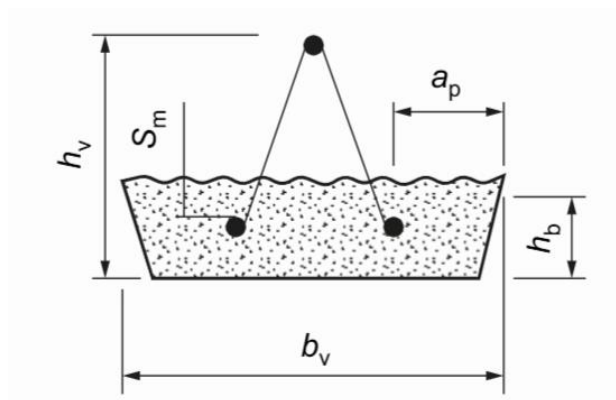
Figura 2: Representação dos tipos de elementos de enchimento que podem ser utilizados nas lajes treliçadas unidirecionais, lajotas cerâmicas ou poliestireno expandido.



Fonte: Mapa da Obra (2015)

A ABNT NBR 14859-1:2016 descreve diferentes tipos de vigotas que podem ser utilizadas, essas podem ser com armadura simples, protendida ou treliçada, este sendo representado pela figura 3.

Figura 3: Vigota treliçada



Fonte: ABNT NBR 14859-1:2016

Onde:

h_v é a altura da vigota com armadura treliçadas;

h_b representa a altura do apoio da vigota;

b_v representa a largura da vigota com armadura treliçada;

a_p representa a largura do apoio da vigota.

Segundo Bastos (2023), as vigotas, em conjunto com a capa de concreto (ou mesa), fornecem a resistência à laje, atuando para resistir aos momentos fletor e as forças cortantes. Servem de apoio também aos blocos cerâmicos ou de isopor (EPS). Esses blocos têm a função de dar forma ao concreto, além de auxiliarem na redução do peso próprio da laje por serem vazados e mais leves que o concreto armado.

Atualmente, existem diversos softwares que auxiliam o cálculo estrutural de edifícios e outras estruturas como o SAP2000, Cypecad, TQS® e etc. De acordo com o TQS Docs, o software TQS é um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado. Dentre os principais recursos oferecidos, pode-se destacar a fácil entrada de dados do pavimento, todas as lajes treliçadas de um pavimento são analisadas em conjunto, através de um único modelo, além de considerar as lajes unidirecionais e bidirecionais e vigotas justapostas; realiza a análise estrutural através de grelhas, calcula automaticamente a armadura complementar necessária, calcula a fissuração do concreto e a deformação do mesmo, gerando, enfim, os desenhos finais e as tabelas de quantitativos. Neste trabalho será feito uso do TQS® para desenvolver os desenhos de detalhamento das armaduras das lajes presentes no piso superior de ambos projetos.

2. OBJETIVOS

Objetivos Geral:

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência estrutural e os custos associados às lajes maciças de concreto armado, em comparação com as lajes treliçadas unidirecionais, a fim de identificar as vantagens e limitações de cada sistema.

Objetivos Específicos:

- Avaliar as taxas de armaduras empregadas em ambos sistemas estruturais de laje;
- Comparar os valores de flechas obtidos em cada solução estrutural;
- Analisar o peso próprio da estrutura em ambos os tipos de lajes;
- Verificar os custos relacionados ao volume de concreto utilizado;
- Avaliar o custo do aço necessário para a execução de cada sistema.

3. METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma análise comparativa entre duas soluções de lajes, as maciças e treliçadas unidirecionais. Será feito a comparação dos parâmetros presentes nos objetivos, como: volume utilizado de concreto armado, taxa de aço a partir do peso das barras, custos em relação ao peso do aço e deflexões máximas presentes nas lajes superiores da residência analisada no estudo.

Inicialmente será feito a revisão bibliográfica sobre o tema estudando as lajes maciças e treliçadas, abordando as normas ABNT NBR 6118:2023 Projeto de estruturas de concreto; ABNT NBR 14859-1:2016 Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis — Requisitos; ABNT NBR 14859-2:2016 Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma — Requisitos; ABNT NBR 14859-3:2024 Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 3: Armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas — Requisitos e ABNT NBR 14859-5:2022 Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 5: Método de ensaio e requisitos de aceitação dos elementos pré-fabricados de concreto, com o intuito de esclarecer, descrever as terminologias utilizadas e recomendações das normas, além de utilizá-las no projeto que será estudado neste trabalho.

Em seguida, serão projetadas as lajes dos pavimentos superiores das residências a serem estudadas, composta por dois pavimentos, uma residência será projetada utilizando lajes maciças para a composição dos pavimentos superiores e cobertura, enquanto que a segunda residência será projetada utilizando as lajes treliçadas unidirecionais.

Após o dimensionamento do projeto, será feito o cálculo estrutural de ambas residências para análise. Será feito proveito do software TQS® para realização dos desenhos de armação dos projetos a serem analisados neste trabalho.

Por fim, será feita a análise comparativa entre a laje maciça e treliçada unidirecional, comparando suas taxas de armadura, flechas, peso próprio, custo do volume de concreto utilizado e custo da armadura dimensionada.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Lajes maciças

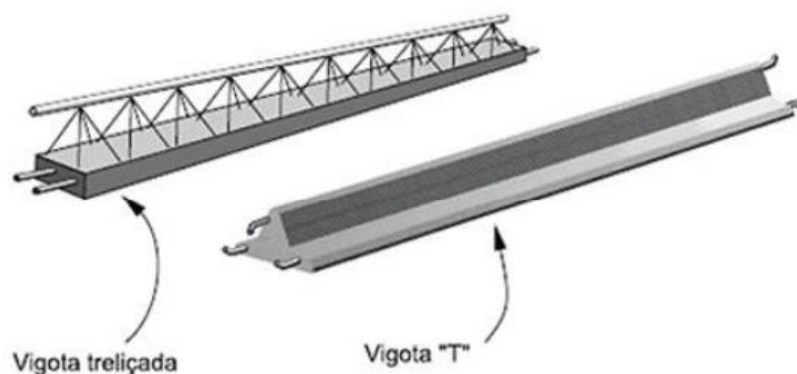
Lajes maciças são um dos tipos de lajes existentes, são placas que, além das cargas permanentes, recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios; travam os pilares e distribuem as ações horizontais entre os elementos de contraventamento. (PINHEIRO, 2007). Seu formato prismático é preenchido totalmente por concreto envolvendo as armaduras positivas e negativas inseridas.

As lajes maciças são comumente utilizadas na construção civil devido sua facilidade no preparo das formas, lançamento do concreto e preparo das armaduras. Entretanto, devido a grande quantidade adicionada de concreto armado, seu peso próprio agrega com altas cargas nos esforços verticais aplicados na estrutura. Certa quantidade de concreto não é utilizada para resistir aos esforços de flexão, portanto, esse material frágil à tração, a qual é gerada pelos esforços de flexão, gera uma carga na estrutura que pode ser retirada em pontos estratégicos da laje. Segundo Antunes (2017), essa eliminação do concreto propicia uma redução no peso próprio e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. Além disso, o emprego das lajes nervuradas simplifica a execução e permite a industrialização, com redução de perdas e aumento da produtividade, racionalizando a construção.

4.2. Lajes treliçadas unidirecionais

A Laje Treliçada Unidirecional é outro método para dimensionamento e execução de lajes. De acordo com a ABNT NBR 14859-1, a laje pré-fabricada é o elemento estrutural plano, constituído por elementos pré-fabricados, estruturais e inertes de enchimento e/ou de forma permanente, armaduras e concreto complementar de obra, podendo ser maciço, nervurado unidirecional seção “T”, nervurado unidirecional seção duplo “T”, nervurada bidirecional também seção “T” e nervurada bidirecional seção duplo “T”, capaz de vencer vão e suportar carregamento conforme especificações de projeto.

Figura 4: Elementos de laje com vigotas pré-fabricadas



Fonte: FERREIRA (2015)

Figura 5: Elementos de laje com painéis pré-fabricados



Fonte: FERREIRA (2015)

As lajes treliçadas unidirecionais são compostas por diversas vigotas com armadura treliçada, espaçadas uniformemente com elementos de enchimento. As vigotas são responsáveis em receber os esforços de tração oriundos dos esforços atuantes na laje. Em contrapartida, a mesa colaborante resiste aos esforços de compressão que atuam acima da linha neutra da laje.

As lajes pré-fabricadas, ou treliçadas, ganharam espaço na aplicação em construções residenciais de pequeno porte e em edificações de baixa altura devido ao bom desempenho estrutural e facilidade de execução (BASTOS, 2006). As lajes treliçadas proporcionam uma redução na quantidade de concreto utilizado no enchimento dessa peça estrutural, além de utilizar um material de enchimento de baixo preço, normalmente o EPS.

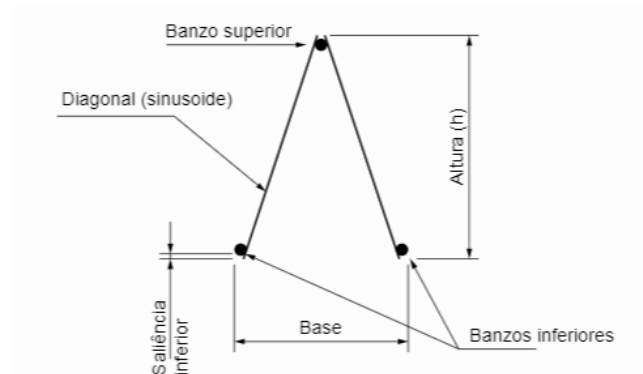
Figura 6: Vigota treliçada



Fonte: Lajes Tijucas (2025)

A vigota é composta por concreto estrutural e armadura treliçada eletrossoldada, exercendo a função de armadura principal passiva. Esta é composta por duas barras longitudinais paralelas na base e uma barra no banzo superior interligados por eletrofusão aos dois fios ou barras diagonais contínuas (sinusoides), com espaçamento regular. (NBR 14859-3:2016).

Figura 7: Seção típica de uma armadura treliçada eletrossoldada



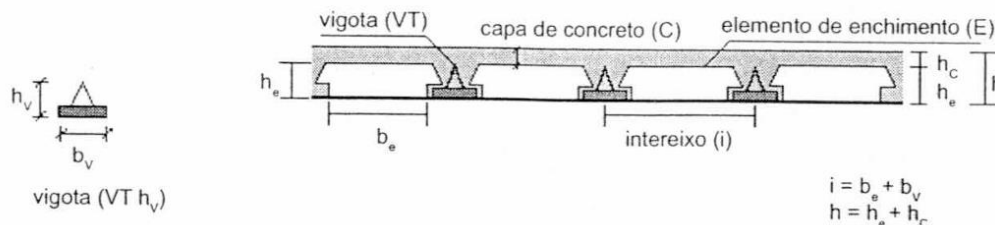
Fonte: ABNT NBR 14859-3:2016

4.3. Modelo de cálculo: vigas independentes

De acordo com LAIO (2022), o modelo de vigas independentes é um método de cálculo onde as lajes em estudo são analisadas como pequenas vigas em que a contribuição da laje é dividida entre as vigas que a formam. Este modelo é o mais próximo das lajes treliçadas unidirecionais. Neste caso, as vigas que compõem as lajes treliçadas

unidirecionais são dimensionadas como Vigas “T” devido a presença de uma capa de concreto que envolve todas as vigotas presentes na formação da laje.

Figura 8: Laje pré fabricada com vigotas treliçadas



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2007)

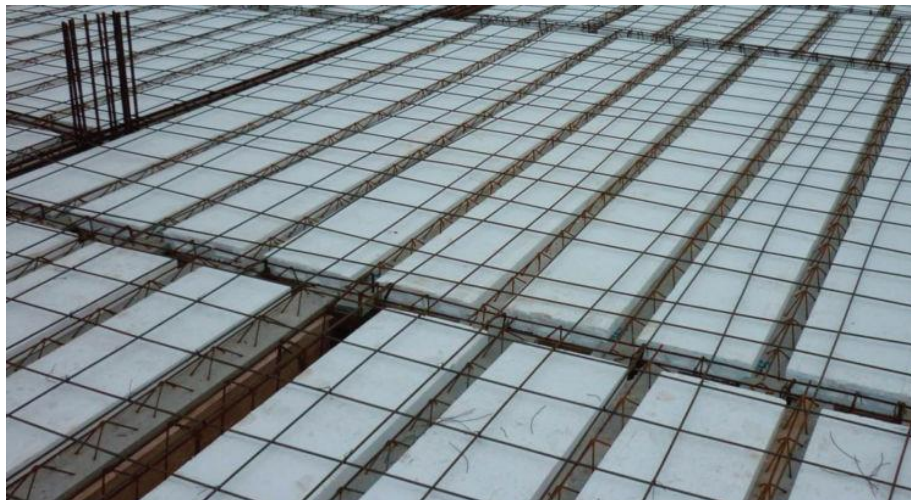
4.4. Elementos de enchimento

De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, elementos de enchimento são elementos pré-fabricados não estruturais, fabricados com materiais inertes diversos, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as vigotas ou dispostos sobre os minipainéis e painéis, com a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje e de servir como fôrma para o concreto complementar.

Como visto anteriormente, as lajes treliçadas unidirecionais não são completamente preenchidas de concreto armado como as lajes maciças, porém, ainda é necessário preencher o espaço onde foi retirado o concreto para dar formato e sustentação no ato de enchimento. Diante dessa situação é vital o uso de enchimentos, materiais de menor peso específico e de diferentes formatos e materiais que são utilizados entre as vigotas, dando espaçamento regular e formato da laje treliçada.

Um dos tipos comumente utilizados na construção de lajes treliçadas unidirecionais são as Lajotas de EPS (poliestireno expandido) devido sua fácil manuseabilidade e por sua alta disponibilidade no mercado. Seu baixo peso específico contribui na facilidade na montagem e ajuda a reduzir o peso próprio da estrutura.

Figura 9: Enchimentos de EPS entre vigotas



Fonte: Lajes Itaim (2025)

Como mencionado, esses elementos são não estruturais, não devem receber as cargas provenientes da estrutura, sendo somente utilizado como forma para o concreto complementar e permitindo obter a seção final conforme projeto, porém devem resistir à carga mínima de ruptura de 1,0 kN, suficiente para suportar esforços de trabalho durante a montagem e concretagem da laje.

4.5. Software

Atualmente, é possível utilizar recursos tecnológicos para auxiliar no projeto estrutural de uma edificação, sendo possível uma redução no tempo necessário para realizar a análise estrutural, pois os softwares atuais realizam grande parte das contas matemáticas, muitas vezes repetidas e possíveis de automatizar.

O TQS® é um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado. É composto por um conjunto de sistemas que, de forma totalmente integrada e automatizada, fornecem recursos necessários para a concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos até a emissão de plantas. (TQS Estudante, 2025)

Dentro do que pode ser analisado pelo software estão informações das quais auxiliarão no desenvolvimento do projeto como a elaboração do modelo estrutural a partir da planta baixa do projeto, a visualização tridimensional dos projetos a serem

dimensionados, a geração de desenhos como planta baixa e detalhamentos das armaduras dos projetos, etc.

4.6. Dimensionamento de lajes maciças e treliçadas unidirecionais

Inicialmente, deve-se realizar o pré-dimensionamento, onde será adotado uma espessura “h” para o cálculo a partir da altura útil “d”, onde essa altura deverá respeitar os valores mínimos estabelecidos por norma. Além disso, a espessura de uma laje deve respeitar o cobrimento mínimo necessário para proteção da armadura interna. A tabela 1 apresenta os valores estabelecidos por norma.

Tabela 1: Relação da classe de agressividade ambiental com cobrimento nominal mínimo

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1) | | | |
|----------------------------------|--|--|----|-----|-----------------|
| | | I | II | III | IV ^c |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ^b | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo ^d | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido ^a | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

Então, considerando os parâmetros mínimos para a altura da laje, ou espessura, utiliza-se da seguinte fórmula para o cálculo.

$$h = d + c + \Phi + \frac{\Phi}{2} \quad (1)$$

Onde temos:

h - Altura da laje

d - Altura útil da laje

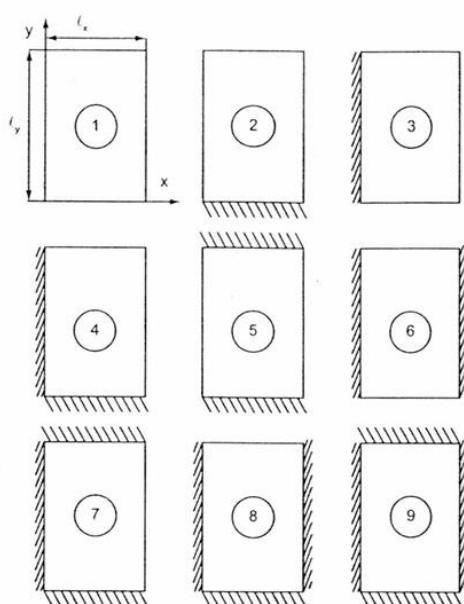
c - Cobrimento mínimo

Φ - Bitola da armadura

Determinado o valor inicial da altura da laje, é efetuado o cálculo para determinação das cargas atuantes na laje. Deve-se considerar o peso próprio da estrutura, cargas acidentais, as quais são estabelecidas pela ABNT NBR 6120:2019, revestimentos superiores e inferiores, pisos e contrapisos. As cargas são dadas em kN/m^2 .

Conhecendo as cargas atuantes nas lajes, deve-se calcular os esforços internos gerados para verificação dos estados limites último e de serviço. Para lajes maciças é possível utilizar tabelas com valores padronizados que variam de acordo com a relação dos lados da laje e suas vinculações com lajes adjacentes. De acordo com Carvalho (2007), os quadros facilmente possibilitam determinar momentos fletores máximos e deslocamentos máximos (flechas) a partir da geometria e das condições de vinculação da placa.

Figura 10: Situações de vinculação das lajes



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2007)

Além de Carvalho e Figueiredo, Pinheiro apresenta uso de tabelas para o dimensionamento de lajes maciças, com valores tabelados dependendo do tipo de vinculação apresentada na laje. Após a determinação dos momentos fletores, deve-se calcular a quantidade de aço necessária para a seção de concreto.

Tabela 2: Cálculo da área de aço a partir de k_c e k_s

| TABELA 1.1a - Valores de k_c e k_s para o aço CA-50, considerando $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$ | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|---------|
| FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES | | | | | | | | | |
| $\beta_x = \frac{x}{d}$ | $k_c = \frac{b_w \cdot d^2}{M_d} \text{ (cm}^2/\text{kN)}$ | | | | | | | $k_s = \frac{A_s \cdot d}{M_d} \text{ (cm}^2/\text{kN)}$ | DOMÍNIO |
| | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | CA-50 | |
| 0,01 | 103,35 | 82,68 | 68,90 | 59,06 | 51,68 | 47,77 | 44,53 | 0,0231 | 2 |
| 0,02 | 51,89 | 41,51 | 34,59 | 29,65 | 25,94 | 23,98 | 22,36 | 0,0232 | |
| 0,03 | 34,73 | 27,78 | 23,15 | 19,85 | 17,37 | 16,05 | 14,96 | 0,0233 | |
| 0,04 | 26,15 | 20,92 | 17,44 | 14,95 | 13,08 | 12,09 | 11,27 | 0,0234 | |
| 0,05 | 21,01 | 16,81 | 14,01 | 12,00 | 10,50 | 9,71 | 9,05 | 0,0235 | |
| 0,06 | 17,58 | 14,06 | 11,72 | 10,05 | 8,79 | 8,13 | 7,57 | 0,0236 | |
| 0,07 | 15,13 | 12,10 | 10,09 | 8,65 | 7,56 | 6,99 | 6,52 | 0,0237 | |
| 0,08 | 13,29 | 10,63 | 8,86 | 7,60 | 6,65 | 6,14 | 5,73 | 0,0238 | |
| 0,09 | 11,87 | 9,49 | 7,91 | 6,78 | 5,93 | 5,48 | 5,11 | 0,0239 | |
| 0,10 | 10,72 | 8,58 | 7,15 | 6,13 | 5,36 | 4,96 | 4,62 | 0,0240 | |
| 0,11 | 9,79 | 7,83 | 6,53 | 5,59 | 4,89 | 4,52 | 4,22 | 0,0241 | |
| 0,12 | 9,01 | 7,21 | 6,01 | 5,15 | 4,51 | 4,17 | 3,88 | 0,0242 | |
| 0,13 | 8,35 | 6,68 | 5,57 | 4,77 | 4,18 | 3,86 | 3,60 | 0,0243 | |
| 0,14 | 7,79 | 6,23 | 5,19 | 4,45 | 3,89 | 3,60 | 3,36 | 0,0244 | |
| 0,15 | 7,30 | 5,84 | 4,87 | 4,17 | 3,65 | 3,37 | 3,15 | 0,0245 | |
| 0,16 | 6,87 | 5,50 | 4,58 | 3,93 | 3,44 | 3,18 | 2,96 | 0,0246 | |
| 0,17 | 6,50 | 5,20 | 4,33 | 3,71 | 3,25 | 3,00 | 2,80 | 0,0247 | |
| 0,18 | 6,16 | 4,93 | 4,11 | 3,52 | 3,08 | 2,85 | 2,66 | 0,0248 | |
| 0,19 | 5,86 | 4,69 | 3,91 | 3,35 | 2,93 | 2,71 | 2,53 | 0,0249 | |
| 0,20 | 5,59 | 4,48 | 3,73 | 3,20 | 2,80 | 2,59 | 2,41 | 0,0250 | |
| 0,21 | 5,35 | 4,28 | 3,57 | 3,06 | 2,68 | 2,47 | 2,31 | 0,0251 | |
| 0,22 | 5,13 | 4,10 | 3,42 | 2,93 | 2,57 | 2,37 | 2,21 | 0,0252 | |
| 0,23 | 4,93 | 3,94 | 3,29 | 2,82 | 2,46 | 2,28 | 2,12 | 0,0253 | |
| 0,24 | 4,74 | 3,80 | 3,16 | 2,71 | 2,37 | 2,19 | 2,04 | 0,0254 | |
| 0,25 | 4,58 | 3,66 | 3,05 | 2,61 | 2,29 | 2,11 | 1,97 | 0,0256 | |
| 0,259 | 4,43 | 3,55 | 2,96 | 2,53 | 2,22 | 2,05 | 1,91 | 0,0257 | |

Fonte: Pinheiro (2024)

Calculando a área de aço necessária a partir da tabela 2, efetua-se o detalhamento das lajes maciças, informando quantidade, espaçamento e tipo de vergalhão a ser utilizado. A tabela 3 pode ser utilizada no detalhamento das armaduras principais das lajes maciças.

Tabela 3: Relação da área de aço com espaçamento entre barras

| Tabela 1.4a | | | | | | | |
|---|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| ÁREA DA SEÇÃO DE BARRAS POR METRO DE LARGURA a_s (cm ² /m) | | | | | | | |
| s (cm) | DIÂMETRO NOMINAL (mm) | | | | | | s (cm) |
| | 5,0 | 6,3 | 8,0 | 10,0 | 12,5 | 16,0 | |
| 5,0 | 3,92 | 6,24 | 10,06 | 15,70 | 24,54 | 40,22 | 5,0 |
| 5,5 | 3,56 | 5,67 | 9,15 | 14,27 | 22,31 | 36,56 | 5,5 |
| 6,0 | 3,27 | 5,20 | 8,38 | 13,08 | 20,45 | 33,52 | 6,0 |
| 6,5 | 3,02 | 4,80 | 7,74 | 12,08 | 18,88 | 30,94 | 6,5 |
| 7,0 | 2,80 | 4,46 | 7,19 | 11,21 | 17,53 | 28,73 | 7,0 |
| 7,5 | 2,61 | 4,16 | 6,71 | 10,47 | 16,36 | 26,81 | 7,5 |
| 8,0 | 2,45 | 3,90 | 6,29 | 9,81 | 15,34 | 25,14 | 8,0 |
| 8,5 | 2,31 | 3,67 | 5,92 | 9,24 | 14,44 | 23,66 | 8,5 |
| 9,0 | 2,18 | 3,47 | 5,59 | 8,72 | 13,63 | 22,34 | 9,0 |
| 9,5 | 2,06 | 3,28 | 5,29 | 8,26 | 12,92 | 21,17 | 9,5 |
| 10,0 | 1,96 | 3,12 | 5,03 | 7,85 | 12,27 | 20,11 | 10,0 |
| 11,0 | 1,78 | 2,84 | 4,57 | 7,14 | 11,15 | 18,28 | 11,0 |
| 12,0 | 1,63 | 2,60 | 4,19 | 6,54 | 10,23 | 16,76 | 12,0 |
| 12,5 | 1,57 | 2,50 | 4,02 | 6,28 | 9,82 | 16,09 | 12,5 |
| 13,0 | 1,51 | 2,40 | 3,87 | 6,04 | 9,44 | 15,47 | 13,0 |
| 14,0 | 1,40 | 2,23 | 3,59 | 5,61 | 8,76 | 14,36 | 14,0 |
| 15,0 | 1,31 | 2,08 | 3,35 | 5,23 | 8,18 | 13,41 | 15,0 |
| 16,0 | 1,23 | 1,95 | 3,14 | 4,91 | 7,67 | 12,57 | 16,0 |
| 17,0 | 1,15 | 1,84 | 2,96 | 4,62 | 7,22 | 11,83 | 17,0 |
| 17,5 | 1,12 | 1,78 | 2,87 | 4,49 | 7,01 | 11,49 | 17,5 |
| 18,0 | 1,09 | 1,73 | 2,79 | 4,36 | 6,82 | 11,17 | 18,0 |
| 19,0 | 1,03 | 1,64 | 2,65 | 4,13 | 6,46 | 10,58 | 19,0 |
| 20,0 | 0,98 | 1,56 | 2,52 | 3,93 | 6,14 | 10,06 | 20,0 |
| 22,0 | 0,89 | 1,42 | 2,29 | 3,57 | 5,58 | 9,14 | 22,0 |
| 24,0 | 0,82 | 1,30 | 2,10 | 3,27 | 5,11 | 8,38 | 24,0 |
| 25,0 | 0,78 | 1,25 | 2,01 | 3,14 | 4,91 | 8,04 | 25,0 |
| 26,0 | 0,75 | 1,20 | 1,93 | 3,02 | 4,72 | 7,73 | 26,0 |
| 28,0 | 0,70 | 1,11 | 1,80 | 2,80 | 4,38 | 7,18 | 28,0 |
| 30,0 | 0,65 | 1,04 | 1,68 | 2,62 | 4,09 | 6,70 | 30,0 |
| 33,0 | 0,59 | 0,95 | 1,52 | 2,38 | 3,72 | 6,09 | 33,0 |

Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.
De acordo com a NBR 7480:1996.

Fonte: Pinheiro

Em seguida, calcula-se a flecha imediata, com a expressão adaptada por Pinheiro (1993).

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{p \cdot l_x^4}{E_c I_c} \quad (2)$$

Onde:

α é o coeficiente adimensional tabelado, função do tipo de vinculação e de $\lambda = \frac{l_y}{l_x}$;

$b = 100$ cm;

$p = g + q$ é o valor da carga para combinação rara, a qual será utilizada neste trabalho;

l_x é o menor vão;

$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ (em MPa) é o módulo de elasticidade secante do concreto.

Determinando a flecha imediata, calcula-se a flecha diferida. Segundo o item 17.3.1.1.2 da ABNT NBR 6118:2023, a flecha adicional diferida, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f dado pela expressão:

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50\rho'} \quad (3)$$

Onde:

$$\rho = \frac{A_s'}{bd} \quad (4)$$

A_s' é a armadura de compressão, no caso de armadura dupla;

ξ é um coeficiente em função do tempo, calculado pela expressão seguinte ou obtido diretamente na Tabela 4.

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad (5)$$

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,966^t) \cdot t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

Tabela 4: Valores de coeficiente ξ em função do tempo

| Tempo (t) meses | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 20 | 40 | ≥ 70 |
|-------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Coeficiente $\xi(t)$ | 0 | 0,54 | 0,68 | 0,84 | 0,95 | 1,04 | 1,12 | 1,36 | 1,64 | 1,89 | 2 |

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

t é o tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;

t_0 é a idade, em meses, relativa à aplicação da carga de longa duração.

A flecha total a_t pode ser obtida pela expressão:

$$a_t = a_i(1 + \alpha_f) \quad (6)$$

Entretanto, para lajes treliçadas unidirecionais não se aplica o mesmo procedimento. As cargas encontradas anteriormente em kN/m^2 devem ser calculadas em um carregamento distribuído de unidade kN/m/nervura , possibilitando o cálculo da nervura como uma viga isolada. Em seguida, para ambos os casos, calcula-se as lajes como vigas, para lajes maciças, entretanto, adota-se uma base de um metro com objetivo de calcular a armadura por unidade de metro.

As fórmulas adimensionais para o dimensionamento a serem utilizadas foram obtidas a partir do equilíbrio das forças atuantes na seção. De acordo com Carvalho (2007), é conveniente trabalhar com fórmulas adimensionais, pois facilita o emprego de diversos sistemas de unidades e permite a utilização de tabelas e gráficos de modo mais racional. Têm-se, então:

$$KMD = \frac{M_d}{d^2 \cdot b_w \cdot f_{cd}} \quad (7)$$

$$KX = \frac{x}{d} \quad (8)$$

$$KZ = 1 - 0,4 \cdot KX \quad (9)$$

Onde:

M_d - Momento fletor de projeto

d - altura útil da laje

b_w - base da laje

f_{cd} - tensão resistente do concreto de projeto

x - altura da linha neutra da laje

Deve-se calcular, também, as flechas provenientes das lajes. Para determinação das flechas das lajes pré-moldadas, Carvalho e Figueiredo Filho (2013) sugerem, em

favor da segurança, que seja feito considerando as vigotas com comportamento de elementos isolados. A seguinte expressão é utilizada para o cálculo da flecha imediata para situação de nervuras simplesmente apoiadas nas extremidades.

$$a = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E_c \cdot I_m} \quad (10)$$

Onde:

p - ação atuante em uma nervura

l - vão do tramo da nervura

E_c - módulo de deformabilidade do concreto

I_m - inércia média

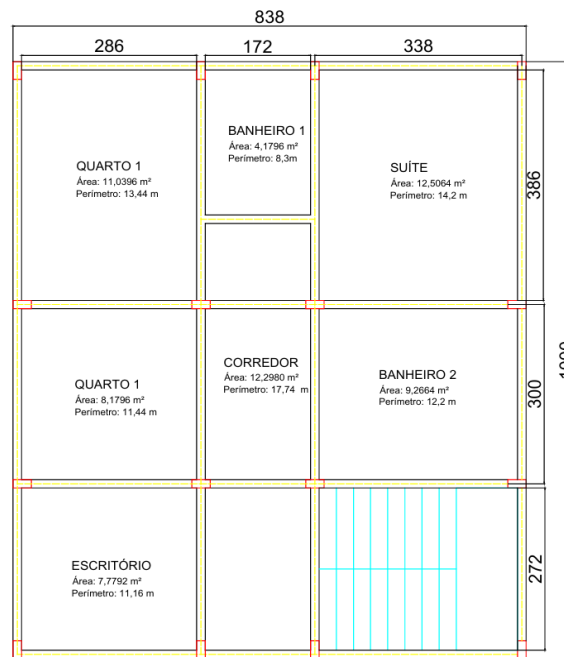
5. DESENVOLVIMENTO

5.1. Informações do projeto

O projeto utilizado neste trabalho foi produzido pelo autor. O objeto a ser estudado trata-se de uma residência unifamiliar localizada na cidade de Manaus de dois pavimentos com área total de 83,8 m² e altura total de 6,6 m.

O projeto estrutural foi calculado seguindo a planta baixa da figura 11, os pavimentos térreo, superior e cobertura apresentam a mesma planta tipo, onde entre o térreo e o piso superior existe uma escada com patamar conectando os dois.

Figura 11: Planta baixa do piso superior

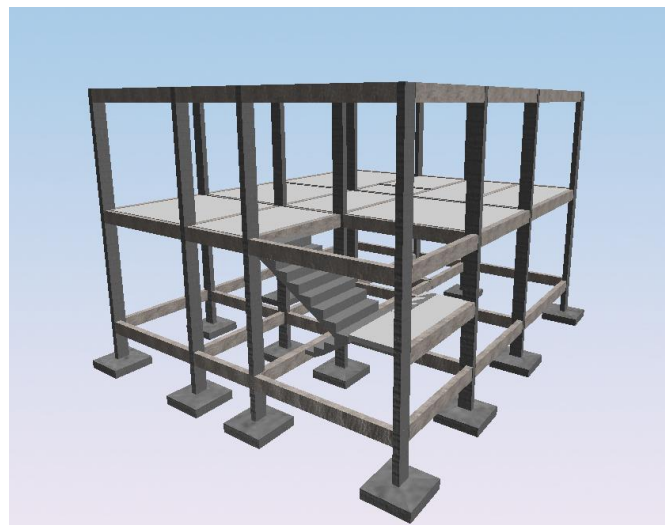


PISO SUPERIOR

Fonte: Autor (2025)

Para o estudo deste trabalho, será feita a análise de dois projetos residenciais idênticos em planta arquitetônica. No primeiro projeto serão utilizadas as Lajes Maciças nos pavimentos superior e cobertura. O segundo projeto utiliza das Lajes Treliçadas Unidirecionais para composição de seus pavimentos.

Figura 12: Visualização 3D do projeto



Fonte: Autor (2025)

Para esse estudo, serão analisadas as lajes maciças e treliçadas presentes no pavimento superior do projeto, das quais foram numeradas nas lajes 101 a 110. As lajes de ambos projetos contêm as mesmas medidas e adotam a mesma planta baixa apresentada na figura 11. As cargas acidentais e permanentes serão calculadas de acordo com a laje sendo utilizada e com os valores adotados a partir das normas.

5.2. Dimensionamento das Lajes Treliçadas

Inicialmente, adota-se uma altura total h para realização de cálculos. De acordo com Carvalho (2007), é possível determinar a altura inicial em função do vão livre e da carga aplicada na laje utilizando quadros, calculando-a para o caso ELU.

Tabela 5: Alturas iniciais para laje-pré moldada em função de carga e vãos livre máximos

| Altura total da laje (cm) | Peso próprio (kN/m ²) | $p < 1,0 \text{ kN/m}^2$ (forro) | $2,0 \text{ kN/m}^2 < p < 5,0 \text{ kN/m}^2$ |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 10 | 1,10 | 3,5 m | ----- |
| 12 | 1,41 | 5,0 m | 4,5 m |
| 14 | 1,50 | 6,0 m | 5,5 m |
| 16 ou maior | > 1,61 | ----- | > 5,5 m |

Valores de peso próprio estimados para intereixo de 50 cm, capa de 3 cm, material de enchimento cerâmico.

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2007)

A altura total da laje treliçada é composta pelo elemento de enchimento e a capa de concreto a qual cobre e conecta as vigotas na parte superior da laje. Segundo a NBR 14859-1:2002, as alturas totais das lajes devem ser indicadas de acordo com as alturas dos elementos de enchimento.

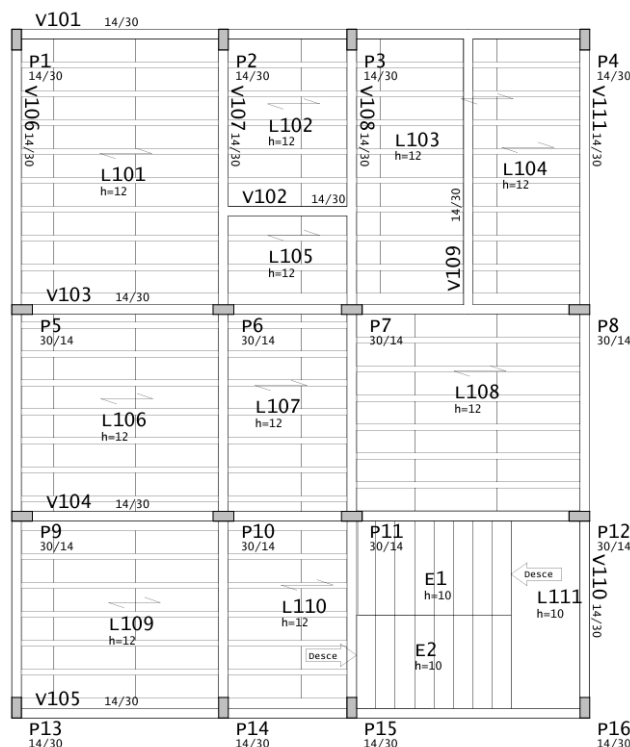
Tabela 6: Relação da altura do elemento de enchimento com a altura total da laje

| Altura do elemento de enchimento (h _e) | Altura total da laje (h) |
|--|--------------------------|
| 7,0 | 10,0; 11,0; 12,0 |
| 8,0 | 11,0; 12,0; 13,0 |
| 10,0 | 14,0; 15,0 |
| 12,0 | 16,0; 17,0 |
| 16,0 | 20,0; 21,0 |
| 20,0 | 24,0; 25,0 |
| 24,0 | 29,0; 30,0 |
| 29,0 | 34,0; 35,0 |

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2007)

Com as alturas determinadas, segue para o cálculo das cargas atuantes nas lajes, permanentes, acidentais e peso próprio dos elementos estruturais.

Figura 13: Forma estrutural do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais



Fonte: Autor (2025)

Para edifícios residenciais, a NBR 6120:2019 apresenta valores para as cargas acidentais e permanentes nas figuras 17 e 18, as quais serão adotadas neste projeto.

Tabela 7: Peso específico para revestimentos de pisos.

Tabela 4 – Revestimentos de pisos e impermeabilizações

| Material | Espessura cm | Peso kN/m ² |
|--|-----------------|---------------------------|
| Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica) | 0,3 | 0,08 |
| | 0,4 | 0,10 |
| | 0,5 | 0,11 |
| Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura) | – | 0,5 |
| Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura) | – | 0,15 |
| Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$) | 5 | 1,0 |
| | 7 | 1,4 |
| Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$) | 5 | 1,7 |
| | 7 | 2,4 |
| Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$) | 10 | 1,8 |
| | 15 | 2,7 |

NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.

Fonte: ABNT NBR 6120:2019

Tabela 8: Cargas uniformemente distribuídas para edifícios residenciais em kN/m².

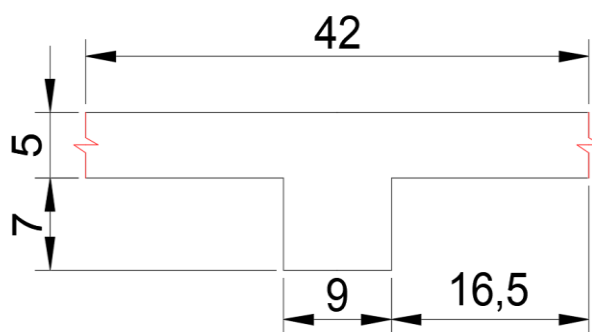
| | | | |
|---------------------------------|--|--------------------|---|
| Edifícios residenciais | Dormitórios | 1,5 | — |
| | Sala, copa, cozinha | 1,5 | — |
| | Sanitários | 1,5 | — |
| | Despensa, área de serviço e lavanderia | 2 | — |
| | Quadras esportivas | 5 ^a | — |
| | Salão de festas, salão de jogos | 3 ^a | — |
| | Áreas de uso comum | 3 ^a | — |
| | Academia | 3 ^a | — |
| | Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais | 0,1 ^{a,r} | — |
| | Sótão | 2 ^a | — |
| | Corredores dentro de unidades autônomas | 1,5 | — |
| | Corredores de uso comum | 3 | — |
| | Depósitos | 3 | — |
| | Áreas técnicas (ver item nesta Tabela) | | |
| Jardins (ver item nesta Tabela) | | | |

Fonte: ABNT NBR 6120:2019

As cargas uniformemente distribuídas em kN/m² serão convertidas em carregamentos distribuídos em kN/m, pois as vigas serão analisadas individualmente com vigas isoladas.

Por fim, determina-se as cargas provenientes do peso próprio da vigotas e da capa de concreto, as quais fazem parte da composição da laje treliçada unidirecional. Para isto, calcula-se as cargas provenientes do peso próprio ao multiplicar a seção transversal do elemento estrutural por seu peso específico. Segundo a NBR 6120:2019, o peso específico do concreto armado é de 25 kN/m³.

Figura 14: Dimensões da seção transversal da vigota treliçada em centímetros.



Fonte: Autor (2025)

As cargas dos elementos de enchimentos também devem ser consideradas no cálculo. De forma parecida ao cálculo do peso próprio das vigotas treliçadas será feita a

determinação das cargas referentes ao EPS Unidirecional. A ABNT NBR 11752:2024 Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial — Especificação, informa diferentes pesos específicos para diferentes tipos de poliestireno expandido apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Densidade aparente mínima para diferentes tipos de poliestireno expandido

Tabela 1 – Características requeridas para o poliestireno expandido

| Propriedades | Métodos de ensaio | Unidade | EPS 1 | EPS 2 | EPS 3 | EPS 4 | EPS 5 | EPS 6 | EPS 7 | EPS 8 |
|---------------------------|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Densidade aparente mínima | ABNT NBR 11949, ASTM D1622 ou ABNT NBR 16866 | kg/m ³ | 10 | 12 | 15 | 18 | 22 | 29 | 38 | 48 |

Fonte: ABNT NBR 11752:2024

De acordo com Bezerra e Nunes (2020), os quais obtiveram dados da Isoplast, uma das fábricas que produzem produtos em EPS no norte-nordeste brasileiro, o EPS após seu processo de polimerização, apresenta em seu volume 98% de ar e apenas 2% de poliestireno (material sólido). O peso específico do material varia entre 10 kg/m³ a 19 kg/m³. Portanto, para este trabalho será adotado o peso específico de 0,18 kN/m³, valor tabelado por norma e que atende o intervalo mencionado pela fabricante.

Com isso, os valores de cargas referentes ao peso próprio das treliças, seus elementos de enchimento e aos carregamentos uniformemente distribuídos gerados por carregamentos permanentes e acidentais podem ser calculados da seguinte forma:

$$g_1 = A_{vigota} * \rho_{C30} + A_{EPS} * \rho_{EPS} \quad (11)$$

$$g_1 = (0,0273 [m^2] * 25) + (0,0231[m^2] * 0,18) = 0,687 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = (g_{101} + q_{101}) * b_f \quad (12)$$

$$g_2 = (1 * 0,42) + (1,5 * 0,42) = 1,05 \text{ kN/m}$$

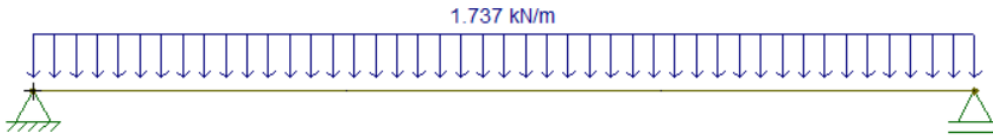
Por fim, tem-se o carregamento uniformemente distribuído em uma viga biapoiada, onde o vão dependerá da laje a ser analisada.

$$g_{total} = g_1 + g_2 \quad (13)$$

$$g_{total} = 0,687 + 1,050$$

$$g_{total} = 1,737 \text{ kN/m}$$

Figura 15: Carregamento distribuído na vigota da laje treliçada unidirecional



Fonte: Autor (2025)

O momento fletor máximo na viga pode ser calculado utilizando a formulação para vigas biapoiadas com carregamentos distribuídos uniformemente.

$$M = \frac{Pl^2}{8} \quad (14)$$

Sendo:

M - Momento Fletor Máximo posicionado na metade da viga em kN.m;

P - Carregamento uniformemente distribuído em kN/m;

l - Vão da viga em metros.

Logo, para a laje 101, por exemplo, os seguintes valores são utilizados para o cálculo do momento.

$$M_k = \frac{1,737 * 3^2}{8} = 1,95 \text{ kN.m}$$

O valor de momento calculado deve ser majorado pelo coeficiente de segurança de valor 1,4. Seguindo o mesmo procedimento para as vigotas presentes nas lajes pode-se determinar os momentos de projeto que serão utilizados para o dimensionamento.

Tabela 10: Momentos fletores atuantes nas vigotas das lajes treliçadas unidirecionais

| MOMENTOS POSITIVOS DE PROJETO LAJES TRELIÇADAS | |
|---|------------------|
| LAJES | Md [kN.m] |
| 101 | 2.74 |
| 102 | 1.05 |
| 103 | 0.87 |
| 104 | 0.87 |
| 105 | 0.62 |
| 106 | 2.74 |
| 107 | 1.05 |
| 108 | 2.74 |
| 109 | 2.49 |
| 110 | 1.05 |

Fonte: Autor (2025)

Com os momentos fletores máximos obtidos é possível calcular a área de aço necessária para as vigotas da laje treliçada unidirecional. Foi utilizado a Fórmula 7, a partir das equações adimensionais utilizadas por Carvalho (2007), para o dimensionamento de vigas retangulares e vigas “T”.

$$KMD = \frac{M_d}{d^2 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{2,74}{(0,0929^2) \cdot 0,42 \cdot 21428,57}$$

$$KMD = 0,04$$

Tabela 11: Dimensionamento por fórmulas adimensionais e área de aço necessária

| LAJES | KMD | KX | KZ | As [cm²/m] |
|--------------|------------|-----------|-----------|------------------------------|
| 101 | 0.04 | 0.0603 | 0.9759 | 0.757 |
| 102 | 0.02 | 0.0298 | 0.9881 | 0.549 |
| 103 | 0.01 | 0.0148 | 0.9941 | 0.236 |
| 104 | 0.01 | 0.0148 | 0.9941 | 0.236 |
| 105 | 0.01 | 0.0148 | 0.9941 | 0.169 |
| 106 | 0.03 | 0.0449 | 0.982 | 0.752 |
| 107 | 0.01 | 0.0148 | 0.9941 | 0.286 |
| 108 | 0.03 | 0.0449 | 0.982 | 0.752 |
| 109 | 0.03 | 0.0449 | 0.982 | 0.684 |
| 110 | 0.01 | 0.0148 | 0.9941 | 0.286 |

Fonte: Autor (2025)

Obtendo as áreas de aço necessárias para cada viga, é possível verificar qual armadura treliçada satisfaz a área calculada. A treliça TR 10644 apresenta altura de 10

centímetros, com o fio superior de bitola Φ 6,0 e aos fios inferiores Φ 4,2. Sua área de aço na seção transversal é de 0,589 cm², área que satisfaz a área mínima necessária para a maioria das vigotas e apresenta altura necessária para que tenha espaço destinado à capa de concreto. Para as lajes 101, 106, 108 e 109 não será o bastante, é preciso adicionar mais uma barra de Φ 5,0 para atingir a área de aço necessária. Ficando então:

Tabela 12: Resultado do detalhamento do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais.

| MOMENTOS POSITIVOS DE PROJETO LAJES TRELIÇADAS | | |
|---|---------------------|--------------|
| Lajes | Vigota | Nomenclatura |
| 101 | TR 10644 + Φ 5 | VT101A |
| 102 | TR 10644 | VT102A |
| 103 | TR 10644 | VT103A |
| 104 | TR 10644 | VT104A |
| 105 | TR 10644 | VT105A |
| 106 | TR 10644 + Φ 5 | VT106A |
| 107 | TR 10644 | VT107A |
| 108 | TR 10644 + Φ 5 | VT108A |
| 109 | TR 10644 + Φ 5 | VT109A |
| 110 | TR 10644 | VT110A |

Fonte: Autor (2025)

Figura 16: Detalhamento do pavimento superior no projeto de lajes treliçadas unidirecionais

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| VT101A | VT102A | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT102A | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT102A | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT102A | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT102A | VT103A | VT104A |
| VT101A | | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT105A | VT103A | VT104A |
| VT101A | VT105A | VT103A | VT104A |
| | | | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| VT106A | VT107A | VT108A | |
| | | | |
| VT109A | VT110A | | |
| VT109A | VT110A | | |
| VT109A | VT110A | | |
| VT109A | VT110A | | |
| VT109A | VT110A | | |

Fonte: Autor (2025)

Para a capa de concreto deve-se calcular a sua armadura de distribuição, portanto, adota-se a área de aço mínima para a capa com espessura de 5 centímetros.

$$A_{s,min} = \frac{15}{100} * b * h \quad (15)$$

$$A_{s,min} = \frac{15}{100} * 100 * 5$$

$$A_{s,min} = 0,75 \text{ cm}^2/m$$

Utilizando a Tabela 2, determina-se o espaçamento necessário para as barras presentes na capa de concreto. Utilizando a bitola de 6,3 milímetros obtém-se um espaçamento de 33 centímetros, o que permite calcular a quantidade de barras verticais e horizontais necessárias.

Por fim, para realizar a comparação da quantidade de aço em quilogramas calcula-se o peso total das barras presentes na capa de concreto somadas com o peso linear da vigota treliçada TR 10644.

Tabela 13: Peso linear de aço CA-60

| VERGALHÃO CA 60 | BITOLA Ø (mm) | POLEGADA Ø | MASSA (kg/m) |
|-----------------|---------------|------------|--------------|
| VERGALHÃO CA 60 | 4,20 | 3/16" | 0,109 |
| VERGALHÃO CA 60 | 5,00 | 3/15" | 0,154 |
| VERGALHÃO CA 60 | 6,00 | 1/4 " | 0,222 |

Fonte: Adaptado da Tabela de Produtos de Aço 4000

Tabela 14: Peso linear de vigotas treliçadas

| TRELIÇA | ALTURA (cm) | DIÂMETRO DOS FIOS (mm) | | | PESO (Kg/m) |
|----------|-------------|------------------------|----------|----------|-------------|
| | | SUPERIOR | DIAGONAL | INFERIOR | |
| TR 08634 | 8 | 6,0 | 3,8 | 4,2 | 0,681 |
| TR 08644 | 8 | 6,0 | 4,2 | 4,2 | 0,735 |
| TR 10644 | 10 | 6,0 | 4,2 | 4,2 | 0,762 |
| TR 12634 | 12 | 6,0 | 3,8 | 4,2 | 0,729 |
| TR 12644 | 12 | 6,0 | 4,2 | 4,2 | 0,793 |
| TR 16745 | 16 | 7,0 | 4,2 | 5,0 | 1,032 |
| TR 20745 | 20 | 7,0 | 4,2 | 5,0 | 1,106 |
| TR 25856 | 25 | 8,0 | 5,0 | 6,0 | 1,700 |
| TR 30856 | 30 | 8,0 | 5,0 | 6,0 | 1,830 |

Fonte: Lajes Jaguaré (2025)

Para a laje 101, por exemplo, calcula-se a quantidade de vigotas presentes na laje dividindo a largura da mesa da viga “T” pelo maior comprimento da laje.

$$N_1 = \frac{l_y}{b_f} \quad (16)$$

$$N_1 = \frac{400}{42} = 9,52$$

Logo, para a laje 101 são necessárias 10 vigotas treliçadas, considerando o arredondamento, as quais serão distribuídas ao decorrer do lado de maior comprimento (l_y) para vencer o vão de menor comprimento (l_x)

Como visto anteriormente, é necessário adicionar mais uma barra de 5,0 mm. Então, o peso em quilogramas das vigotas treliçadas da laje 101 pode ser calculado pela multiplicação da quantidade de vigotas (N_i), pelo peso linear das vigotas treliçadas utilizadas somadas ao peso linear das barras inseridas (q_i) e pela distância do menor vão a ser vencido (l_x).

$$P_1 = N_1 * q * l_x \quad (17)$$

$$P_1 = 10 * (0,762 + 0,154) * 3,00 = 27,48 \text{ kg}$$

Por fim, este resultado será somado com o peso na armadura de distribuição presente na capa de concreto. Fazendo a divisão das dimensões da laje 101 pelo

espaçamento de 33 centímetros obtém-se a quantidade de barras necessárias para cada direção.

$$N_2 = \frac{l_y}{S} \quad (18)$$

$$N_2 = \frac{400}{33}$$

$$N_2 = 13$$

$$N_3 = \frac{l_x}{S} \quad (19)$$

$$N_3 = \frac{300}{33}$$

$$N_3 = 10$$

Sabendo que o peso linear do vergalhão de bitola 6,3mm é de 0,245 kg/m a partir de catálogos, calcula-se o peso do aço presente na capa de concreto efetuando a multiplicação da quantidade de barras pelo comprimento total por seu peso linear.

$$P_n = N_n * q * l \quad (20)$$

$$P_2 = 13 * 0,245 * 3,00 = 9,555 \text{ kg}$$

$$P_3 = 10 * 0,245 * 4,00 = 9,800 \text{ kg}$$

Portanto, o peso de aço presente na laje 101 é feito pelo somatório dos pesos anteriormente calculados.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (21)$$

$$P_{total} = 27,480 + 9,555 + 9,800$$

$$P_{total} = 46,835 \text{ kg}$$

Este processo é feito nas outras lajes presentes no projeto.

Para o cálculo da flecha máxima, utilizou-se a equação da flecha imediata para determinação da flecha da laje 101, a qual apresenta maior momento fletor em sua laje.

$$a = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E_c \cdot I_m} = \frac{5 \cdot 0,019 \cdot (300^4)}{384 \cdot 2557,86 \cdot 778,03}$$

$$a = 1,004 \text{ cm}$$

Em seguida, calcula-se a flecha diferida no tempo onde deve-se considerar o tempo em que a laje inicia a resistir às cargas permanentes de longa duração. Para que a laje do projeto respeite os limites de deslocamentos impostos na tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2023, considerou-se o tempo inicial de 4 meses e o tempo final sendo superior a 70 meses.

$$\alpha_f = \frac{\xi(t) - \xi(t_0)}{1 + 50\rho'} = \frac{2 - 1,04}{1}$$

$$\alpha_f = 0,96$$

Por fim, a flecha total é calculada da seguinte forma:

$$a_t = a_i(1 + \alpha_f) \quad (22)$$

$$a_t = 1,004(1 + 0,96)$$

$$a_t = 1,968 \text{ cm}$$

Porém, a deflexão total da laje 101 é superior a 1,2 centímetros, resultado do limite $l/250$. Ainda na tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2023 é informado como os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas, contudo, devem apresentar um desvio do plano menor que $l/350$. Calcula-se a contraflecha para que a laje atenda aos requisitos da norma considerando o valor limite informado.

$$a_{cf} = \frac{l}{350} \quad (23)$$

$$a_{cf} = \frac{300}{350}$$

$$a_{cf} = 0,857 \text{ cm}$$

Logo, a flecha final será a subtração entre a flecha total e a contraflecha calculada:

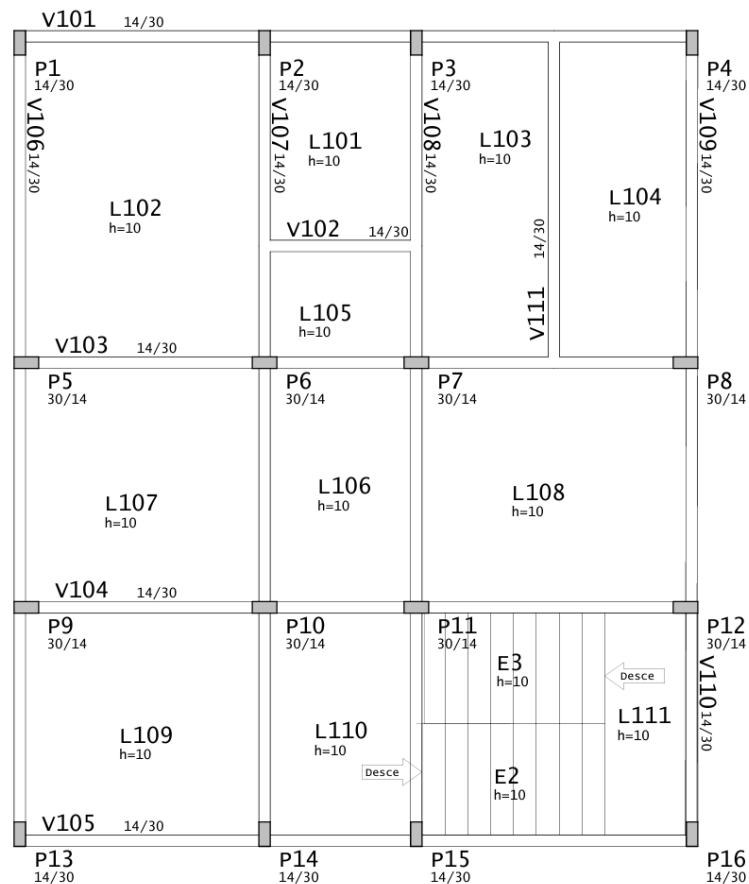
$$a_{final} = a_t - a_{cf} \quad (24)$$

$$a_{final} = 1,11 \text{ cm}$$

5.3. Dimensionamento das Lajes Maciças

Para a concepção de lajes maciças é necessário adotar uma altura h inicial para o pré-dimensionamento. Essa altura pode ser dada pela soma da altura útil d mais 1 bitola e meia. Inicialmente será adotado a bitola de 6,3 mm.

Figura 17: Forma estrutural do pavimento superior no projeto de laje maciças



Fonte: Autor (2025)

Determinando a altura da laje, calcula-se as cargas distribuídas pela superfície da laje. Os valores a serem utilizados para os carregamentos permanentes e acidentais devem seguir os mesmos atribuídos no cálculo das lajes treliçadas unidirecionais obtidos pela ABNT NBR 6120:2019, estes serão somados com o carregamento do peso próprio da laje maciça com altura de 10 centímetros.

$$g = 1 + 1,5 + 0,1 * 25 = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (25)$$

Dadas as cargas por área, realiza-se o dimensionamento das lajes maciças do piso superior utilizando tabelas desenvolvidas por Bares (1972) e adaptadas por Pinheiro (2007). Determinando os seus respectivos casos, utiliza-se a seguinte equação para determinar os momentos fletores positivos e negativos da laje:

$$M = \mu \frac{P * l_x^2}{100} \quad (26)$$

Para a laje 101, por exemplo, utiliza-se os seguintes valores para o cálculo de seus momentos.

$$\frac{l_x}{l_y} = 1,33 \quad (27)$$

Sabendo que a laje 101 possui dois lados adjacentes engastados e os lados opostos a estes são apoiados, caracteriza-se esta laje como TIPO 3, de acordo com os tipos determinados por Pinheiro (2007).

$$M_x = 4,18 \frac{5*3^2}{100}; M_y = 2,47 \frac{5*3^2}{100}; M'_x = 9,56 \frac{5*3^2}{100}; M'_y = 7,86 \frac{5*3^2}{100}$$

$$M_x = 1,881; M_y = 1,110; M'_x = 4,301; M'_y = 3,536$$

Utilizando o coeficiente de segurança igual a 1,4 calcula-se os momentos fletores majorados utilizados no projeto. Os valores calculados das lajes no pavimento superior estão na tabela 15.

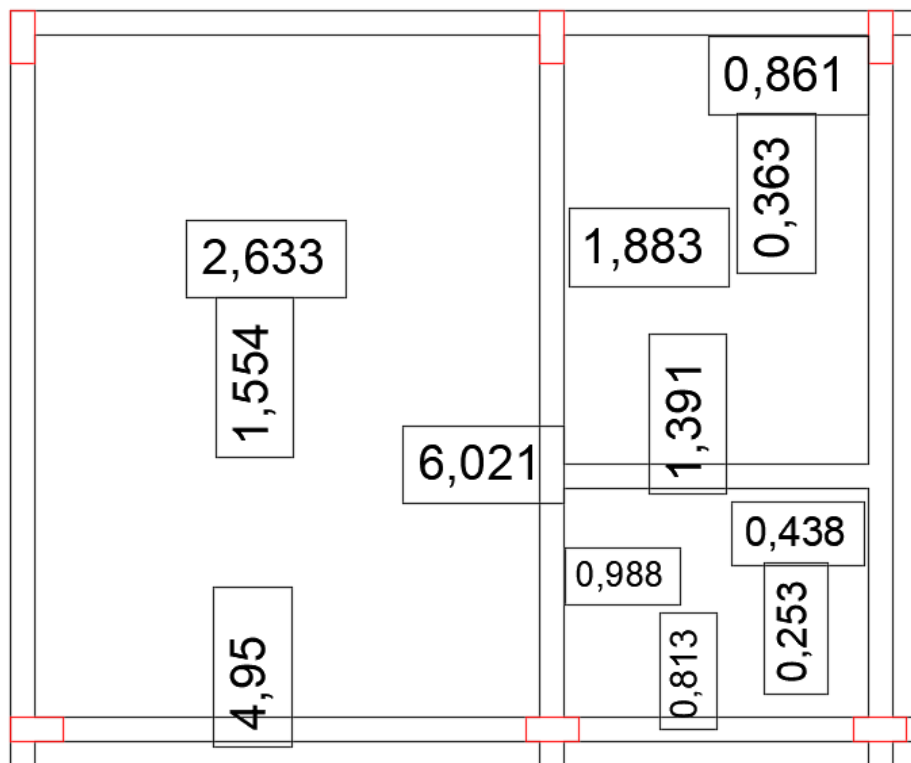
Tabela 15: Resultado do cálculo dos momentos fletores utilizando tabelas

| LAJES | Mdx | Mdy | Mdx' | Mdy' |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 101 | 2.633 | 1.554 | 6.021 | 4.950 |
| 102 | 0.861 | 0.363 | 1.883 | 1.391 |
| 103 | 0.834 | 0.176 | 1.665 | 1.128 |
| 104 | 1.405 | 0.320 | 2.499 | 1.639 |
| 105 | 0.438 | 0.253 | 0.988 | 0.813 |
| 106 | 1.588 | 1.273 | 3.887 | 3.440 |
| 107 | 0.898 | 0.325 | 1.892 | 1.385 |
| 108 | 2.087 | 1.675 | 5.096 | 4.684 |
| 109 | 1.680 | 1.535 | 4.249 | 4.109 |
| 110 | 1.169 | 0.528 | 2.559 | 1.957 |

Fonte: Autor (2025)

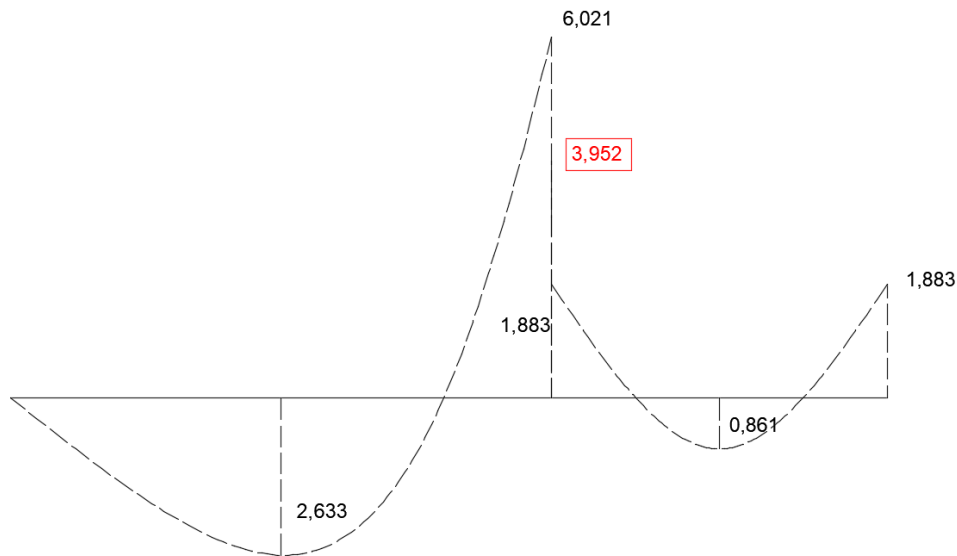
Os valores representam os momentos positivos e negativos atuantes nas suas respectivas lajes. Porém, os valores negativos ainda devem ser compatibilizados nas conexões entre as lajes, considerando o maior valor entre a média de ambos momentos negativos ou 80% do maior momento fletor. Havendo reduções no momento fletor negativo, deve ser feita a devida alteração no momento fletor positivo daquela laje. Por exemplo, para a laje 101 é necessário compatibilizar os momentos das suas lajes adjacentes, 102, 105 e 106.

Figura 18: Momentos fletores presentes nas lajes 101, 102 e 105.



Fonte: Autor (2025)

Figura 19: Média entre os momentos fletores negativos das lajes 101 e 102.



Fonte: Autor (2025)

$$Mdx'_{101-102} = \frac{6,021 + 1,883}{2} = 3,952 \quad (28)$$

;

$$Mdx'_{101-105} = \frac{6,021 + 0,988}{2} = 3,505 \quad (29)$$

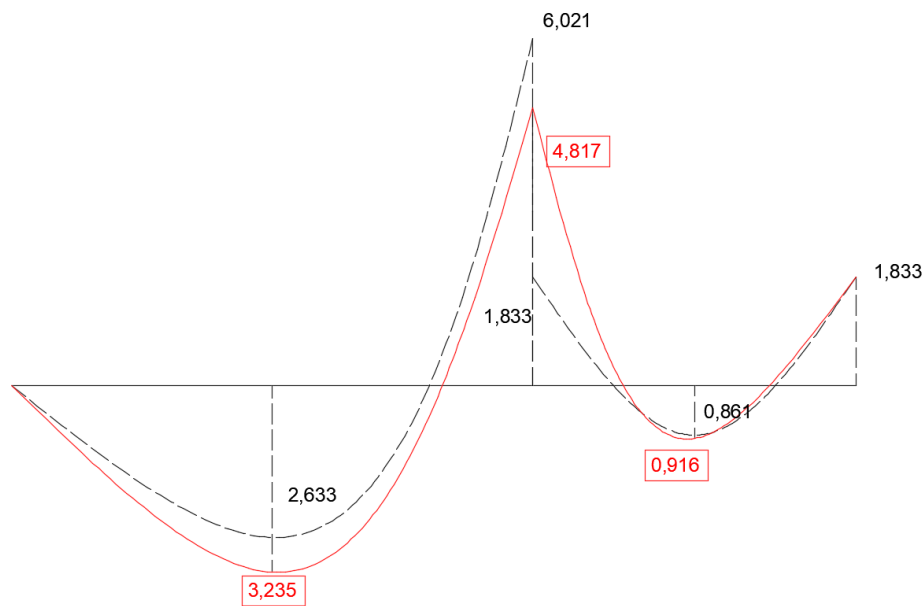
$$Mdx'_{101} = 0,8 * 6,021 = 4,817 \quad (30)$$

Portanto, o valor a ser adotado para o momento fletor negativo na laje 101 é de 4,817 kN/m/m. Porém, comparado ao seu valor original, houve uma redução no seu valor, essa diferença dos valores deve ser considerada e compensada no momento fletor positivo da mesma laje.

$$\Delta Mdx' = \frac{6,021 - 4,817}{2} = 0,602 \quad (31)$$

$$Mdx = 2,633 + 0,602 = 3,235 \text{ kN} * \text{m/m}$$

Figura 20: Compatibilização dos momentos fletores entre as lajes 101 e 102.



Fonte: Autor (2025)

Tabela 16: Momentos fletores compatibilizados

| COMPATIBILIZAÇÃO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| LAJES | Mdx | Mdy | Mdx' | Mdy' |
| 101 | 3.235 | 1.931 | 4.817 | 4.195 |
| 102 | 0.916 | 0.502 | 1.774 | 1.113 |
| 103 | 0.834 | 0.176 | 2.082 | 3.747 |
| 104 | 1.614 | 0.320 | 2.082 | 3.747 |
| 105 | 0.438 | 0.253 | 1.514 | 0.970 |
| 106 | 1.976 | 1.273 | 3.110 | 3.774 |
| 107 | 0.898 | 0.325 | 4.077 | 1.671 |
| 108 | 2.597 | 2.144 | 4.077 | 3.747 |
| 109 | 2.103 | 1.702 | 3.404 | 3.774 |
| 110 | 1.169 | 0.672 | 3.404 | 1.671 |

Fonte: Autor (2025)

Com os momentos fletores compatibilizados, pode-se calcular a área de aço necessária para os esforços calculados. Utilizando as tabelas para calcular K_c e K_s é possível determinar a área de aço necessária e, em seguida, detalhar as barras em suas lajes. Também é necessário verificar se as áreas de aço calculadas superam o valor da área de aço mínima.

$$k_c = \frac{b_w * d^2}{M_d} \quad (32)$$

$$k_c = \frac{100 * 7,185^2}{3,235 * 100} = 15,96$$

$$k_s = \frac{A_s * d}{M_d} \quad (33)$$

$$A_s = \frac{k_s * M_d}{d} = \frac{0,0234 * 3,235 * 100}{7,185} = 1,054 \text{ cm}^2/m$$

Em seguida, deve-se verificar a área de aço mínima necessária por metro para a laje 101 de espessura 10 cm.

$$A_{s,min} = \frac{15}{100} * b_w * h \quad (34)$$

$$A_{s,min} = \frac{15}{100} * 100 * 10 = 1,50 \text{ cm}^2/m$$

Logo, para a laje 101 deve ser utilizada a sua área de aço mínima para o dimensionamento. O mesmo procedimento é realizado no cálculo da área de aço para os momentos fletores positivos e negativos das subseqüentes lajes.

Tabela 17: Área de Aço para os momentos atuantes nas lajes maciças

| LAJES | Asx | Asy | Asx' | Asy' |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 101 | 1.500 | 1.500 | 1.582 | 1.500 |
| 102 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 103 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 104 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 105 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 106 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 107 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 108 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 109 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| 110 | 1.500 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |

Fonte: Autor (2025)

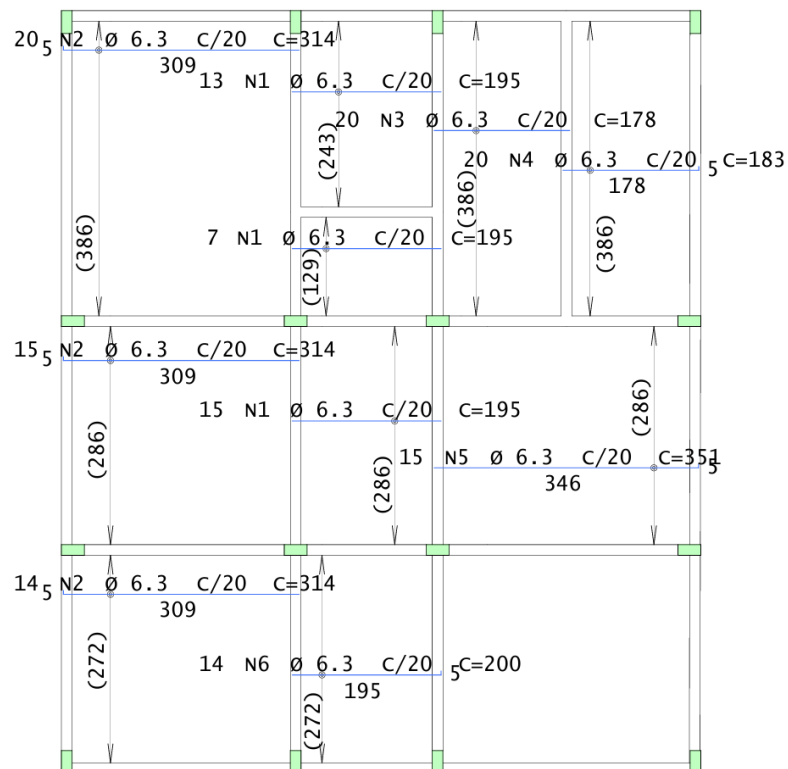
Dados os valores da área de aço, utiliza-se a Tabela 2 para determinar o espaçamento entre as barras de acordo com suas bitolas. As lajes utilizam da bitola 6,3 mm. Determinando seu espaçamento é possível calcular a quantidade de barras utilizadas na laje, e com seu comprimento calcula-se o peso em quilogramas das barras de aço.

Tabela 18: Resultado do detalhamento das armaduras positivas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças

| LAJES | Mdx | Detalhamento |
|-------|-------|--------------------|
| 101 | 3.235 | 20 Ø6.3/20cm C=314 |
| 102 | 0.916 | 13 Ø6.3/20cm C=195 |
| 103 | 0.834 | 20 Ø6.3/20cm C=178 |
| 104 | 1.614 | 20 Ø6.3/20cm C=183 |
| 105 | 0.438 | 8 Ø6.3/20cm C=195 |
| 106 | 1.976 | 15 Ø6.3/20cm C=314 |
| 107 | 0.898 | 15 Ø6.3/20cm C=195 |
| 108 | 2.597 | 15 Ø6.3/20cm C=352 |
| 109 | 2.103 | 15 Ø6.3/20cm C=314 |
| 110 | 1.169 | 15 Ø6.3/20cm C=200 |

Fonte: Autor (2025)

Figura 21: Detalhamento do pavimento superior das armaduras positivas horizontais do projeto de lajes maciças



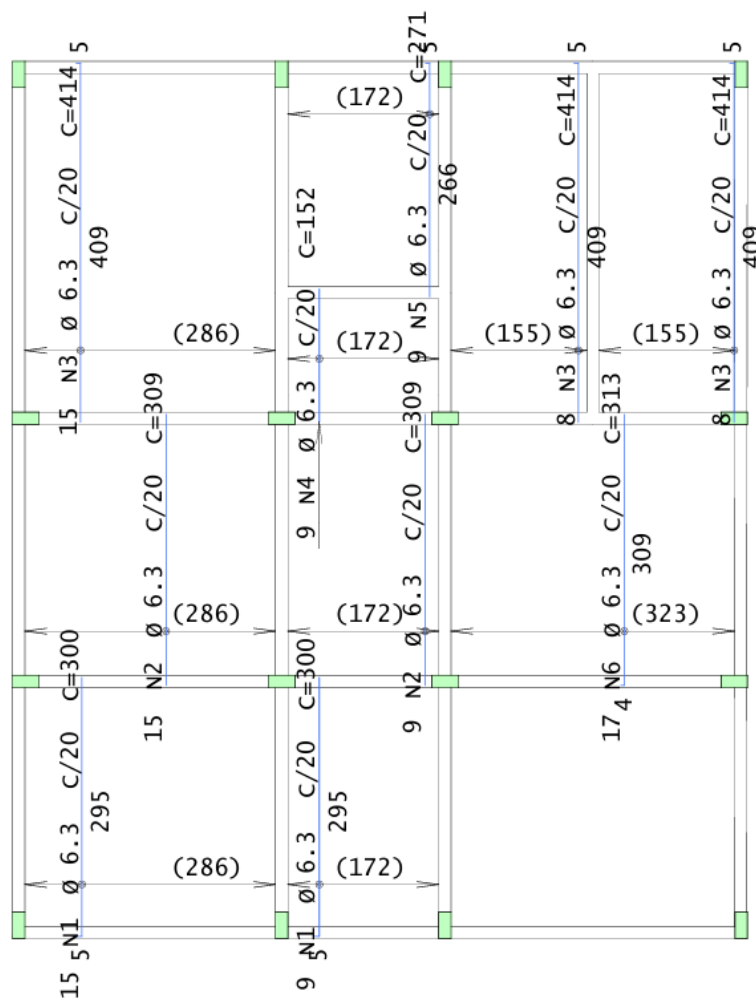
Fonte: Autor (2025)

Tabela 19: Resultado do detalhamento das armaduras positivas verticais no pavimento superior do projeto de lajes maciças

| LAJES | M _{dy} | Detalhamento |
|-------|-----------------|--------------------|
| 101 | 1.931 | 15 Ø6.3/20cm C=414 |
| 102 | 0.502 | 10 Ø6.3/20cm C=271 |
| 103 | 0.176 | 9 Ø6.3/20cm C=414 |
| 104 | 0.320 | 9 Ø6.3/20cm C=414 |
| 105 | 0.253 | 10 Ø6.3/20cm C=152 |
| 106 | 1.273 | 15 Ø6.3/20cm C=309 |
| 107 | 0.325 | 10 Ø6.3/20cm C=309 |
| 108 | 2.144 | 17 Ø6.3/20cm C=314 |
| 109 | 1.702 | 15 Ø6.3/20cm C=300 |
| 110 | 0.672 | 10 Ø6.3/20cm C=300 |

Autor (2025)

Figura 22: Detalhamento das armaduras positivas verticais no pavimento superior do projeto de lajes maciças



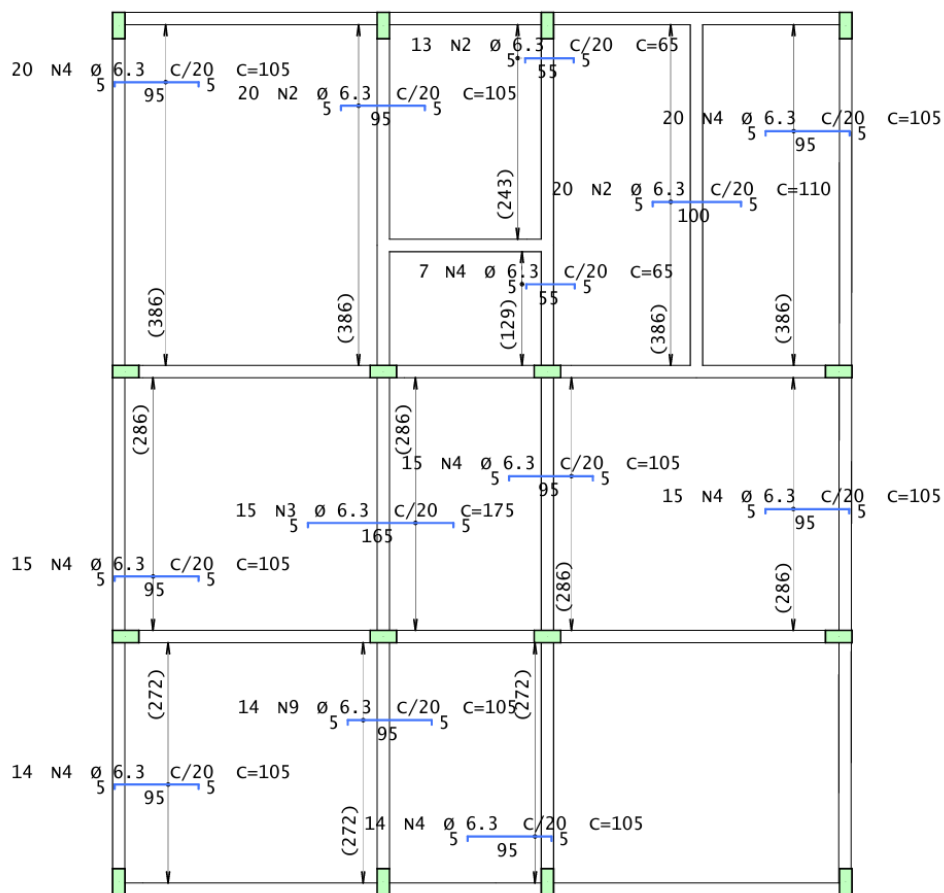
Fonte: Autor (2025)

Tabela 20: Resultado do detalhamento das armaduras negativas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças

| LAJES | Mdx' | Detalhamento |
|-------|-------|--------------------|
| 101 | 4.817 | 40 Ø6.3/15cm C=105 |
| 102 | 1.774 | 13 Ø6.3/20cm C=65 |
| 103 | 2.082 | 20 Ø6.3/20cm C=110 |
| 104 | 2.082 | 20 Ø6.3/20cm C=105 |
| 105 | 1.514 | 7 Ø6.3/20cm C=65 |
| 106 | 3.110 | 15 Ø6.3/20cm C=105 |
| 107 | 4.077 | 15 Ø6.3/20cm C=175 |
| 108 | 4.077 | 30 Ø6.3/20cm C=105 |
| 109 | 3.404 | 28 Ø6.3/20cm C=105 |
| 110 | 3.404 | 14 Ø6.3/20cm C=105 |

Fonte: Autor (2025)

Figura 23: Detalhamento das armaduras negativas horizontais no pavimento superior do projeto de lajes maciças



Fonte: Autor (2025)

A partir deste detalhamento é possível determinar a quantidade de aço utilizada em quilogramas multiplicando os comprimentos das barras por seu peso linear em kg/m. O peso linear adotado para barra de aço com diâmetro de 6,3 mm foi de 0,245 kg/m de acordo com catálogos da figura.

Tabela 22: Peso linear de aço CA-50

| VERGALHÃO CA 50 | BITOLA Ø (mm) | POLEGADA Ø | MASSA (kg/m) |
|-----------------|---------------|------------|--------------|
| VERGALHÃO CA 50 | 6,30 | 1/4" | 0,245 |
| VERGALHÃO CA 50 | 8,00 | 5/16" | 0,395 |
| VERGALHÃO CA 50 | 10,0 | 3/8" | 0,617 |

Fonte: Adaptado da Tabela de Produtos, pesos e medidas da Aço 4000

Em seguida, calcula-se a flecha imediata da laje utilizando a Fórmula 2 para a laje 101.

$$a = \frac{\alpha \cdot b \cdot p \cdot l_x^4}{100 \cdot 12 \cdot E_c \cdot I_c} = \frac{3,99 \cdot 100 \cdot 0,0005 \cdot (300^4)}{100 \cdot 12 \cdot 2607,15 \cdot 8333,33}$$

$$a = 0,06 \text{ cm}$$

Para o cálculo da flecha total deve-se considerar a flecha diferida, a qual é determinada a partir do tempo relativo à aplicação da carga de longa duração. Logo, considerando que as escoras serão retiradas em 1 mês, calcula-se a flecha total para um tempo superior a 70 meses de aplicação da carga de longa duração utilizando a Fórmula 3.

$$\alpha_f = \frac{\xi(t) - \xi(t_0)}{1 + 50\rho'} = \frac{2 - 0,68}{1}$$

$$\alpha_f = 1,32$$

Por fim, a flecha total é calculada da seguinte forma:

$$a_t = a (1 + \alpha_f) = 0,06(1 + 1,32)$$

$$a_t = 0,14 \text{ cm}$$

6. RESULTADOS

6.1. Volume de Concreto

Para realizar a comparação do uso de concreto nos projetos, foi calculado o volume de concreto presente nas lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais, considerando o volume das lajes. Os valores foram obtidos pela multiplicação da seção transversal das lajes pelos seus devidos comprimentos.

Calculando o volume da laje maciça da laje 101, cujo formato é similar a de um prisma, obtêm-se:

$$V_{101} = b * h * l \quad (35)$$

$$V_{101} = 3 * 0,1 * 4$$

$$V_{101} = 1,2 \text{ m}^3$$

Para este trabalho foi considerado o volume da laje como igual do volume de concreto utilizado para a mesma, desconsiderando o volume das barras de aço inseridas. Este processo foi executado para as lajes subsequentes do projeto de lajes maciças.

Para a laje 101 do projeto de lajes treliçadas unidirecionais, calculou-se o volume presente em uma vigota treliçada e multiplicou-se pela quantidade presente nesta laje. As medidas da seção transversal para o cálculo da área estão presente na Figura 14 deste trabalho.

$$V'_{101} = q * A * l_x \quad (36)$$

$$V'_{101} = 10 * 0,0273 * 3$$

$$V'_{101} = 0,819 \text{ m}^3$$

Realizando os procedimentos acima e realizando o somatório de seus resultados, é possível obter o volume de concreto utilizado nas lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais. Os resultados foram inseridos na seguinte tabela:

Tabela 23: Relação de volume de concreto utilizado nas lajes superiores de ambos projetos

| Critérios | Lajes | | Relação |
|----------------------------|---------|------------------|---------|
| | Maciças | Treliçadas Unid. | |
| Concreto [m ³] | 7,158 | 5,071 | -29,16% |

Fonte: Autor (2025)

6.2. Peso do aço

Para comparação da quantidade de aço foi feito o quantitativo do peso em quilogramas do aço utilizado nas lajes. A partir do detalhamento das lajes superiores de ambos os projetos é possível obter o comprimento e quantidade de barras utilizadas em sua composição e, multiplicando-os pelo peso linear das barras em quilograma por metro, é possível obter o peso referente as armaduras de tal laje.

As tabelas 18 e 19 apresentam os valores dos comprimentos utilizados nas barras positivas, e as tabelas 20 e 21 apresentam os valores dos comprimentos utilizados nas barras negativas das lajes do piso superior no projeto de lajes maciças. Para obter o peso das barras de aço multiplicou-se os comprimentos das barras pelo peso linear referente à bitola da armadura. Sabe-se, pela tabela 22, que o peso linear de um vergalhão CA-50 de bitola 6,3 mm é de 0,245 kg/m, logo:

$$P_{101} = q * N_i * C_i \quad (37)$$

$$P_{101} = 0,245 * (N_{mdx} * C_{mdx} + N_{mdy} * C_{mdy} + N_{mdx'} * C_{mdx'} + N_{mdy'} * C_{mdy'})$$

$$P_{101} = 0,245 * (20 * 3,14 + 15 * 4,14 + 24 * 1,05 + 16 * 1,75 + 15 * 0,95)$$

$$P_{101} = 51,242 \text{ kg}$$

Então, na laje 101 no piso superior do projeto de lajes maciças tem inserido 51,242 quilos de armadura. O cálculo foi feito até a laje 101 do piso superior e o resultado para cada laje somado para obter o peso total.

Para o cálculo do peso do aço das lajes superiores no projeto de lajes treliçadas unidirecionais foi somado o peso das vigotas treliçadas a partir do peso linear na Tabela 14, o qual contém o peso das armaduras treliçadas, com a armadura de distribuição presente na capa de concreto. O detalhamento da laje superior do projeto de lajes

treliçadas unidirecionais apresentando a quantidade de vigotas treliçadas utilizadas está presente na Figura 16. Logo, para a laje 101:

$$P'_{101} = P_{vigotas} + P_{capa\ de\ concreto} \quad (38)$$

$$P'_{101} = N_i * q * l_x + q * N_i * C_i$$

$$P'_{101} = 10 * (0,762 + 0,154) * 3 + 0,245 * (13 * 3,14 + 10 * 4,14)$$

$$P'_{101} = 47,624\ kg$$

Então, na laje 101 do piso superior do projeto de lajes treliçadas unidirecionais apresenta 47,624 quilos de aço inseridos nesta. O processo de cálculo foi repetido para as lajes restantes do piso e o seu resultado foi somado e disposto na seguinte tabela onde foi feita a relação do peso obtido com o resultado do projeto de lajes maciças.

Tabela 24: Relação do peso do aço inserido nas lajes superiores de ambos projetos

| Critérios | Lajes | | Relação |
|-----------|---------|------------------|---------|
| | Maciças | Treliçadas Unid. | |
| Aço [kg] | 276,32 | 262,78 | -4,90% |

Fonte: Autor (2025)

6.3. Cargas

Para efetuar a comparação da quantidade de cargas presentes nas lajes superiores dos projetos, foi efetuado o somatório das cargas atuantes em cada laje do piso superior, considerando somente as cargas permanentes, acidentais e cargas provenientes do peso próprio da laje, como o peso das lajes maciças e o peso das vigotas treliçadas com o elemento de enchimento utilizando a combinação rara.

Para as lajes maciças foi feito a multiplicação das cargas em kN/m² pela área de cada laje no pavimento superior com o intuito de obter a carga concentrada que será transmitida para as vigas.

$$G_{101} = g_{perm} + g_{pp} + q_{acid} \quad (39)$$

$$G_{101} = 1,0 + 2,5 + 1,5$$

$$G_{101} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{101} = G_{101} * A_{101} = 5 * (4 * 3)$$

$$F_{101} = 60 \text{ kN}$$

Portanto, o valor de 60 kN representa uma carga concentrada resultado dos carregamentos uniformemente distribuídos ao longo da laje 101. O processo foi feito para as outras lajes presentes no pavimento superior do projeto de lajes maciças.

Para as lajes treliçadas, primeiramente, foi convertido as cargas atuantes em kN/m² em cargas linearmente distribuídas em kN/m para realizar o cálculo do momento nas vigotas biapoiadas. Sabendo, pela Figura 14, que a mesa da vigota tem tamanho de 42 centímetros, dividiu-se as cargas presentes na laje pelo tamanho da mesa, obtendo:

$$C_{101} = g'_{101} + \rho_{CA30} * A_{vigota} + \rho_{EPS} * A_{enchimento} + q'_{101} \quad (40)$$

$$C_{101} = \frac{1,0}{0,42} + 25 * 0,0273 + 0,18 * 0,07 * 0,33 + \frac{1,5}{0,42}$$

$$C_{101} = 1,737 \text{ kN/m}$$

Sabendo o carregamento distribuído aplicado em cada vigota das lajes treliçadas unidirecionais por unidade de metro, divide-se este valor pelo comprimento da mesa de 0,42 metros para obter o carregamento por unidade de m².

$$G'_{101} = \frac{C_{101}}{b_f} \quad (41)$$

$$G'_{101} = \frac{1,737}{0,42}$$

$$G'_{101} = 4,135 \text{ kN/m}^2$$

Portanto, a carga concentrada proveniente das cargas uniformemente distribuídas na laje 101 do piso superior do projeto de lajes treliçadas pode ser calculado da seguinte forma:

$$F'_{101} = G'_{101} * A'_{101} \quad (42)$$

$$F'_{101} = 4,135 * 3 * 4$$

$$F'_{101} = 49,619 \text{ kN}$$

Então, as cargas aplicadas nesta laje totalizam em uma carga concentrada de 49,619 kN. O cálculo para essa carga aplicada nas lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais foi feita para cada laje presente no pavimento superior dos projetos e seu resultado foi somado e inserido na seguinte tabela.

Tabela 25: Relação das cargas em kN aplicadas nas lajes superiores de ambos projetos

| Critérios | Lajes | | Relação |
|-------------|---------|------------------|---------|
| | Maciças | Treliçadas Unid. | |
| Cargas [kN] | 357,898 | 295,97 | -17,30% |

Fonte: Autor (2025)

6.4. Custos

Para o cálculo dos custos foram utilizados os valores tabelados por Cavalcante (2024) os quais são baseados em valores da Cidade de Manaus, no mês de novembro de 2024, obtidos através das empresas Norteferro, Konkrex e o software CYPECAD. Conhecendo o volume de concreto em metros cúbicos necessário para preencher as lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais, calcula-se o valor referente ao uso do concreto. Da mesma forma, calcula-se os valores referentes ao aço utilizado nas lajes.

Tabela 26: Relação de insumos e valores unitários por unidade de medida

| Insumo | Unidade | Preço Unitário (R\$) |
|--|---------|----------------------|
| Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão | kg | R\$7,66 |
| Aço CA-50, 8 mm, vergalhão | kg | R\$7,20 |
| Aço CA-50, 10 mm, vergalhão | kg | R\$6,66 |
| Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão | kg | R\$7,10 |
| Aço CA-50, 16 mm, vergalhão | kg | R\$7,10 |
| Aço CA-50, 20 mm, vergalhão | kg | R\$7,06 |
| Aço CA-50, 25 mm, vergalhão | kg | R\$7,08 |
| Aço CA-60, 5,0 mm, vergalhão | kg | R\$8,65 |
| Concreto usinado com resistência característica à compressão de 25 MPa (C25) | m³ | R\$910,00 |
| Concreto usinado com resistência característica à compressão de 30 MPa (C30) | m³ | R\$940,00 |
| Concreto usinado com resistência característica à compressão de 35 MPa (C35) | m³ | R\$970,00 |
| Concreto usinado com resistência característica à compressão de 40 MPa (C40) | m³ | R\$1000,00 |

Fonte: Cavalcante (2024)

Portanto, o gasto que seria realizado com concreto na execução das lajes superiores do projeto de lajes maciças é igual a multiplicação do valor unitário do concreto usinado com resistência característica à compressão de 30 MPa pelo volume total de concreto utilizado de acordo com a Tabela 16.

$$\text{Custo Concreto}_{\text{maciças}} = 7,158 * 940$$

$$\text{Custo Concreto}_{\text{maciças}} = \text{R\$ } 6.728,48$$

$$\text{Custo Concreto}_{\text{treliçadas unid.}} = 5,071 * 940$$

$$\text{Custo Concreto}_{\text{treliçadas unid.}} = \text{R\$ } 4.766,72$$

Em seguida, foi feito o cálculo do valor para o quantitativo de aço a partir do peso em quilogramas o qual foi utilizado nas lajes superiores de ambos os projetos. O peso total de aço pode ser obtido pela Tabela 24 e será multiplicado pelo preço unitário do vergalhão de CA-50 com bitola 6.3 mm. Em algumas vigotas treliçadas foi necessário

adicionar uma barra extra com bitola de 5mm, portanto, o peso destas barras será multiplicado pelo preço unitário do vergalhão CA-60 com bitola 5.0 mm.

$$Custo Aço_{maciças} = P_{total} * Preço Unitário$$

$$Custo Aço_{maciças} = 279,32 * 7,66$$

$$Custo Aço_{maciças} = R\$ 2.116,64$$

$$Custo Aço_{treliçadas unid.} = P'_{total} * Preço Unitário$$

$$Custo Aço_{treliçadas unid.} = (256,71 * 7,66) + (18,003 * 8,65)$$

$$Custo Aço_{treliçadas unid.} = R\$ 2.122,11$$

Tabela 27: Relação dos valores do peso do aço e volume de concreto nas lajes superiores de ambos projetos

| Critérios | Lajes | | Relação |
|----------------------|---------|------------------|---------|
| | Maciças | Treliçadas Unid. | |
| Custo Concreto [R\$] | 6728,48 | 4766,72 | -29,16% |
| Custo Aço [R\$] | 2116,64 | 2168,62 | 2,46% |

Fonte: Autor (2025)

7. DISCUSSÕES

A partir do dimensionamento realizado, foi possível obter os valores necessários para efetuar a análise comparativa entre os dois tipos de lajes. Os valores foram obtidos a partir do dimensionamento das lajes superiores de ambos os projetos.

7.1. Concreto

O volume de concreto foi calculado com o somatório dos volumes presentes nas lajes do projeto de lajes maciças, das vigotas treliçadas e capas de concreto do projeto de

lajes treliçadas unidirecionais, sendo as lajes maciças blocos retangulares e as lajes treliçadas compostas por vigas “T”.

Em relação ao volume de concreto utilizado nas lajes maciças, houve uma redução de 29,16% no uso de concreto nas lajes treliçadas unidirecionais. A redução apresentada era um resultado esperado devido à falta de concreto na região onde é colocado o material de enchimento, mesmo a espessura das lajes tendo uma diferença de 2 centímetros.

7.2. Aço

Em contrapartida, o aço utilizado nas lajes treliçadas unidirecionais teve um peso total maior que o aço das lajes maciças. Isso ocorre devido a presença de novos elementos de aço presentes nas vigotas treliçadas somadas com as armaduras de distribuição, enquanto nas lajes maciças existem somente as armaduras principais. Porém, vale ressaltar que para as armaduras presentes na capa de concreto foi escolhido utilizar a bitola de 6,3mm com intuito de igualar as armaduras principais das lajes maciças.

A diferença entre as lajes dos projetos foi uma redução de 4,90 % em relação às lajes maciças, onde este apresentou um total de 279,32 kg de aço e as lajes treliçadas unidirecionais apresentaram 262,78 kg. Esta redução deve-se pela quantidade de barras utilizadas para resistir aos momentos positivos e negativos nas lajes maciças, enquanto que nas lajes treliçadas unidirecionais, por utilizarem vigotas treliçadas biapoiadas, não houve necessidade de armadura negativa entre as lajes do pavimento superior.

7.3. Cargas

Nesta análise foram convertidas as cargas atuantes nas lajes de ambos os projetos em cargas concentradas em kN com objetivo de identificar em qual projeto haveria uma maior concentração de cargas. Então, para cada laje foi multiplicado o carregamento distribuído pela área desta. Sabe-se que as lajes treliçadas unidirecionais são reduzidas de uma parcela de concreto armado, logo é esperado que este projeto apresente cargas menores em relação ao projeto de lajes maciças.

Entre os projetos há uma redução de 17,30% no valor das cargas das lajes maciças para lajes treliçadas unidirecionais. Resultado esperado pelo uso de elementos de enchimento e redução do volume de concreto na composição das lajes treliçadas unidirecionais.

7.4. Flechas

A principal diferença entre os dois tipos de lajes analisados neste trabalho é como a laje maciça trabalha como um único corpo, enquanto as lajes treliçadas unidirecionais trabalham mais aproximado à vigas independentes. Com isto, espera-se que as lajes treliçadas unidirecionais apresentem uma flecha maior, como foi provado pelo cálculo da flecha imediata.

A maior flecha total do projeto das lajes maciças resultou em 1,44 mm. Um valor baixo comparado as deflexões usuais devido às dimensões da laje e cargas aplicadas nesta. A maior flecha total calculada para as lajes treliçadas unidirecionais resultou em 1,11 cm, resultado elevado, porém dentro do limite, devido ao formato da viga e por essas trabalharem de forma independente. Entretanto, foi necessário considerar uma contraflecha de 0,857 cm para que as lajes treliçadas unidirecionais estejam de acordo com a norma.

7.5. Custos

Dados os valores por unidade de medida, calculou-se o preço necessário para preencher as lajes maciças utilizando concreto C30, com valor de R\$ 6.728,48, enquanto que o valor para as lajes treliçadas unidirecionais foi de R\$ 4.766,72, apresentando uma redução de -29,16% em relação ao primeiro tipo de laje, ou uma diferença de R\$ 1.961,77.

Também foi possível calcular os valores gastos por quilo de aço presentes no pavimento superior. Para as lajes maciças, gastou-se R\$ 2.116,64, e nas lajes treliçadas unidirecionais, R\$ 2.168,62, onde ocorre um aumento de 2,46% no valor gasto por quilo de aço, uma diferença de R\$ 51,98.

Analisando os valores totais, a construção do piso superior das lajes treliçadas unidirecionais é R\$ 1.909,79, ou 22%, mais econômica que a execução do mesmo piso utilizando as lajes maciças. Porém, vale ressaltar como não está incluso no cálculo custos como mão de obra, execução de outros pavimentos, custos com os materiais de enchimento, formas, vigotas ou escoras e etc.

8. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordado o dimensionamento das lajes maciças e lajes treliçadas unidirecionais e a discussão da relação do uso de concreto e aço, esforços e deslocamentos verticais entre os dois tipos de lajes. Foram projetados dois pavimentos com medidas idênticas para ser possível determinar as principais diferenças entre os tipos de lajes nesta análise comparativa. Entre as duas soluções de lajes que foram utilizadas no estudo, as lajes treliçadas unidirecionais apresentaram uma redução de R\$ 1909,79, equivalente a 22%, comparado às lajes maciças.

No estudo feito foi comprovado a redução do volume de concreto nas lajes treliçadas unidirecionais em relação às lajes maciças, devido ao formato da laje possibilitando o uso de elementos de enchimento entre as vigas treliçadas, porém, exigindo maior uso de aço para suas vigotas e capa de concreto. As lajes maciças apresentaram menor deformação vertical, com flecha de 0,14 cm, principalmente por atuarem como um único elemento.

Devido ao crescente preço da construção no país, é necessário analisar qual abordagem deve ser feita para construção de uma residência familiar. As lajes maciças, apesar de serem comumente utilizadas e com seu processo de montagem amplamente conhecido, requerem uma quantidade elevada de volume de concreto, o que acarreta em maiores cargas provenientes do próprio peso da laje, maior gasto na aquisição dos insumos necessários para o concreto, além de necessitar do uso de formas para executá-las. Porém, a laje maciça, devido sua forma geométrica e por apresentar rigidez longitudinalmente e transversalmente, apresenta uma menor deformação em relação a laje treliçada unidirecional reduzindo sua flecha máxima e uso reduzido de aço, diminuindo o peso e gasto com as armaduras.

As Lajes Treliçadas Unidirecionais, como mencionado, apresentam uma deformação vertical superior às lajes maciças de flecha 1,11 cm, mesmo utilizando dimensões e cargas aproximadas. Por atuar semelhante a vigas independentes, esta mesma contém uma melhor rigidez transversal apenas, consequentemente deformando mais ao longo do vão da laje. Em compensação, esse tipo de laje reduz a quantidade de concreto utilizada, diminuindo o peso próprio e utilizando uma maior quantidade de

armadura. São mais utilizadas em construções de residências unifamiliares que contenham menores vãos, possibilitando a redução de custos com concreto e formas.

Por fim, ambas as lajes são recursos que podem ser utilizados em diversas situações, sempre observando qual característica melhor utilizar dependendo do projeto. Para a atual situação financeira brasileira, recomenda-se adotar de lajes treliçadas unidirecionais para residências onde não haverá grande concentração de cargas, reduzindo o custo da execução da laje. Lajes maciças são outras soluções para outros tipos de empreendimentos onde há possibilidade de explorar a resistência que este tipo de laje proporciona.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial — Especificação**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-2: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-3: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3: Armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas- Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ANTUNES, Karina de Oliveira, **Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas unidirecionais e bidirecionais de concreto armado**. Minas Gerais, Uberlândia. 2017.

BEZERRA, Allan Vinicius Rocha Bezerra; NUNES, Antonio Gomes. **Estrutura de laje pré-moldada: análise comparativa entre enchimento com EPS e com bloco cerâmico**. Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

CARVALHO, Robert Churst; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**.

CAVALCANTE, Ingrid de Pinho. **Influência da resistência característica do concreto à compressão (fck) nas taxas de armadura de pilares e nos custos em edifícios de concreto armado**. Manaus, Amazonas. 2024.

FERREIRA, Rafael Martins. **Laje nervurada unidirecional com pré-laje treliçada e elemento de enchimento**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

IBGE. **Com alta nas parcelas dos materiais e da mão de obra, preços da construção variam 0,43% em maio** Agência de notícias IBGE. Disponível em:

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/43614-com-alta-nas-parcelas-dos-materiais-e-da-mao-de-obra-precos-da-construcao-variaram-0-43-em-maio> . Acessado em: 04/11/2025.

LAIO, Douglas Calazans. **Projeto de lajes treliçadas unidirecionais: comparação entre os cálculos manuais, programa comercial de cálculo e projeto existente**. Manaus, Amazonas. 2022.

LAJES TIJUCAS. **Lajes e vigotas treliçadas**. Disponível em: <https://lajestijucas.com.br/lajes-trelicadas/> . Acessado em: 14/09/2025.

MOURA, Tiago Rodrigues Coelho de. **Demonstração do cálculo da linha neutra em vigas submetidas à flexão**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 10, Vol. 10, pp. 99-115.

TQS. **TQS Estudante**. Disponível em: <<https://www.tqs.com.br/systems/tqs-estudante/kd04pfvhi1>>.