



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE EXCELÊNCIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL**

ANÁLISE DE FLECHAS EM LAJES TRELIÇADAS DE CONCRETO ARMADO
**ANALYSIS OF DEFLECTIONS IN REINFORCED CONCRETE TRUSSED
SLABS**

Ingrid Ribeiro Santos ¹
Jorgelane de Jesus Silva²
Lenildo Santos Gusmão ³
Emílio Augusto de Queiroz Velois ⁴

Jorgelane de Jesus Silva
Ingrid Ribeiro Santos
Lenildo Santos Gusmão

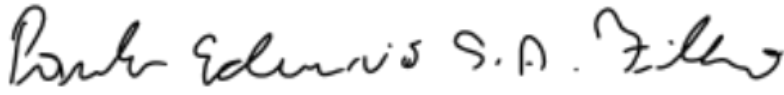
**ANÁLISE DE FLECHAS EM LAJES TRELIÇADAS DE CONCRETO
ARMADO**

Trabalho monográfico, submetido ao Centro universitário de Excelência de Vitória da Conquista - BA, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

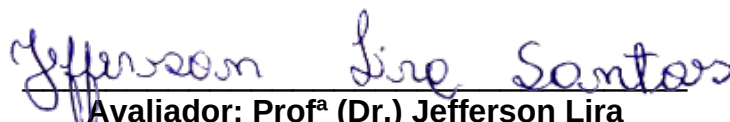
Aprovado em: 08/12/2023



Orientador: Profº (Esp.) Emilio Augusto De Queiroz Velois
Centro Universitário de Excelência



Avaliador: Profº (Msc.) Paulo Eduardo Soares Andrade Filho
Centro Universitário de Excelência



Avaliador: Profª (Dr.) Jefferson Lira
Centro Universitário de Excelência

Vitória da Conquista - BA
Dezembro de 2023



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE EXCELÊNCIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL**

**ANÁLISE DE FLECHAS EM LAJES TRELIÇADAS DE CONCRETO ARMADO
ANALYSIS OF DEFLECTIONS IN REINFORCED CONCRETE TRUSSED SLABS**

Ingrid Ribeiro Santos ¹
Jorgelane de Jesus Silva²
Lenildo Santos Gusmão ³
Emílio Augusto de Queiroz Velois ⁴

RESUMO

A precisão de conseguir métodos construtivos eficientes para solucionar situações construtivas, conciliando agilidade, economia, durabilidade, qualidade e segurança, torna-se cada vez mais presente na engenharia civil. Vencer vãos de grandes distâncias e números de pilares reduzidos para apoio destes, ou ainda suportar cargas elevadas, é uma das situações impostas tanto pela necessidade estrutural quanto por uma questão estética proposta por arquitetos. As flechas excessivas podem causar deformações visíveis e comprometer a segurança das edificações. Por responsabilidade dos Engenheiros Civis, deve-se fazer com que esses vãos sejam vencidos sem apresentar deformações excessivas que prejudique ou provoque visualmente um desconforto aos usuários, e execute de forma que possa suportar a carga planejada. A análise das flechas envolve o cálculo das deformações verticais levando em cogitação os materiais utilizados, as cargas aplicadas e as condições de apoio. A verificação das deformações em lajes treliçadas de concreto armado é fundamental para garantir o desempenho e a segurança das estruturas, e os resultados do estudo mostraram ser de grande relevância para engenheiros e projetistas. A escolha do modelo de laje treliçada LT 25 (20+5) com nervura transversal concreto C30, foi definida como a solução de laje treliçada mais econômica, entretanto do ponto de vista executivo se tornou trabalhosa. Já o modelo de laje treliçada LT 30 (25+5) com nervura transversal e concreto C30 do ponto de vista executivo se tornou a solução mais adequada. É importante que o engenheiro de estruturas tenha essa mentalidade para selecionar a melhor solução para o projeto do cliente.

Palavras-chave: deformações, dimensionamento estrutural, segurança.

¹ Ingrid Ribeiro Santos Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unex de Vitória da Conquista (Unex/23), e-mail: ingrid.santos3@ftc.edu.br

² Jorgelane de Jesus Silva Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unex de Vitória da Conquista (Unex/23), e-mail: jorgelane.silva@ftc.edu.br

³ Lenildo Santos Gusmão Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unex de Vitória da Conquista (Unex/23), e-mail: lenildols@gmail.com

⁴ Emílio Augusto de Queiroz Velois Professor Orientador do Centro Universitário Unex de Vitória da Conquista (Unex/23), Engenharia Civil, e-mail: equeiroz.vic@ftc.edu.br

ABSTRACT

The precision of achieving efficient construction methods to solve construction situations, combining agility, economy, durability, quality and safety, is becoming increasingly present in civil engineering. Overcoming long distance spans and reduced numbers of pillars to support them, or even supporting high loads, is one of the situations imposed both by structural necessity and by an aesthetic issue proposed by architects. Excessive deflections can cause visible deformations and compromise the safety of buildings. It is the responsibility of Civil Engineers to ensure that these gaps are bridged without presenting excessive deformations that visually harm or cause discomfort to users, and executed in a way that can support the planned load. The analysis of deflections involves the calculation of vertical deformations taking into account the materials used, the loads applied and the support conditions. Checking deformations in reinforced concrete lattice slabs is essential to guarantee the performance and safety of structures, and the results of the study proved to be of great relevance for engineers and designers. The choice of the LT 25 (20+5) lattice slab model with C30 concrete transverse rib was defined as the most economical lattice slab solution, however from an executive point of view it became laborious. The LT 30 (25+5) lattice slab model with transverse rib and C30 concrete from an executive point of view became the most appropriate solution. It is important for the structural engineer to have this mindset to select the best solution for the client's project.

Keywords: deformations, structural design, safety.

1. INTRODUÇÃO

Entende-se que uma estrutura é um conjunto de elementos estruturais destinados a resistir a ações e a transmitir esforços a um ou mais pontos de apoio ou de interligação com outras estruturas (ABNT NBR 6118, 2023). Em outras palavras, a estrutura se destaca por ser a parte mais resistente de uma edificação. Ela desempenha a função de absorver e conduzir as cargas, cumprindo um papel fundamental na garantia da segurança e estabilidade de uma edificação. Uma estrutura é composta por elementos estruturais que, quando combinados, formam sistemas de sustentação. A finalidade de uma estrutura reside em receber e transmitir os efeitos das forças que atuam sobre ela para o solo, sendo crucial que as construções sejam feitas com materiais que apresentem características adequadas, sendo tais características analisadas na resistência dos materiais.

As estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas no Brasil

devido à abundância de matéria-prima, como cimento, areia e brita, tornando o concreto acessível e econômico. O concreto se adapta bem ao clima tropical do país, é altamente versátil para diferentes tipos de projetos, apresenta durabilidade e resistência em condições climáticas adversas e é respaldado por normas técnicas brasileiras específicas. A presença de mão de obra qualificada e um histórico de sucesso no uso do concreto armado também contribuem para a sua ampla utilização na construção civil brasileira. Ademais, o Brasil possui normas técnicas específicas, como a ABNT NBR 6118 - 2023 (Projeto de Estruturas de Concreto), ABNT NBR 8681 - 2004 (Ações e Segurança nas Estruturas) e a ABNT NBR 6120 - 2019 (Ações para o cálculo de estruturas de edificações), que fornecem diretrizes detalhadas para o dimensionamento, projeto e construção de estruturas de concreto armado. Essas normas contribuem para a padronização e segurança das construções em concreto.

A verificação de segurança em estruturas de concreto armado é fundamental para garantir que essas estruturas sejam capazes de resistir a cargas e condições de utilização sem falhas ou colapsos. Isso envolve a consideração dos Estados Limites Últimos (E.L.U) e dos Estados Limites de Serviço (E.L.S). A norma ABNT NBR 8681 (2004) estabelece as regras necessárias para garantir a segurança das estruturas comuns utilizadas na construção civil. Aliás, define os termos utilizados e os critérios para determinar as forças e resistências que devem ser vistas no projeto de edifícios, independentemente de sua finalidade e categoria, exceto em situações previamente regulamentadas por normas brasileiras específicas. Os critérios para assegurar a segurança e a forma de calcular as forças atuantes mencionadas nesta norma são aplicáveis tanto às estruturas como suas partes, construídas com qualquer um dos materiais empregados na engenharia civil. A flecha designa-se como uma deformação ou deslocamento vertical de uma estrutura, que ocorre geralmente em elementos estruturais como vigas ou lajes.

O desencadeamento de deformações excessivas em lajes, resultado da ausência ou imprecisão no dimensionamento estrutural, é um desafio que provoca a necessidade urgente de soluções eficazes. Essas deformações excessivas podem comprometer a segurança e estabilidade das estruturas, além de causar desconforto estético. Assim, este deslocamento é um parâmetro significativo a ser levado em conta no planejamento de estruturas, uma vez que impacta a

capacidade de suporte e segurança da estrutura. Em geral, quanto menor a flecha, mais rígida é a estrutura e melhor ela é capaz de suportar cargas. As lajes são componentes planos, geralmente dispostos horizontalmente, caracterizados por apresentarem duas dimensões significativamente maiores em relação à terceira, que é comumente denominada como espessura (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2003). A análise de flechas em lajes destaca-se como um estudo de notável relevância no âmbito da engenharia estrutural, demandando minuciosas considerações tanto durante o processo de concepção de projetos quanto nas avaliações estruturais.

Nesse contexto, uma variedade de metodologias é empregada para a análise das flechas, abrangendo desde métodos analíticos convencionais até abordagens mais avançadas, como a utilização de *softwares* de análise estrutural baseados em técnicas de elementos finitos. É relevante salientar que, no entanto, as deformações causadas pelo carregamento estão diretamente ligadas à carga aplicada, embora não necessariamente indiquem que o elemento estrutural esteja próximo de seu ponto de ruptura (Rusch apud Neville, 1997).

A busca por uma solução eficaz e eficiente para lidar com tais deslocamentos em lajes deve ser extremamente meticulosa, uma vez que esse problema pode comprometer significativamente a integridade e segurança das estruturas. Para solucionar esse desafio, é crucial investir em métodos avançados de análise estrutural, utilizando ferramentas de modelagem e *softwares* que simulem e permitam avaliar com precisão as cargas, tensões e deformações nas lajes. Torna-se essencial adotar normas de projeto atualizadas a fim de garantir que o dimensionamento seja realizado de maneira adequada considerando todas as variáveis envolvidas. Portanto, a pergunta "como solucionar o desencadeamento de flechas em lajes treliçadas ocasionadas pela ausência ou imprecisão no dimensionamento estrutural?" exige uma abordagem abrangente que combine conhecimento técnico, tecnologia avançada e práticas de engenharia rigorosas.

O objetivo geral deste estudo é conduzir simulações para avaliar a capacidade de carga da laje e analisar as disparidades nas deformações, com ênfase na compreensão dos fatores que influenciam a laje no contexto construtivo, foi plenamente alcançado. Para atingir esse objetivo, os objetivos específicos foram delineados. Primeiramente, investigar e reunir informações sobre as

propriedades dos materiais utilizados na construção da laje treliçada, como resistência do concreto, características dos reforços para criar modelos computacionais que representam fielmente a estrutura da laje. Em seguida, examinar as disparidades nas deformações, comparando os resultados obtidos nas simulações, e identificar os fatores que mais influenciam no desempenho estrutural da laje. Com base nos resultados das simulações, sugerir ajustes no projeto ou na construção da laje que possam melhorar seu desempenho estrutural, reduzindo disparidades nas deformações. Por fim, analisar o custo de cada solução.

Através dessas simulações, busca-se alcançar uma compreensão abrangente e detalhada do comportamento estrutural da laje treliçada, considerando variáveis como material utilizado, geometria, distribuição de cargas, entre outros fatores relevantes.

Outrossim, é possível obter informações valiosas sobre a capacidade de suporte deste tipo de laje, identificando os limites de carga que podem ser aplicados sem comprometer a integridade estrutural. Além disso, ao analisar as disparidades nas deformações, é viável entender como diferentes condições de carga afetam a deformação da laje, permitindo uma análise detalhada das variáveis envolvidas, possibilitando a identificação e a compreensão dos fatores que mais influenciam no desempenho da laje. Dessa forma, contribui não apenas para a otimização do design estrutural, mas também para a tomada de decisões embasadas em dados sólidos durante o processo construtivo.

2. METODOLOGIA

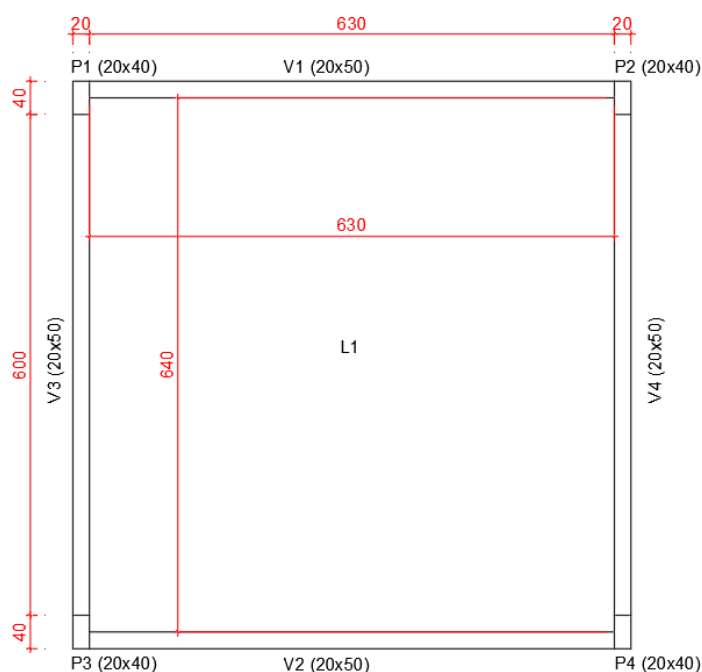
O estudo teve seu ponto de partida na revisão bibliográfica da norma ABNT NBR 6118 (2023), com foco nas principais características relacionadas à análise e dimensionamento de flechas em lajes treliçadas de concreto armado. Além do levantamento bibliográfico e da realização dos cálculos de uma laje treliçada, foram conduzidas simulações direcionadas para investigar o comportamento destas lajes em relação às flechas, visto que as deformações excessivas podem comprometer não apenas a segurança estrutural, mas também a funcionalidade e a estética do projeto.

Através da análise e pesquisa, foram estabelecidos parâmetros para a determinação da flecha máxima admissível seguindo a ABNT NBR 6118 (2023),

levando em conta a natureza da estrutura, sua finalidade e o desempenho desejado para as lajes. Adicionalmente, utilizou-se a modelagem da estrutura utilizando o *software* Eberick®, a fim de criar modelos estruturais representativos da laje para fins de análise estrutural. Este modelo incorporou elementos de geometria, atribuição dos materiais, aplicação das cargas e estabelecimento de condições de contorno apropriadas como pode ser observado nas Figuras 01 e 02.

A Figura 01 apresenta a planta baixa da laje considerada para lançamento no *software* de dimensionamento estrutural.

Figura 01 - Planta-baixa da laje em estudo



Fontes: Dos autores (2023)

A Figura 02 apresenta a representação 3D da laje considerada para lançamento no *software* de dimensionamento estrutural.

Figura 02 - Representação 3D da laje em estudo

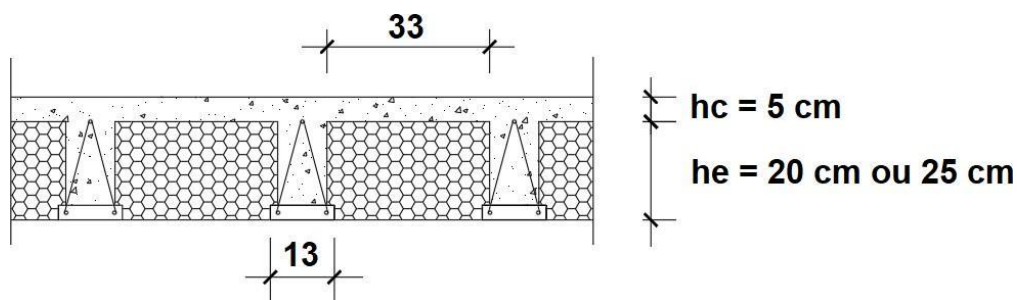


Fontes: Dos autores (2023)

Foi elaborado o pré-dimensionamento da altura da laje treliçada e chegou-se a uma altura de bloco de enchimento (h_e) de 21 cm, além do bloco de enchimento utilizou-se uma altura de capa (h_c) de 5 cm totalizando a altura (h) estimada pelo pré-dimensionamento da laje treliçada de 26 cm para o vão proposto no projeto de 6,30 m. Uma vez que não havia bloco de enchimento de 21 cm, foi verificada a disponibilidade de materiais para a execução das lajes treliçadas junto às empresas ArcelorMittal, Polimix e Rita Lajes, fornecedores de lajes e aços da cidade de Vitória da Conquista - BA e foram constatados os seguintes: Um modelo de treliça para a laje com altura de 25 cm foi o TR 20745 e o bloco de enchimento 1000 x 330 x 200 mm. Já para a laje treliçada com altura de 30 cm foi de TR 25856 e o bloco de enchimento de 1000 x 330 x 250 mm, todas as lajes contaram com capa de 5 cm. A representação da seção transversal da laje treliçada pode ser observada na Figura 03.

Figura 03 - Representação da seção transversal da laje treliçada

Laje treliçada LT 25 (20 + 5) e Laje treliçada LT 30 (25 + 5)



Fontes: Dos autores (2023)

Subsequentemente, procedeu-se à aplicação das cargas pertinentes à laje, incluindo as cargas permanentes como o peso próprio da laje e revestimento de 1,5 kN/m² sendo composto de porcelanato, argamassa colante e forro de gesso. As cargas variáveis (sobrecarga de utilização) totalizaram 1,5 kN/m², conforme à ABNT NBR 6120 (2019) para laje de residências relacionadas a ambientes de sala. Além disso, foi realizado o exame detalhado do modelo estrutural. Esse procedimento envolveu a execução de uma análise estrutural do modelo, com o objetivo de obter informações precisas sobre deslocamentos em

toda a extensão da laje.

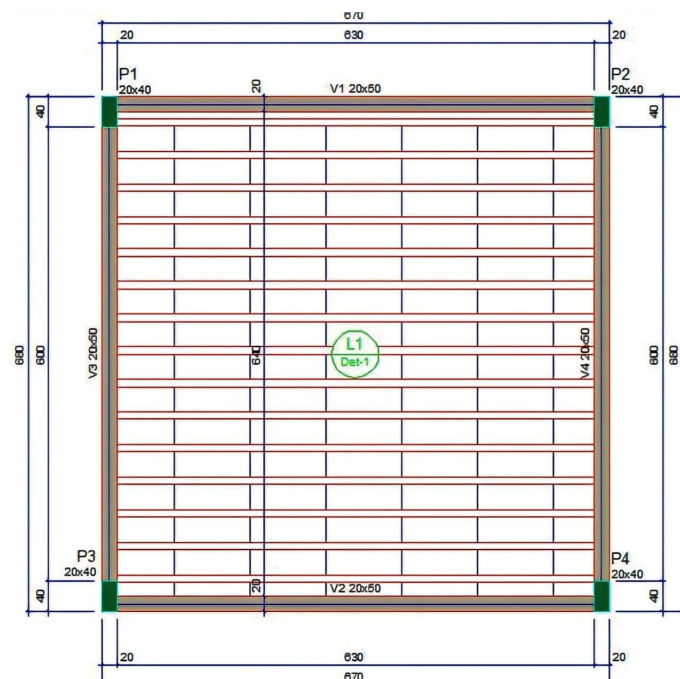
Para avaliar a predominância de flechas nas lajes, comparamos os deslocamentos obtidos na análise de 16 modelos com os critérios estabelecidos na concepção do projeto. Se os deslocamentos estiverem em conformidade com esses critérios a laje é considerada adequada, assegurando assim que atenda aos requisitos de segurança, estabilidade e desempenho estabelecidos pelo projeto estrutural.

Foram elaborados 8 modelos de laje treliçada sendo 4 modelos LT 25 (20 + 5) com altura $h = 25$ cm utilizando o concreto com resistência de 25 MPa e 4 modelos utilizando o concreto com resistência de 30 MPa. E também mais 8 modelos de laje treliçada sendo 4 modelos LT 30 (25 + 5) com altura $h = 30$ cm utilizando o concreto com resistência de 25 MPa e 4 modelos utilizando o concreto com resistência de 30 MPa conforme indicação abaixo:

- Modelo 1 – Laje treliçada sem nervura transversal (LT SNT)
- Modelo 2 – Laje treliçada com nervura transversal (LT CNT)
- Modelo 3 – Laje treliçada com vigota dupla (LT CVD)
- Modelo 4 – Laje treliçada com vigota dupla com nervura transversal (LT CVD/CNT)

a) Modelo 1 - modelo simples com vigotas unidirecionais e blocos de enchimento de EPS representado pela Figura 04.

Figura 04 - Laje treliçada com nervuras treliçadas e blocos de enchimento de EPS

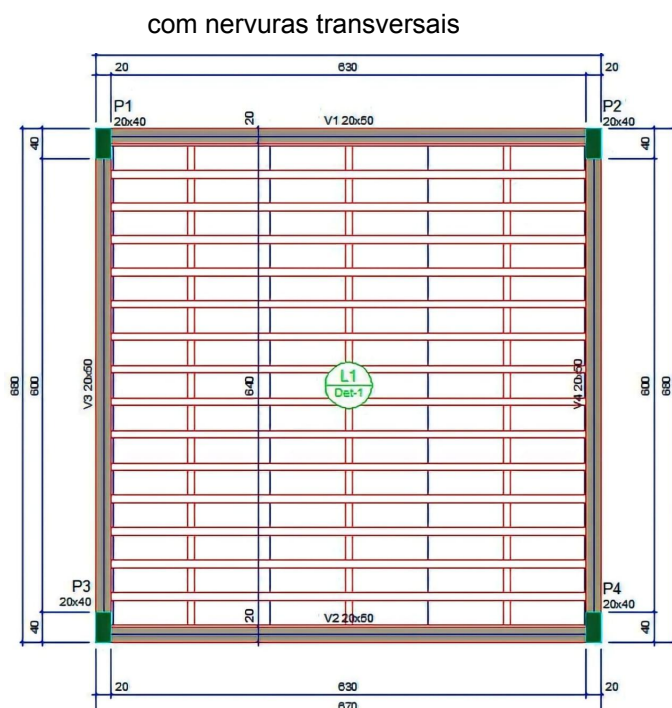


Fontes: Dos autores (2023)

b) Modelo 2 - modelo simples com vigotas unidirecionais e blocos de enchimento de EPS transversais adicionando nervuras transversais representado pela Figura 05.

De acordo com Bastos (2023) as nervuras transversais exercem função de travamento lateral das nervuras principais, uniformizando o comportamento estrutural da laje, contribuindo na redistribuição dos esforços solicitantes.

Figura 05 - Laje treliçada com nervuras treliçadas e blocos de enchimento de EPS

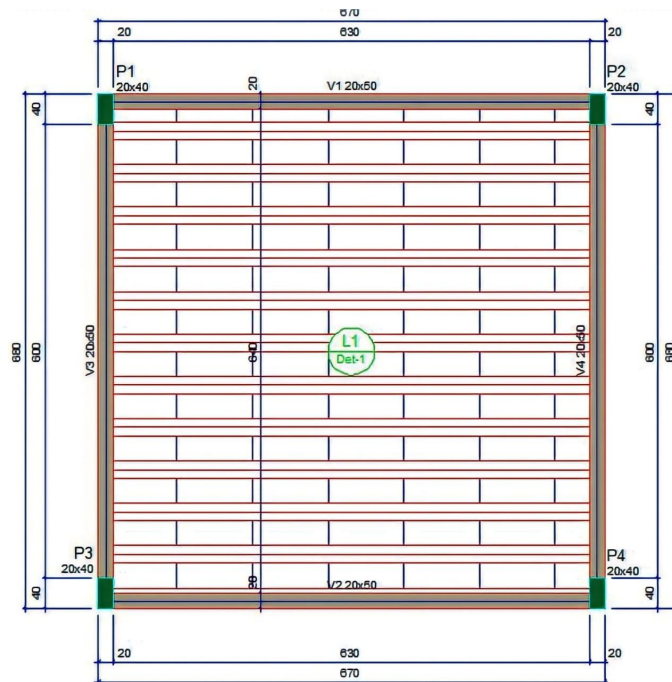


Fontes: Dos autores (2023)

c) Modelo 3 - modelo simples com vigotas unidirecionais justapostas e blocos de enchimento de EPS representado pela Figura 06.

As vigotas justapostas aumentam a rigidez da laje melhorando seu comportamento e diminuindo as deformações.

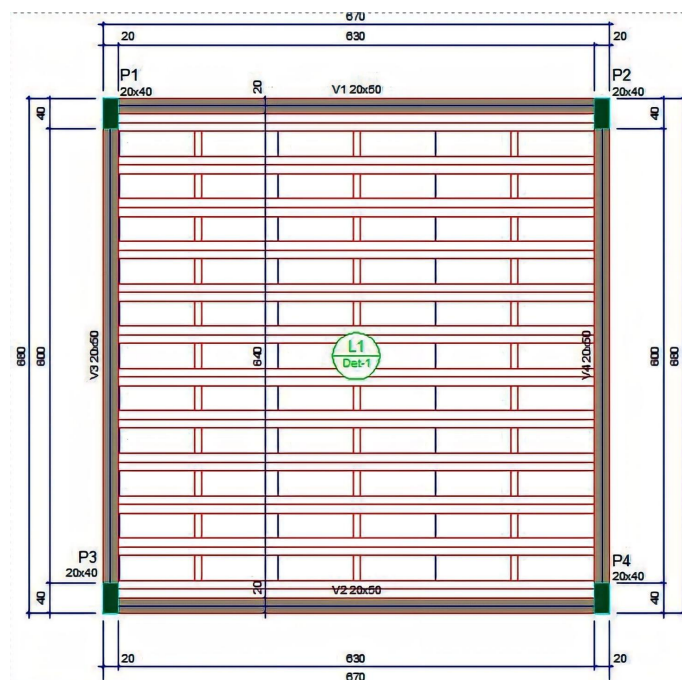
Figura 06 - Laje treliçada com nervuras treliçadas e vigotas duplas e blocos de enchimento de EPS



Fontes: Dos autores (2023)

Modelo 4 - modelo simples com vigotas unidirecionais justapostas e blocos de enchimento de EPS adicionando nervuras transversais representado pela Figura 07.

Figura 07- Laje treliçada com nervuras treliçadas em vigotas duplas, blocos de enchimento de EPS com nervura transversal



Fontes: Dos autores (2023)

Esta adição estrutural visa aprimorar a resistência e eficiência do sistema, contribuindo para uma distribuição mais uniforme das cargas e otimizando a capacidade de suporte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram elaborados 16 modelos de laje treliçada utilizando o *software* Eberick®, seguindo os critérios estabelecidos no projeto. O objetivo era assegurar que as estruturas atendessem aos padrões de segurança e desempenho estabelecidos. Após a conclusão do processo, observou-se que apenas 10 obtiveram resultados satisfatórios em relação à flecha, mantendo-a abaixo dos limites estabelecidos pelos critérios normativos, conforme pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01 – Modelo de lajes treliçadas com análise de flechas

CONCRETO C25								
MODELO	ÁREA	TRELIÇA	BLOCO DE ENCHIMENTO	FLECHA	CONTRA-FLECHA	FLECHA TOTAL	FLECHA LIMITE	RE SULTADO
LT 25 (20+5) SNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	5,98	1,5	4,48	2,6	NÃO PASSOU
LT 25 (20+5) CNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	4,47	1,5	2,97	2,6	NÃO PASSOU
LT 25 (20+5) CVD	41,6	TR 20745	1000x330x200	5,37	1,5	3,87	2,6	NÃO PASSOU
LT 25 (20+5) CVD/CNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	3,38	1,5	1,88	2,5	PASSOU
LT 30 (25+5) SNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	4,42	1,5	2,92	2,6	NÃO PASSOU
LT 30 (25+5) CNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	2,95	1,5	1,45	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) CVD	41,6	TR 25856	1000x330x250	3,79	1,5	2,29	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) CVD/CNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	2,64	1,5	1,14	2,6	PASSOU
CONCRETO C30								
MODELO		TRELIÇA	BLOCO DE ENCHIMENTO	FLECHA	CONTRA-FLECHA	FLECHA TOTAL	FLECHA LIMITE	RE SULTADO
LT 25 (20+5) SNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	5,26	1,5	3,76	2,6	NÃO PASSOU
LT 25 (20+5) CNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	3,69	1,5	2,19	2,6	PASSOU
LT 25 (20+5) CVD	41,6	TR 20745	1000x330x200	4,34	1,5	2,84	2,6	NÃO PASSOU
LT 25 (20+5) CVD/CNT	41,6	TR 20745	1000x330x200	2,71	1,5	1,21	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) SNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	3,6	1,5	2,1	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) CNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	2,24	0	2,24	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) CVD	41,6	TR 25856	1000x330x250	3,01	1,5	1,51	2,6	PASSOU
LT 30 (25+5) CVD/CNT	41,6	TR 25856	1000x330x250	2,08	0	2,08	2,6	PASSOU

Fontes: Dos autores (2023)

A análise da Tabela 01 ressalta a importância da avaliação precisa das características estruturais durante o desenvolvimento do projeto, destacando a necessidade de ajustes e otimizações para garantir o pleno atendimento aos requisitos de segurança e desempenho. A identificação dos 10 modelos que atenderam aos critérios estabelecidos proporciona uma base sólida para a escolha da configuração estrutural mais adequada, contribuindo para a eficiência e eficácia do projeto como um todo.

Com base nos custos das lajes obtidas pelo fornecedor Rita Lajes, ArcelorMittal fornecedor de aço e Polimix fornecedor de concreto usinado na cidade de Vitória da Conquista – BA, obtivemos o custo de cada laje que passou na primeira verificação conforme pode ser observado na Tabela 02.

Tabela 02– Custo das lajes treliçadas

CONCRETO C25			VOLUME DE CONCRETO	AÇO	KG	CUSTO CONCRETO C25	TOTAL CONCRETO	CUSTO AÇO	TOTAL AÇO	CUSTO LAJE	TOTAL LAJE	TOTAL
MODELO	TRELIÇA	BLOCO DE ENCHIMENTO										
LT 25 (20+5) CVD/CNT	TR 20745	1000x330x200	5	10,0	180,4	R\$ 580,00	R\$ 2.900,00	R\$ 6,03	R\$ 1.087,81	R\$ 125,00	R\$ 5.200,00	R\$ 9.187,81
LT 30 (25+5) CNT	TR 25856	1000x330x250	4,4	10,0	63,1	R\$ 580,00	R\$ 2.552,00	R\$ 6,03	R\$ 380,49	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 8.964,49
LT 30 (25+5) CVD	TR 25856	1000x330x250	5,7	12,5	156,7	R\$ 580,00	R\$ 3.306,00	R\$ 5,86	R\$ 918,26	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 10.256,26
LT 30 (25+5) CVD/CNT	TR 25856	1000x330x250	5,9	10	144,3	R\$ 580,00	R\$ 3.422,00	R\$ 6,03	R\$ 870,13	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 10.324,13
CONCRETO C30						C30						
LT 25 (20+5) CNT	TR 20745	1000x330x200	3,9	12,5	99,7	R\$ 605,00	R\$ 2.359,50	R\$ 5,86	R\$ 584,24	R\$ 125,00	R\$ 5.200,00	R\$ 8.143,74
LT 25 (20+5) CVD/CNT	TR 20745	1000x330x200	5	8,0	136,9	R\$ 605,00	R\$ 3.025,00	R\$ 6,32	R\$ 865,21	R\$ 125,00	R\$ 5.200,00	R\$ 9.090,21
LT 30 (25+5) CNT	TR 25856	1000x330x250	4,1	8,0	85,5	R\$ 605,00	R\$ 2.480,50	R\$ 6,32	R\$ 540,36	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 9.052,86
LT 30 (25+5) CVD	TR 25856	1000x330x250	5,7	12,5	156,7	R\$ 605,00	R\$ 3.448,50	R\$ 5,86	R\$ 918,26	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 10.398,76
LT 30 (25+5) CVD/CNT	TR 25856	1000x330x250	5,9	10,0	108,2	R\$ 605,00	R\$ 3.569,50	R\$ 6,03	R\$ 652,45	R\$ 145,00	R\$ 6.032,00	R\$ 10.253,95

Fontes: Dos autores (2023)

Com base na tabela 02 o modelo LT 25 (20+5) com nervura transversal e concreto C30 é considerado a opção mais viável economicamente quando se trata de lajes treliçadas totalizando um custo de R\$8.143,74.

Sua configuração proporciona uma relação custo-benefício atrativa. No entanto, é importante salientar que, ao optar por esse modelo, a execução da contra-flecha se torna uma etapa crucial no processo construtivo.

A contra-flecha é uma técnica empregada para compensar as deformações naturais que ocorrem nas vigas devido às cargas aplicadas. Para executá-la, é necessário realizar um cuidadoso cálculo, levando em consideração diversos fatores, como a carga a ser suportada e as características do material utilizado. A contra-flecha é, essencialmente, uma curvatura pré-determinada na laje durante sua montagem, de modo a neutralizar as deformações que surgirão sob a carga operacional.

Embora o modelo LT 25 (20+5) com nervura transversal e concreto C30 ofereça vantagens econômicas, é fundamental destacar que a execução da contra-flecha exige uma mão-de-obra altamente qualificada e uma abordagem rigorosa. Erros nesse processo podem comprometer a eficácia da contra-flecha e, conseqüentemente, a segurança da estrutura como um todo. Portanto, a escolha desse modelo implica a necessidade de investir em profissionais experientes e na adoção de práticas construtivas precisas.

Por outro lado, o modelo LT 30 (25+5) com nervura transversal e concreto C30 surge como uma alternativa que prioriza tanto a segurança quanto o custo, totalizando R\$ 9.074,49, uma diferença de R\$ 930,75 em relação a opção mais barata. Este modelo demonstrou ser uma escolha mais favorável, uma vez que

alcançou uma flecha menor que o limite, sem a necessidade de contra-flecha como pode-se observar na Tabela 01. Isso simplifica o processo construtivo, reduzindo a dependência de técnicas complexas e mão de obra altamente especializada.

Assim, ao considerar a segurança e a facilidade de execução o modelo LT 30 (25+5) com nervura transversal e concreto C30 emerge como a opção mais vantajosa. Sua capacidade de atender aos requisitos estruturais sem a complexidade adicional da contra-flecha faz dela uma escolha prática e eficiente para projetos que buscam otimizar tanto os recursos financeiros quanto a qualidade construtiva.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar a predominância de flechas nas lajes, comparando os deslocamentos obtidos em 16 modelos com os critérios estabelecidos no projeto. O objetivo estabelecido de conduzir simulações para avaliar a capacidade de carga da laje e analisar as disparidades nas deformações, com ênfase na compreensão dos fatores que influenciam a laje no contexto construtivo, foi plenamente alcançado.

Destaca-se que o modelo LT 25 (20+5) com nervura transversal e concreto C30, emergiu como a opção mais viável economicamente. Contudo, é crucial ressaltar que ao escolher esse modelo, a execução da contra-flecha torna-se uma etapa essencial no processo construtivo, considerando os resultados obtidos e os requisitos de desempenho estrutural. Portanto de posse destes dados o engenheiro de estruturas pode optar pelo modelo LT 30 (25+5) com nervura transversal e concreto C30 buscando a junção de segurança, economia e facilidade de execução.

O presente artigo mostrou ser de grande importância para demonstrar que a análise estrutural de estruturas deve sempre ser acompanhada de uma análise de custos em conjunto com análise da execução da estrutura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8681:2004 - Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2004.

BASTOS, P. S. Lajes de concreto armado – notas de aula. Unesp, Bauru/SP.

DA PAIXÃO MONTEIRO, M.; SILVA VENÂNCIO, M. Estudo de flechas em lajes maciças e lajes nervuradas de concreto armado em função do vão. 2019.

BENEDETTI, K. Sensibilidade da segurança de vigas e lajes de concreto armado a erros de execução. 2013.

NEVILLE, A. M. (1997). Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini.

RÜSCH, H. (1980). Concreto Armado e Protendido: Propriedades dos Materiais e Dimensionamento. Rio de Janeiro: Campus Ltda.

FARDIN, Hedelvan. Análise de modelos de cálculo de flecha em lajes de concreto armado. 2017. 101 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, 2017.

MOURA, M. W.; MARCELLINO, N. A. Avaliação da deformação em lajes bidirecionais de concreto armado.