

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES TIPO PAINEL TRELIÇADO
MACIÇO E *STEEL DECK*, ATRELADOS À ESTRUTURA METÁLICA**

**WEIKMAN SOUSA DA PAIXÃO
WILLIAM HENRIQUE FAGUNDES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**WEIKMAN SOUSA DA PAIXÃO
WILLIAM HENRIQUE FAGUNDES**

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES TIPO PAINEL TRELIÇADO
MACIÇO E *STEEL DECK*, ATRELADOS À ESTRUTURA METÁLICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Camila Alves da Silva.

Caratinga/MG

2016

TÍTULO DO TRABALHO

COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES PTM E STEEL DECK, ATRELADAS À ESTRUTURA METÁLICA

Nome completo do aluno: WEIKMAN SOUSA DA PAIXÃO
WILLIAM HENRIQUE FAGUNDES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Camila Alves Da Silva, Sidinei Silva Araújo e José Salvador Alves, às 22:00 horas do dia 12 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: aprovado (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: ótima (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: ()SIM (x)NÃO

Caratinga, 12 de dezembro de 2016

Camila Alves da Silva
Professor Orientador e Presidente da Banca

Sidinei Silva Araújo
Professor Avaliador 1

José Salvador Alves
Professor Avaliador 2

Weikman Sousa da Paixão
Aluno(a)
William Henrique Fagundes

[Assinatura]
Coordenador(a) do Curso

À Deus por todas as bênçãos desta vida...

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos de dúvida, incertezas e apreensão, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso primeiramente agradeço aquele que me permitiu que eu chegasse até aqui, me dando forças para continuar e alcançar todos os objetivos desta jornada, obrigado meu Senhor e meu Deus.

A minha mãe, Maria de Lurdes Sousa, por sua dedicação e determinação em virtude de poder me educar e conceder conhecimento, abdicando de viver sua vida perto da própria família em função da minha vida, minha educação, meu sonho e o meu futuro.

Aos meus avós maternos, Sebastião Olavio de Sousa e em especial Maria das Graças de Sousa (“in memoriam”) que mesmo não estando presente entre nós, está presente em meu coração e em minhas melhores lembranças, do qual só tenho a agradecer por sua ternura, por seu carinho, seu companheirismo e seus ensinamentos que levarei por toda minha vida, agradeço eternamente do fundo do meu coração.

Aos demais membros de minha família pelo apoio e estímulo.

A minha namorada, Francycle B. Galvino Malta, por toda sua ajuda e entendimento durante este momento difícil, e que a todo tempo esteve renovando minhas forças para seguir em frente.

A todos os colegas de trabalho do Grupo Liderança que fizeram do meu estágio uma fonte de aprendizado. Em especial ao Engenheiro Ronaldo Cândido Rocha, por contribuir com seu conhecimento e experiência em minha carreira.

A todos os professores e colegas de faculdade que de alguma forma contribuíram para esta pesquisa, agradeço a todos pela amizade, paciência, bondade e convivência destes 5 anos, que serão infindáveis para mim.

Weikman Sousa Paixão

AGRADECIMENTOS

Sei que um curso de bacharel é apenas um minúsculo passo na vida acadêmica de qualquer pessoa. Porém, nesta escada da vida, cada degrau se faz de imensa importância para que se alcance o sucesso. E eu não poderia ter subido este degrau sem a ajuda de muitos.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por todas as coisas boas, que nos fazem realizados.

Agradeço a meus pais, por terem depositado em mim sua fé, esperança, apoio e carinho, dando-me forças para seguir em frente; A meus amigos Sandra Leite, Agrinaldo Dornelas e José Roberto, entre tantos outros, que, por meio de incentivos, possibilitaram que eu completasse esta jornada; Agradeço aos professores, que, com dedicação, compartilharam o conhecimento necessário para o exercício da profissão.

Agradeço ainda em memória de meu primo Udsson Fagundes, que por muito tempo foi meu amigo e concelheiro, mas que, prematuramente deixou esta vida. Que sua passagem pela terra nunca seja esquecida!

William Henrique Fagundes

“A verdade última ilude. Parece que nunca a podemos alcançar. Um véu de mistério oculta os segredos do universo. Aqui e ali, levantá-mo-lo e vemos alguns aspectos da realidade. Contudo, a grandeza que jaz além, parece tão vasta quanto antes”
(F. L. Darrow)

RESUMO

PAIXÃO, Weikman Sousa e FAGUNDES, William Henrique. **COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES TIPO PAINEL TRELIÇADO MACIÇO E *STEEL DECK*, ATRELADOS À ESTRUTURA METÁLICA**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

No ramo das construções atuais, nota-se uma acentuada preocupação por construções que atinjam seus objetivos rapidamente, que sejam projetadas de maneira eficiente e que alcancem as expectativas do utilizador da edificação atrelado à segurança e economia. Em virtude deste cenário, os engenheiros de estruturas se veem desafiados pelas circunstâncias, sendo obrigados a conhecer e estudar novos métodos construtivos a fim de empregá-los nas construções, tentando reduzir gastos e desperdícios desnecessários associados à agilidade. A presente monografia tem como objetivo apresentar e analisar o processo construtivo e as características da laje conformada por painéis treliçados maciços (PTM), e comparar com outra tipologia de laje incorporada à estrutura metálica: lajes steel deck, comparando os dois modelos quanto ao seu desempenho e utilização na construção civil. Dar-se foco na análise de comportamento, quanto ao desenvolvimento previsto para o cálculo de verificações das ações das flechas, em cada modelo de laje. Por se tratar de uma análise comparativa, serão abordados os aspectos funcionais, as características estruturais de cada laje, as ações atuantes e qual o impacto que essas ações ocasionam, quais as vantagens e desvantagens, definindo, assim, o desempenho que cada tipo de laje pode fornecer ao pavimento-tipo apresentado. Mesmo com a carência de material técnico sobre o assunto, e com o fato de as normas vigentes serem confusas e vagas, este projeto demonstra que as lajes mencionadas têm comportamento estrutural similar uma a outra, porém com um diferencial em espessura. Portanto, entende-se que após uma análise criteriosa, fica claro que a laje steel deck, atende melhor a situação da obra descrita no projeto.

Palavras-Chave:Laje tipo painel treliçado maciço; Laje steel deck; Lajes, Estruturas metálicas.

ABSTRACT

PAIXÃO, Weikman Sousa e FAGUNDES, William Henrique. **COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES TIPO PAINEL TRELIÇADO MACIÇO E *STEEL DECK*, ATRELADOS À ESTRUTURA METÁLICA**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

Nowadays, in the field of building construction, there is a noticeable concern about constructions that reach their goals quickly, that are projected in an efficient way and that reach the expectations of the user of the building linked to safety and economy. Because of this scenario, structural engineers are challenged by circumstances, being forced to know and study about new construction methods to employ them in constructions, trying to reduce unnecessary waste and expense together with agility. The present paper aims to present and analyze the constructive process and the characteristics of the slab conformed by solid lattice panels (PTM), and compare with another type of slab incorporated into the metallic structure: steel deck slabs, comparing the two models in terms of their performance and use in construction. We will focus on behavioral analysis, regarding the expected development for the calculation in order to verify the actions of arrows, in each slab model. Because it is a comparative analysis, the functional aspects, the structural characteristics of each slab, the actions and the impact of these actions will be addressed, which are the advantages and disadvantages of them, defining, thus, the performance that each type of slab can provide to the presented pavement-type. Even with the lack of technical material on the subject, and with the current regulations being confusing and vague, this project demonstrates that the aforementioned slabs have similar structural behavior to one another, but with a differential in thickness. Therefore, it is understood that after a careful analysis, it is clear that the steel deck slab better meets the situation of the work described in the project.

Key-words: Solid lattice panel slab; Steel deck slab; Slabs; Metal structures..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura em aço (Disponível em: < http://www.steelstructureschina.com/Steel-Structure-for-Power-Plant-Industry.htm >).	20
Figura 2 – Seção transversal de laje treliçada (ROCHA, 2001).	27
Figura 3 – Laje PTM. Cortesia de Prof. ROCHA, 2016.	28
Figura 4 – Esquema de treliça (Disponível em: www.lajesjundiai.com.br/produtos/painel-trelicado-macico).	29
Figura 5 – Perda no braço de alavanca devido ao distanciamento das armaduras na laje painel treliçada maciça (ROCHA, 2015)	30
Figura 6 – Escoramento (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016)	31
Figura 7 – Seção transversal de uma laje <i>steel deck</i> . Fonte: Adaptado de <i>Polydeck</i> , Disponível em: < http://www.pacofix.com.br/downloads/polydeck59S.pdf >	35
Figura 8 – Fachada modelo da Agência da Receita Federal (Fonte: Do autor).	38
Figura 9 – Planta baixa do pavimento tipo (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016).	39
Figura 10 – Planta estrutural da laje PTM (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016).	40
Figura 11 – Reações de apoio em lajes com carga uniforme (Fonte: Adaptado de PINHEIRO, 2007)	41
Figura 12 – REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME (Fonte: Pinheiro, 1993)	62
Figura 13 – REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME (Fonte: Pinheiro, 1993)	63
Figura 14 – Limites para deslocamento (Fonte: ABNT NBR 6118/2014)	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Valores do coeficiente ε em função do tempo.	26
Tabela 2	– Tabelas de vãos máximos.	29
Tabela 3	– PESO PRÓPRIO PERFIL + CONCRETO Kg/m^2 - Concreto Fck 22 Mpa.	34
Tabela 4	– Malha anti-fissuração.	34
Tabela 5	– Características mecânicas da laje <i>steel deck</i>	34
Tabela 6	– Propriedades Geométricas da Seção A.	47
Tabela 7	– Momento de inércia da seção fissurada.	47
Tabela 8	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm, 2 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	57
Tabela 9	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm, 3 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	57
Tabela 10	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm, 4 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	58
Tabela 11	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 2 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	58
Tabela 12	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 3 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	59
Tabela 13	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 4 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	59
Tabela 14	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 2 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	60
Tabela 15	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 3 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	60
Tabela 16	– Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 4 apoios (Adaptado de: <i>Polideck</i>).	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PTM	Painel Treliçado Maciço
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i>
FEM	Fábrica de Estruturas Metálicas
CS	Coluna Soldada
CVS	Coluna Viga Soldada
AISC	<i>American Institute of Steel Construction</i>
ELS	Estado limite de serviço
ELU	Estado limite último
MPa	Mega Pascal
f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão
daN	Decanewton
EPS	Poliestireno Expandido
Ecs	Módulo de elasticidade secante do concreto
Eci	Módulo de deformação tangente inicial
Esp.	Espessura
Vol.	Volume
Conc.	Concreto

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Força, ações
$M_{1d,min}$	momento total de 1ª ordem de cálculo mínimo
γ_{f1}	Variabilidade das ações, no coeficiente γ_f
γ_{f2}	Simultaneidade da atuação das ações, no coeficiente γ_f
γ_{f3}	Desvios ocasionados na construção e aproximação das ações em tempo de projeto, no coeficiente γ_f
γ_q	Coefficiente de ponderação para ações variáveis diretas
γ_{qs}	Coefficiente de ponderação para ação variável estabilizante
γ_{gn}	Coefficiente de ponderação para ações permanentes não estabilizantes
$\gamma_{\epsilon g}$	Coefficiente de ponderação para a retração ou fluência
$\gamma_{\epsilon q}$	Coefficiente de ponderação para a temperatura
γ_n	Coefficiente de ajuste de γ_f , considerando a probabilidade de desvios significativos na construção
θ_1	Desaprumo de elemento vertical contínuo
ψ_{0j}	Fator de redução de combinação para ações variáveis diretas
$\psi_{0\epsilon}$	Fator de redução de combinação para ações variáveis indiretas
ψ_0	Fator de redução de combinação para ELU
ψ_1	Fator de redução de combinação frequente para ELS
ψ_2	Fator de redução de combinação quase permanente para ELS
M_d	Momento de cálculo
S_d	Solicitações de cálculo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 HIPÓTESE	17
1.5 METODOLOGIA	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS	19
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS	19
2.2.1 Características gerais	19
2.2.2 Vantagens e desvantagens	21
2.2.3 Aspectos de projeto	22
2.3 LAJES	22
2.3.1 Aspectos de segurança	23
2.3.2 Deformações Excessivas	24
2.4 PRÉ-LAJES	26
2.5 LAJE TIPO PAINEL TRELIÇADO MACIÇO	28
2.5.1 Definição de conceitos gerais	28
2.5.2 Prescrições normativas	31
2.5.3 Processo executivo	31
2.6 LAJES <i>STEEL DECK</i>	32
2.6.1 Definição de conceitos gerais	32
2.6.2 SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	35
2.6.3 Processo executivo	35
2.6.4 Aspectos normativos	37
3 APRESENTAÇÃO DA OBRA	38
4 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO: DEF	41
4.1 LAJE TIPO PTM	41
4.1.1 Cálculo das cargas	42
4.1.2 Momentos fletores	42
4.1.3 Momento de inércia	43
4.1.4 Momento de fissuração e momento na seção crítica	43

4.1.5 Verificação das flechas	44
4.1.5.1 Flecha imediata	44
4.1.5.2 Flecha diferida	45
4.1.5.3 Flecha limite	46
4.2 LAJE STEEL DECK	47
4.2.1 Verificação da fissuração do concreto	47
4.2.2 Verificação da flecha imediata	48
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	50
6 CONCLUSÃO	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXO A - OFÍCIO DE REQUERIMENTO PARA UTILIZAÇÃO DO PROJETO	56
ANEXO B - TABELAS DE DIMENSIONAMENTO	57
ANEXO C - REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME . . .	62
ANEXO D - LIMITES PARA DESLOCAMENTO	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A presente monografia tem como objetivo principal analisar o processo construtivo e as características mecânicas da laje conformada por painéis treliçados maciços (PTM), e comparar com outra tipologia de laje incorporada à estrutura metálica: lajes *steel deck*, por meio de análise e cálculos. Para tanto, o pavimento-tipo adotado foi à obra da Agência modelo da Receita Federal de Caratinga – MG, situado na Rua Engenheiro Hebert, nº 30, Bairro Santa Zita, onde foi combinado o uso de estruturas metálicas com laje tipo (PTM).

A escolha do tema deve-se primeiramente a pouca utilização desta tipologia de lajes (PTM) em Caratinga e região, mas que pode apresentar uma boa alternativa para futuras obras com solicitações semelhantes ao pavimento-tipo escolhido. A tipologia de laje empregada no pavimento-tipo apresenta grande praticidade no que diz respeito ao método construtivo, além de possuir rigidez elevada, reduzindo o número de escoramentos. Este método ainda dispensa o uso de material de enchimento entre as vigotas, sendo esta uma das poucas diferenças entre a laje PTM e a laje treliçada (ARNHOLDT, 2014).

Outro aspecto importante a ser observado é o fato de ainda existirem poucas literaturas a respeito desta tipologia de laje PTM. Portanto, este trabalho também busca fornecer informações importantes que poderão servir para pesquisas futuras, e para fornecer critérios para a adoção de configurações estruturais futuras.

Uma possível limitação para o uso de lajes PTM seria a ancoragem entre o elemento concreto e a estrutura metálica, que pode não apresentar desempenho satisfatório, abrindo espaço para a utilização de lajes *steel deck*.

Lajes *steel deck* são compostas por telhas trapezoidais de aço galvanizado e cobertas por uma camada de concreto. O aço atua como armadura para esforços de tração, e serve também como fôrma para a concretagem. O aço utilizado é moldado a frio, possuindo entre 820 mm e 840 mm de largura útil, possuindo nervuras largas, por onde se pode passar com facilidade os dutos de instalações elétricas e hidráulicas. Outra vantagem de lajes *steel deck* é a eliminação de escoramentos, fator que agiliza a execução da obra (LEMOS, 2013).

Pelo fato que na laje *steel deck*, o elemento de ligação entre laje e viga ser composto pelo material aço, esta tipologia apresenta boas características de ancoragem, devido a mesma ser feita com solda ou quaisquer outros elementos de ligação entre estruturas metálicas. Estas lajes possuem conectores de cisalhamento (*stud bolts*) que permitem uma melhor interação do concreto com o aço (BREMER, 2007).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Tomando como base o projeto da Agência modelo da Receita Federal de Caratinga – MG, tem-se como propósito analisar a solução estrutural adotada quanto ao desenvolvimento de flechas: estrutura metálica e laje de painéis treliçados maciços com outra tipologia: estrutura metálica e laje *steel deck*, comparando por meio de análises de desempenho e verificações quanto ao estado-limite de serviço.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Apresentar o projeto da Agência modelo da Receita Federal de Caratinga – MG, destacando a área a ser estudada;
- Retratar as principais características das lajes painel treliçado maciço e *steel deck*, bem como, as características construtivas e mecânicas das tipologias citadas;
- Desenvolver a análise do comportamento, quanto ao desenvolvimento previsto para cálculo de flechas, para as tipologias de lajes em estudo;
- Comparar e analisar os resultados obtidos e identificar as possíveis interferências do desempenho em serviço da estrutura;
- Contribuir com critérios de escolha das tipologias, qual o tipo estudado possui melhor desempenho para utilização na obra em questão, demonstrando até onde uma ou outra laje pode ser aplicada sem perder as suas principais funções.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma preocupação habitual no cenário atual de obras diz respeito à necessidade de se produzir mais, diminuindo ao máximo o desperdício. É muito comum se deparar com a demanda de clientes que exigem pavimentos cada vez menos espessos e com utilização de uso de cargas indefinidas atrelados à redução do uso de fôrmas e escoramento, gerando economia e agilidade.

Tal circunstancia, faz com que os engenheiros de estruturas enfrentem situações complexas que requerem a escolha de novos métodos construtivos e que sejam cada vez mais econômicos, seguros e de grande agilidade na execução, porém, ainda existem lacunas no conhecimento quanto ao emprego desses novos métodos.

Desse modo, sabe-se que na literatura existente sobre lajes tipo PTM tem grande carência de estudos e materiais técnicos de sua utilização, sendo que, são poucos os artigos encontrados e que têm como foco esta tipologia.

Sendo assim o presente trabalho se baseia em estudo do desempenho de elementos estruturais de mesma função, mas de tipologia diferente, promovendo expansão do conhecimento no meio técnico, contribuindo ainda para os estudos que auxiliarão na escolha de lajes para futuras obras, que utilizarão uma configuração estrutural semelhante às aqui estudadas, por meio da divulgação de novas técnicas estruturais e construtivas na cidade de Caratinga- MG, cujo principal sistema estrutural e construtivo é o concreto armado convencional que, embora eficiente, pode ser substituído por estruturas metálicas e apresentar desempenho igualmente satisfatório.

As informações descritas nos capítulos seguintes poderão servir como pesquisa futura, contribuindo para a formação pessoal do leitor, por fornecer informações importantes acerca do tema, auxiliando a formar critérios de escolha para tipologia de lajes de futuras obras de estruturas metálicas.

1.4 HIPÓTESE

O presente estudo parte da hipótese de que, para o projeto delimitado para análise, a adoção de laje tipo PTM não é a opção mais adequada para uso conjunto com estrutura metálica. E que ainda, a laje *steel deck* tem desempenho superior à tipologia de laje supracitada do ponto de vista executivo e estrutural.

1.5 METODOLOGIA

Durante as pesquisas realizadas para a elaboração desse projeto científico, algumas definições direcionaram para as lajes: painel treliçado maciço e *steel deck*, como as que apresentam o melhor comportamento estrutural para o tipo de estrutura utilizada. Diante disso, foi feito a apresentação do projeto modelo que foi utilizado e ainda destacar a área a ser estudada para análise e cálculo das estruturas para comparação posterior.

Foram analisados os principais tópicos relativos aos tipos de lajes estudadas com base na bibliografia existente sobre as mesmas, com intuito de se avaliar e compreender as características das estruturas analisadas, porém com foco maior para a laje tipo painel treliçado maciço, do qual se tem menor conhecimento.

Em seguida foi desenvolvida, apenas para um único vão de laje, cálculos estruturais para verificação das flechas das lajes estudadas a fim de se compreender o comportamento da estrutura quanto ao desenvolvimento de deformações devido ao carregamento, lembrando que os

cálculos foram realizados seguindo algumas normas da ABNT como a: NBR 6118/2014 referente a projeto de estruturas de concreto – Procedimento; NBR 8800/2008 - Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios (Métodos dos Estados Limites), referente a projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, entre outras que se façam necessárias.

Por fim, foram comparados e analisados os resultados obtidos, apresentando conclusões sobre a melhor tipologia de laje a ser empregada com o uso de estrutura metálica, a justificativa sobre a escolha da mesma, possíveis interferências do desempenho em desfavor da estrutura e também acrescentar na bibliografia já existente sobre novas técnicas construtivas e seus possíveis empregos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo inicial é feita uma introdução do assunto abordado no trabalho apresentando de maneira breve o tema e a problematização do estudo. Contém ainda os objetivos, justificativa, hipóteses, metodologia e a estrutura da monografia.

No capítulo 2 contém a revisão bibliográfica abordando os conceitos sobre estruturas metálicas, tipologias de lajes a serem empregadas, particularidades de todos os processos executivos, propriedades e materiais constituintes a serem utilizadas, vantagens e desvantagens de cada estrutura.

No terceiro capítulo trata-se da apresentação da obra com destaque na área a ser estudada, bem como o desenvolvimento para análise de comportamento e verificações quanto ao desenvolvimento previsto para os cálculos de das flechas nas tipologias adotadas.

No quarto capítulo foi desenvolvido à análise de comportamento e verificações quanto ao desenvolvimento previsto para os cálculos das flechas.

No penúltimo capítulo foi abordada a discussão dos resultados obtidos através do estudo de revisão bibliográfica e análise das estruturas a serem empregadas.

Por fim, no capítulo 6 encontram-se as considerações finais do trabalho, conclusões e sugestões para pesquisas futuras. Por último, as referências bibliográficas citadas para dar embasamento ao trabalho realizado.

2 SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A análise estrutural é uma parte fundamental do projeto de engenharia de estruturas. Para que seja feita a análise de uma estrutura, é necessário primeiro esclarecer a diferença entre elemento estrutural e sistema estrutural.

Elementos estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares etc.), que compõem uma estrutura (CARVALHO, FIGUEIREDO, 2013).

Alguns elementos estruturais são de uso comum na maioria das construções, sendo eles: a laje que suporta seu peso próprio, os revestimentos e mais algumas cargas acidentais, como água da chuva, pessoas, móveis etc; as vigas que recebem os esforços das lajes e os transmitem, juntamente com seu próprio peso (mais o peso da alvenaria, se houver); pilares que recebem todas as cargas e as transmitem, também com seu peso próprio para fundação (blocos, estacas etc).

Neste trabalho é destaque a estrutura metálica constituída de vigas e pilares conformada por perfis de aço trabalhando em conjunto com lajes do tipo painel treliçado maciço (PTM) e com lajes *steel deck*. Para tanto, neste capítulo apresenta-se os principais conceitos sobre as estruturas metálicas de modo geral e, posteriormente sobre estas tipologias de laje.

2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS

2.2.1 Características gerais

Estruturas metálicas, são estruturas compostas por aço, com um método executivo extremamente ágil e baixa perda material. Segundo Castro (2008), a utilização de estruturas metálicas no Brasil iniciou-se em meados do século XIX, com o uso do ferro fundido, e expandiu-se até os dias de hoje, principalmente no que diz respeito a estruturas de edificações de uso comercial e de serviços.

Os aços utilizados em estruturas dividem-se basicamente em aços-carbono (aços com ganho de resistência com adição de carbono – máximo de 0,45% em massa pra garantir a soldabilidade– e de manganês, em menor escala. Os tipos mais usuais são o MR 250 e o AR 350), aços de baixa liga (aços-carbono com adição de elementos de liga, que aumentam sua resistência mecânica e resistência a corrosão) e aços com tratamento térmico (aços-carbono e ou de baixa liga com resistência aumentada por tratamento térmico) (PRAVIA e DREHMER,

2004).

As propriedades mecânicas dos aços dependem diretamente da proporção de certos elementos químicos em sua composição, em especial o carbono. Em aços estruturais em geral, estruturais, em geral, o teor de carbono é inferior a 1% (SILVA e PANNONI, 2014).

Segundo Pravia e Drehmer (2004), as peças estruturais de aço oferecidos pelas siderúrgicas são chapas finas a frio com espessura de 0,3 mm a 2,65 mm; chapas zincadas com espessura de 0,25 mm a 1,95 mm; utilizadas em estruturas leves, chapas finas a quente com espessura de 1,2 mm a 5 mm; chapas grossas com espessura de 6.3 mm a 102 mm; perfis estruturais, tubos estruturais, barras redondas, fios, cordoalhas e cabos.

Podem-se obter diferentes perfis de elementos estruturais a partir da laminação, dobra e soldagem das placas planas. A partir da soldagem das placas, obtém-se uma diversa gama de perfis. Algumas séries destes perfis foram padronizadas pela Fábrica de Estruturas Metálicas (FEM), e incorporadas na ABNT NBR 5884/80 e NBR 6657/81, ambas revisadas e unidas em 1999, sendo estes os elementos mais utilizados para a execução de vigas e pilares de estrutura metálica (PRAVIA e DREHMER, 2004).

Segundo essas normas, pode-se ter a série CS (para pilares, com relação $d/bf = 1$), série VS para vigas (com relação $1,5 < d/bf < 4$) e série CVS (para vigas e pilares, com relação $1 < d/bf < 1,5$) (PRAVIA e DREHMER, 2004).

Perfis laminados são obtidos por laminação a quente de chapas planas, sendo que os perfis utilizados no Brasil seguem padrão norte-americano. Dentre esses perfis, os mais utilizados são cantoneiras de abas iguais, “U”, “I” e “H” (padrão “W”), disponíveis no tamanho de 6000 mm e 12000 mm. Por meio da dobra de chapas planas (a frio), podem-se obter outros elementos estruturas, sendo ssque geralmente utilizam-se perfis dobrados a frio em estruturas leves, como treliças para coberturas.

As seções mais comuns de perfis dobrados são “U”, “Z” e “L” (PRAVIA e DREHMER, 2004). A Figura 1 apresenta uma estrutura feita com elementos metálicos.



Figura 1: Estrutura em aço (Disponível em: <<http://www.steelstructureschina.com/Steel-Structure-for-Power-Plant-Industry.htm>>).

O aço é produzido a partir de tratamentos físico-químicos de minerais, para a extração de

metais. A siderurgia é a parte da metalurgia responsável pela produção de ferro e aço, utilizados para a fabricação de elementos estruturais. O aço atualmente é um dos principais componentes de estruturas metálicas sendo maior que o ferro fundido, que apresenta maior vulnerabilidade à agentes agressivos (CASTRO, 2008).

A obtenção do aço é feita a partir do minério de ferro, sendo que a transformação do minério em aço é realizada por meio de quatro estágios, sendo eles: Tratamento do minério de ferro e do carvão metalúrgica; obtenção do ferro-gusa; obtenção do aço e seu refinamento; moldagem e conformação (SILVA e PANNONI, 2014);

2.2.2 Vantagens e desvantagens

Apesar de estruturas metálicas ainda serem pouco utilizadas no Brasil (por motivos socioeconômicos), a presente necessidade do mercado de se concluir empreendimentos imobiliários em prazos cada vez menores tem fomentado o uso desta tipologia estrutural no país (HERMSDORFF, 2005).

Além da rápida execução, estruturas metálicas ainda apresentam grande resistência à flexão, e boa ductilidade, propriedade que faz com que o aço seja capaz de sofrer grandes deformações antes do rompimento, permitindo a redistribuição dos esforços da estrutura quando a resistência limite de algum membro da estrutura é atingida (SILVA, 2009).

Outra vantagem notável das estruturas metálicas é a possibilidade de se construir estruturas bem mais precisas que quando executadas com concreto armado, permitindo um prumo bem nivelado, gerando economia de material e reduzindo esforços de momento devido ao desaprumo (NARDIN, 2008). Estruturas metálicas também dispensam escoramentos (no caso das vigas), podendo assim prosseguir com a execução das lajes imediatamente após a montagem da estrutura (NARDIN, 2008).

No Brasil, as normas que regulamentam a elaboração de projetos de estruturas metálicas são a ABNT NBR 8800/2008 e a ABNT NBR 14762/2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis moldados a frio. As características construtivas de projeto que não constarem nesta norma podem ser elaboradas de acordo com o *American Institute of Steel Construction 303* (ABNT NBR 8800/2008).

Apesar das vantagens, deve-se atentar para a grande condutibilidade térmica do aço, e sua grande expansão volumétrica com a variação de temperatura. Devido a essas características, em eventos de incêndio, basta que uma parte da estrutura seja atingida pelas chamas que, em pouco tempo, praticamente toda a estrutura é afetada. Uma das formas mais usuais de se proteger uma estrutura de aço é por meio da pintura. Para a especificação de pintura, entre outras normas, pode-se consultar a *Steel Structures Painting Council (SSPC)* e a norma *International Organization for Standardization ISO 12944-5* (SILVA e PANNONI, 2014).

2.2.3 Aspectos de projeto

Segundo da ABNT NBR 8800/2008, para a representação gráfica do projeto (desenhos de plantas, cortes, etc.) deve ser executado com escala adequada à quantidade de informações, contendo todos os dados necessários, detalhamento adequado dos desenhos de montagem e para o projeto das fundações da edificação. Os desenhos, segundo esta norma, devem indicar quais normas complementares foram utilizadas, dando, ainda, todas as especificações de todos os materiais estruturais utilizados. Deve-se indicar também às ações adotadas e os esforços solicitantes da estrutura para a preparação dos desenhos de fabricação das peças (ABNT NBR 8800/2008).

O projeto deve ainda indicar como deverá ser feito as ligações (em parafuso ou solda), deixando explícito a técnica a ser adotada para o procedimento.

De acordo com a ABNT NBR 8800/2008, devem constar no projeto os pontos de içamento das peças estruturais, seu peso, e informações similares relevantes à execução.

Ainda, segundo a ABNT NBR 8800/2008, os aços utilizados devem ser aprovados por norma brasileira ou internacional, com resistência ao escoamento máxima de 450 MPa, e relação de resistências à ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y) não inferior a 1.18. Para o concreto, a resistência característica do concreto (f_{ck}) deve estar entre 20 MPa e 50 MPa (ABNT NBR 8800/2008). Mais aspectos de projetos podem ser encontrados no item 4 da ABNT NBR 8800/2008, páginas 10 a 35.

2.3 LAJES

As lajes são classificadas como elementos planos bidimensionais, que são aqueles, onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. As lajes também são chamadas de elementos de superfície plana, ou placas de concreto.

Designada a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, normalmente de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço que a laje faz parte. As ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas e distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas.

Carvalho e Figueiredo (2001) descrevem que o pavimento de uma edificação, que é um elemento estrutural de superfície, pode ser projetado com elementos pré-moldados ou moldado no local.

2.3.1 Aspectos de segurança

A segurança de quaisquer tipos estruturais envolve dois aspectos fundamentais. O primeiro refere-se ao fato de uma estrutura não poder alcançar a ruptura, e, o segundo, diz respeito ao conforto e tranquilidade dos usuários durante a utilização da construção (BASTOS, 2006).

Para que se mantenha a segurança, a resistência de cálculo da estrutura não pode ser menor que a resistência solicitante de cálculo, e deve ser verificada em relação a todos os limites e carregamentos da estrutura. Ou seja, em quaisquer casos, deve-se respeitar a condição proposta na Expressão 2.1.

$$R_d \geq S_d \quad (2.1)$$

Onde R_d é a resistência de projeto, e S_d são as solicitações de projeto.

A disposição dos elementos constituintes da laje PTM fazem com que esta tenha comportamento maciço. O maior deslocamento perpendicular do plano da laje, isto é, a flecha deve ser calculado de acordo com a ABNT NBR 6118/2014 (ABNT NBR 14859-1 - maio 2002 - Laje pré-fabricada - Requisitos - Parte 1: Lajes unidirecionais). Para a ABNT NBR 6118/2014, item 10.3, para a segurança de estruturas de concreto, sempre se deve verificar a relação dos seguintes estados-limites últimos (ELU):

- Estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- Estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- Estado-limite de colapso progressivo;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200/2012 - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421/2006 - Projeto de estruturas resistentes a cismos - Procedimento;

- Outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

Por muito tempo, as estruturas foram projetadas tomando como critério apenas a economia e desempenho mecânico. Isso fazia com que estas estruturas desenvolvessem diversas patologias de ordem técnica e sócio-econômicas (LEGGERINI, 2003).

O estudo destas patologias ganhou força a partir da década de 1980, quando uma equipe européia constatou que os custos de manutenção periódica e reparos eventuais alcançavam 40% dos recursos investidos na área de construção. A partir desta constatação, foi dada mais atenção nos custos da construção, considerando-se tanto o investimento inicial quanto os decorrentes das ações de recuperação das estruturas ao longo de sua vida útil (LEGGERINI, 2003).

Estas mudanças na forma de se construir tomaram impulso com as filosofias de qualidade que foram difundidas na década de 1990, onde o desempenho passou a ser um fator de satisfação dos clientes, bem como a ausência de defeitos como fator de redução de recursos. Desta forma, passou a ser necessário, que ao conceber uma estrutura, esta garanta que seja atingida sua vida útil prevista (LEGGERINI, 2003).

Estes quesitos de durabilidade e satisfação devem ser verificados conforme os Estados limites de serviço (ELS), que estão relacionados ao conforto do usuário, e à durabilidade da edificação, sua aparência e utilização, para os fins que foram construídos (ABNT NBR 6118/2014). Quando o ELS é alcançado, o uso da estrutura fica impossibilitado, mesmo que ainda não tenha esgotado sua capacidade resistente (BASTOS, 2006).

A norma ABNT NBR 6118/2014, item 10.4 define os seguintes estados limites:

- **Estado limite de formação de fissuras (ELS-F):** Estado em que se inicia a formação de fissuras, admitindo-se que este estado é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a resistência do concreto à tração na flexão ($f_{ct,f}$);
- **Estado limite de abertura das fissuras (ELS-W):** este estado é alcançado quando as fissuras possuem aberturas iguais aos máximos estabelecidos pela norma.
- **Estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF):** este estado é atingido quando as deformações atingem os limites regulamentados para a utilização normal.
- **Estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE):** este estado é atingido quando as vibrações atingem os limites regulamentados para a utilização normal da construção.

2.3.2 Deformações Excessivas

Para que a deformação provocada pelas flechas não atinja os estados limites citados anteriormente, o valor da flecha total a_t deve ser inferior aos limites descritos na Tabela 13.3 da

ABNT NBR 6118/2014 (pág. 77 a 78) e no Item 17.3.2.1 da ABNT NBR 6118/2014 (pág. 125) e, na ABNT NBR 8800/2008, anexo Q.2.2 para lajes mistas.

Para o cálculo da flecha imediata, tem-se:

a) Para lajes em uma direção:

$$a_i = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_e} \quad (2.2)$$

b) Para lajes em duas direções:

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{P \cdot Lx^4}{Ecs \cdot I_c} \quad (2.3)$$

Onde E é o módulo de deformabilidade do concreto. O momento de inércia I_e é calculado pela fórmula de Branson descrita na expressão 2.4.

$$I_e = \left(\frac{M_r}{M_{max}} \right)^3 \cdot I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_{max}} \right)^3 \right] \cdot I_{II} \leq I_c \quad (2.4)$$

O momento de inércia da seção bruta I_c , para seção retangular, é calculado pela seguinte expressão:

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2.5)$$

O momento de fissuração M_r é dado pela expressão 4.8.

$$M_r = \frac{\alpha_1 \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t} \quad (2.6)$$

Onde:

$$f_{ct} = 0,21 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (2.7)$$

O coeficiente α_1 equivale a 1,2 para seção T e 1,5 para seção retangular. O valor de y_t é equivalente a distância do centro de gravidade da seção transversal à fibra de concreto mais comprimida. O valor de f_{ct} é dado em Mpa. O momento fletor na seção crítica (M_a) é dado pela Expressão 2.8.

$$M_a = M_{max} = \frac{P \cdot L^2}{8} \quad (2.8)$$

Onde P é a carga de cálculo e L é o tamanho do vão. Para o cálculo do I_e ainda é necessário calcular-se o I_{II} , que é dado pela expressão 2.9.

$$I_{II} = \frac{b \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - X_{II})^2 + \alpha_e \cdot A'_s \cdot (X_{II} - d')^2 \quad (2.9)$$

O valor de α_e é dado pelo quociente entre E_s e o módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}). O cálculo da linha neutra no estado 2 (X_{II}) é dado pela expressão 2.10.

$$X_{II}^2 + \frac{2 \cdot \alpha_e}{b} \cdot [A_s \cdot (X_{II} - d) + A'_s \cdot (X_{II} - d')] = 0 \quad (2.10)$$

Para o cálculo da flecha diferida no tempo, provocada pelas cargas de longa duração em função da fluência (ABNT NBR 6118/2014, item 17.3.2.1.2) é dado pela expressão 2.11.

$$\alpha_f = \left(\frac{\Delta \cdot \varepsilon}{1 + 50 \cdot \rho'} \right) \cdot a_i \quad (2.11)$$

Onde:

- $\Delta \varepsilon = \varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)$;
- $\varepsilon(t) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32}$ para $t \leq 70$ meses;
- $\varepsilon = 2$ para $t > 70$ meses (mais valores do coeficiente ε podem ser encontrados na Tabela 1);
- O valor de ρ' é dado pelo quociente entre A'_s e A_c ;

Tabela 1: Valores do coeficiente ε em função do tempo.

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

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118/2014 (tab. 17.1 pág. 127).

Uma vez calculada a flecha imediata e a diferida, calcula-se a flecha total ($a_t = a_i + a_f$), sendo esta a deformação total que a peça sofre, e, para fins de verificação, deve ser inferior aos limites estabelecidos pelas normas.

2.4 PRÉ-LAJES

O painel treliçado maciço pode ser considerado uma pré-laje, tendo como principal formação uma placa de concreto armado. A pré-laje como sistema estrutural é composta de uma base de concreto com espessura que varia normalmente entre 3 a 5 cm e larguras usualmente superiores a 25 cm, podendo ter suas dimensões variáveis. O comprimento dessa base varia

segundo o vão que se pretende vencer, as limitações relativas ao dimensionamento dessas peças variam especialmente em relação ao seu peso próprio e ao meio de transporte. Além da base de concreto a pré-laje conta também com uma treliça com duas barras paralelas inferiores ligadas a uma barra superior através de sinusóides (ROCHA, 2015).

Ao conjunto base de concreto e treliça dá-se o nome de laje painel treliçado ou pré-laje, o nome diz respeito justamente por não se tratar da laje final, já que sua montagem é uma etapa intermediária que ocorre antes da finalização do pavimento quando é aplicada uma capa de concreto que recobre a peça. A utilização desse tipo de laje pode ser associada a uma diminuição do peso próprio utilizando-se elementos de isopor como enchimento das zonas em que o concreto não é realmente necessário como elemento resistente, esse arranjo é classificado como sendo um tipo nervurado de laje. A laje é considerada maciça quando não há utilização de elementos neutros como forma de preenchimento, sendo que para o tipo nervurado (Figura 2) a associação com elementos de isopor acaba aumentando a altura final do pavimento (ROCHA, 2015).

Para o tipo maciço aplica-se uma capa de concreto maior, porém, que acaba resultando em lajes menos espessas.

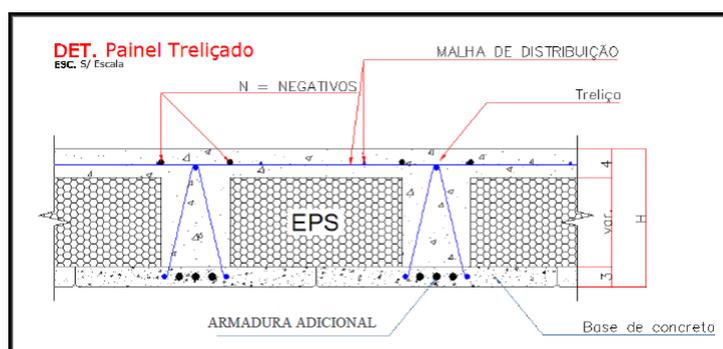


Figura 2: Seção transversal de laje treliçada (ROCHA, 2001).

A superfície de concreto lisa no forro garante que seja dado um acabamento final de maneira mais ágil, com o sistema de lajotas a situação é um pouco mais morosa e a aplicação de massa mais demorada. Uma das vantagens da utilização da pré-laje consiste no aumento de produtividade, a colocação de peças justapostas ocorre mais rapidamente do que o sistema tradicional aonde após uma peça deve-se preencher com uma fiada de peças de alvenaria, fora o tempo gasto nos ajustes finais ou então para o caso da laje moldada *in loco* maciça a montagem de fundo de fôrma (ROCHA, 2015).

Em caso de compararmos uma laje maciça convencional com a pré-laje, é notável a diminuição no escoramento utilizado, já que o fundo de forma deixa de existir para uma, enquanto que o sistema de lajes convencionais moldadas *in loco* é completamente dependente desse cimbramento (ROCHA, 2015).

2.5 LAJE TIPO PAINEL TRELIÇADO MACIÇO

2.5.1 Definição de conceitos gerais

A utilização da laje em painel treliçado maciço (Figura 3) combina as características positivas de uma laje maciça com a diminuição do emprego de fôrmas, acarretando uma economia de recursos utilizados na obra garantindo que boa parte dos projetos possam ser adaptados sem grandes problemas. Destinado a obras residenciais, comerciais, industriais e até mesmo urbanísticas (pontes, passarelas, cortinas de contenção etc.), onde existe a necessidade de redução ou eliminação total de escoramento (ROCHA, 2015).



Figura 3: Laje PTM. Cortesia de Prof. ROCHA¹, 2016.

Sua rigidez e capacidade de vencimento de vãos são bem superiores comparados a lajes treliçadas comuns, porém tem-se que respeitar um limite máximo de vão para que não haja problemas na montagem ou concretagem. De acordo com a Tabela 2, a tabela apresenta valores referenciais para vencimento de vãos conforme suas sobrecargas de utilização e tipologia para comercialização dos painéis treliçados, podendo variar em função das composições das cargas, da resistência do concreto (F_{ck}), das condições de engastamento e da direção das armaduras (ROCHA, 2015).

¹Professor de Engenharia Civil, do Instituto Tecnológico de Caratinga, que atuou como fiscal na referida obra.

Tabela 2: Tabelas de vãos máximos.

TABELA DE VÃOS MÁXIMOS (m)									
Tipo (Beta)	Altura da base *+ Capa de conc. (cm)	Ação permanente de Peso Próprio (kgF/m^2)	Consumo de Conc. (l/m^2)	Sobrecarga (Kgf/m^2)					
				100	150	200	250	350	500
PT-M 08	3 + 5	200	50	4,10	4,00	3,90	3,80	3,60	3,45
PT-M 09	3 + 6	225	60	4,50	4,30	4,20	4,10	4,00	3,80
PT-M 10	3 + 7	250	70	4,80	4,70	4,60	4,50	4,40	4,10
PT-M 11	3 + 8	275	80	5,20	5,10	5,00	4,90	4,70	4,50
PT-M 12	3 + 9	300	90	5,55	5,45	5,35	5,25	5,10	4,85

Disponível em: <www.lajesjundiai.com.br/produtos/painel-trelicado-macico>

Como mostra a figura 4, no caso do PTM não é utilizado nenhum tipo de material inerte entre as treliças como preenchimento, como por exemplo, o enchimento em EPS. Tem-se apenas a base treliçada, sobre a qual é despejado o concreto de capeamento até a altura determinada pelo projeto.

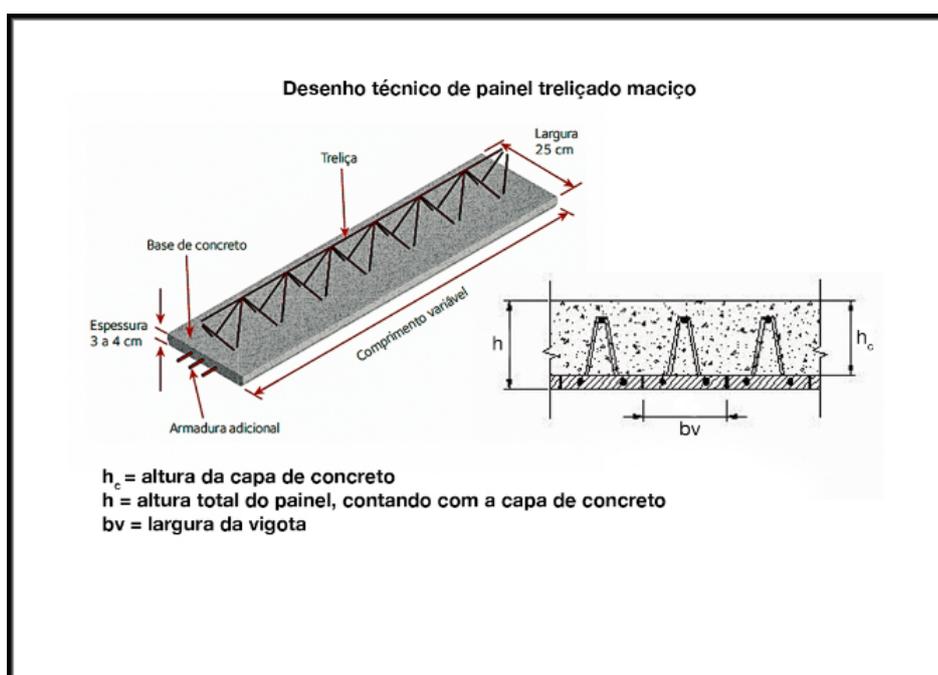


Figura 4: Esquema de treliça (Disponível em: www.lajesjundiai.com.br/produtos/painel-trelicado-macico).

Existem certas particularidades que precisam ser levadas em conta: a armadura principal vai embutida no painel, enquanto que a armadura secundária acaba sendo apoiada sobre a superfície de concreto de peça, logo existe uma perda no valor de braço de alavanca da armadura principal em relação à secundária (Figura 5).

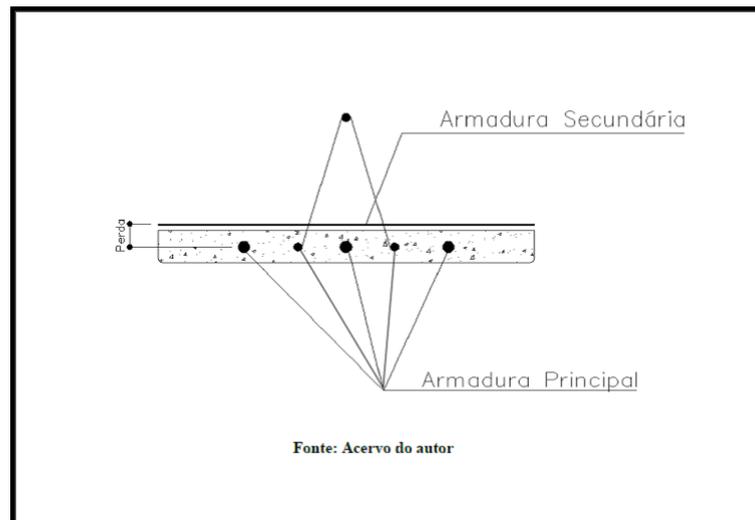


Figura 5: Perda no braço de alavanca devido ao distanciamento das armaduras na laje painel treliçada maciça (ROCHA, 2015)

Na prática isso significa que a direção principal possui maior capacidade resistente que a direção da armação secundária, em situações em que a bidirecionalidade está muito bem caracterizada (relação entre vãos próximos a um) deve-se verificar qual foi o impacto sobre a estrutura acabada. Tal fato acaba não sendo muito relevante em vãos em que a unidirecionalidade é dominante já que nestes casos a armação na direção perpendicular tem caráter meramente construtivo sem grandes acréscimos à resistência final da laje (ROCHA, 2015).

As principais características e vantagens desta tipologia de laje são:

- Podem ser armadas em uma ou duas direções (unidirecional ou bidirecional, respectivamente), dando total versatilidade ao sistema;
- Permite a distribuição da ferragem positiva nas duas direções, solução indicada para alvenaria estrutural, por equalizar as sobrecargas sobre todos os apoios;
- Melhor distribuição das cargas (indicada para cargas de alvenaria sobre a laje);
- Elimina o uso de fôrmas de madeira, além de possibilitar grande redução nos escoramentos em relação outras lajes;
- Reduz o tempo de execução, dando mais agilidade a execução da obra;
- Dispensa mão de obra especializada, por ser de fácil execução e manuseio;
- Simples estocagem, empilhando os painéis com sarrafo de madeira, além de facilidade no transporte;
- O revestimento inferior pode ser o próprio concreto aparente, eliminando a necessidade de usar chapisco ou reboco;

- Há também possibilidade de se fazer o acabamento inferior diretamente com gesso, massa corrida ou apenas pintura.

2.5.2 Prescrições normativas

Os painéis treliçados maciços são normalizadas pela ABNT NBR 14859-1:2016 - Lajes pré-fabricadas de concreto, parte 1: vigotas, mini-painéis e painéis - Requisitos; por serem elementos pré-fabricados, porém sua estrutura se comporta como uma laje maciça, seguindo as premissas contidas no item 13.2.4.1 da ABNT NBR6118/2014, nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de pisos biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.5.3 Processo executivo

Uma das grandes vantagens desse sistema é que o painel acaba funcionando como fundo de formas, com isso diminuem-se os gastos decorrentes do uso de peças de madeira e a geração de entulhos no canteiro de obras. Segundo Faria (2006) a montagem de escoramentos (Figura 6) pode consumir, em média, 30% do prazo total de implantação de um empreendimento.



Figura 6: Escoramento (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016)

A montagem da pré-laje ocorre na seguinte ordem executiva (HAIMON e MATA, 2015):

1. Montagem das formas de vigas e preparação do escoramento necessário para laje, nesse ponto além do correto posicionamento das escoras são dadas as contra flechas segundo as especificações do fabricante;
2. Colocação do painel treliçado em posição de maneira manual, sendo que as peças ficam apoiadas na fôrma das vigas ou em paredes de alvenaria estrutural e possuem como apoios intermediários o uso de escoramentos;
3. Colocam-se as armaduras transversais e os eventuais reforços designados;
4. Por fim colocam-se as posições da armadura designadas a resistir ao momento negativo, essa ferragem é de grande importância, pois trabalha no sentido de diminuir as fissuras do pavimento em regiões onde as tensões são elevadas devido à reação causada por eventuais apoios;
5. Na etapa seguinte é feita uma limpeza e umedecimento da laje para que durante o lançamento do concreto não haja partículas que possam atrapalhar a aderência entre o concreto das peças e o novo concreto que será lançado;
6. O concreto é lançado e adensado conforme as prescrições da norma, durante essa etapa é importante evitar acúmulo de material em um único ponto, uma vez que isso poderia acarretar um aumento da sobrecarga gerando quebra da peça e a queda do funcionário responsável pelo adensamento. É importante evitar também que o trabalhador responsável pelo adensamento durante sua movimentação altere o local definido em projeto da armação negativa;
7. A cura da laje deve ocorrer segundo as especificações do fabricante do concreto/projetista sendo que a maneira mais comum é o umedecimento regular ou a utilização da cura química (aplicação de produtos que tornam o pavimento impermeável à perda de água por evaporação). O escoramento inferior não deve ser retirado antes que o pavimento superior esteja escorado, concretado e curado corretamente.

2.6 LAJES *STEEL DECK*

2.6.1 Definição de conceitos gerais

Lemos (2013) descreve lajes *steel deck* como lajes compostas por chapas metálicas, sobrepostas por uma camada de concreto moldado *in loco*. Para Lemos (2013), o sistema de lajes *steel deck* possui como principais características o fato de eliminar a etapa de desfôrma e dispensar escoramentos e armadura positiva em barras de aço. Esta tipologia é descrita como mista. Segundo a ABNT NBR 8800/2008, p. 211:

"(...) Laje mista de aço e concreto, também chamada de laje com fôrma de aço incorporada, é aquela em que, na fase final, o concreto atua estruturalmente em conjunto com a fôrma de aço, funcionando como parte ou como toda a armadura de tração da laje. Na fase inicial, ou seja, antes de o concreto atingir 75% da resistência à compressão especificada, a fôrma de aço suporta isoladamente as ações permanentes e a sobrecarga de construção."

A laje *steel deck* é composta por uma fôrma de aço sobreposta por uma camada de concreto, aliando as vantagens de cada material, fôrmando um único elemento estrutural (LEMOS, 2013).

Segundo a ABNT NBR 8800/2008, a aderência natural da fôrma de aço e o concreto não é efetiva para o comportamento misto. Para que se garanta a aderência entre concreto e aço, as fôrmas metálicas possuem pequenas saliências em sua superfície (mossas), que auxiliam na ancoragem. Além disso, esta tipologia conta com conectores de cisalhamento (*stud bolt*, que ligam a viga metálica ao concreto da laje).

A montagem das chapas metálicas constituintes da laje é feita em pouco tempo, podendo prosseguir com a concretagem da laje imediatamente após a montagem e o formato da seção trapezoidal das chapas podem ser aproveitados para a passagem de tubulações e eletrodutos.

Além da eliminação de escoramentos (na maioria dos casos), de armadura positiva, e a atuação conjunta dos elementos estruturais, lajes *steel deck* também eliminam a etapa de execução de contrapiso, acarretando em uma redução do tempo de construção da obra (LEMOS, 2013).

Uma desvantagem desta tipologia é que, devido à espessura da laje, que pode chegar a ser muito pequena, ela transmite ruídos com mais facilidade (LEMOS, 2013). Além disso, o piso acaba absorvendo esforços estruturais da laje, podendo haver o descolamento de placas cerâmicas e placas pétreas (ALLGAYER, 2010 apud LEMOS, 2013).

Ainda se pode citar que, em relação a algumas outras tipologias de lajes, a *steel deck* não tem mão de obra tradicional no Brasil, podendo exigir um nível mais alto de especialização. Além disso, devido à condutibilidade do aço, esta tipologia de laje apresenta maior fragilidade a variações de temperatura, como em situações de incêndio (ALVA, 2000).

Segundo Lemos (2013), mesmo a função de armadura positiva da laje sendo atribuída a fôrma metálica, é de fundamental importância que o projetista estrutural verifique se há ou não a necessidade de adição de barras para resistir a solicitações de momentos negativos e positivos calculados.

A Tabela 3 apresenta o peso próprio da laje *steel deck*. Da Tabela 8 a Tabela 16, Anexo B, apresenta-se as cargas admissíveis úteis em daN/m^2 , e o vão máximo para diferentes espessuras. A espessura da laje é dada em centímetros.

Tabela 3: PESO PRÓPRIO PERFIL + CONCRETO Kg/m^2 - Concreto Fck 22 Mpa.

Esp. da laje (cm)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Vol. em (dm^3/m^2)	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	
Peso Próprio PP=V x 2,40 + peso perfil	0,80	194	218	242	266	290	314	338	362	386	410	434	458	482	506	530
V: Volume em litros 2,40: dens. concreto em Kg/dm^3	0,95	197	221	245	269	293	317	341	365	389	413	437	461	485	509	533
	1,25	199	223	247	271	295	319	343	367	391	415	439	463	487	511	535

Fonte: Adaptado de Polydeck, Disponível em: <<http://www.pacofix.com.br/downloads/polydeck59S.pdf>>

A Tabela 4 apresenta os valores das malhas de combate a fissuração para diferentes alturas da laje. A Tabela 5 lista as principais características mecânicas da laje *steel deck*. A Figura 7 apresenta a seção transversal de uma laje *steel deck*.

Tabela 4: Malha anti-fissuração.

Altura total (cm)	Bitola
de 11 a 15	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150 (Q75)
16	Ø4,2 x Ø4,2 - 150 x 150 (Q92)
de 17 a 18	Ø3,8 x Ø3,8 - 100 x 100 (Q113)
de 19 a 20	Ø4,2 x Ø4,2 - 100 x 100 (Q138)

Fonte: Adaptado de Polydeck, Disponível em: <<http://www.pacofix.com.br/downloads/polydeck59S.pdf>>

Tabela 5: Características mecânicas da laje *steel deck*.

Características		Espessura em mm		
		0,8	0,95	1,25
Peso m^2 útil	kg/m^2	9,14	10,86	14,29
Momento de inércia (cm^4/m)	Seção total	55,15	74,56	90,10
Módulo resistente	i/vi	17,02	23,02	27,81
(cm^3/m)	i/vs	20,73	28,03	33,87

Fonte: Adaptado de Polydeck, Disponível em: <<http://www.pacofix.com.br/downloads/polydeck59S.pdf>>

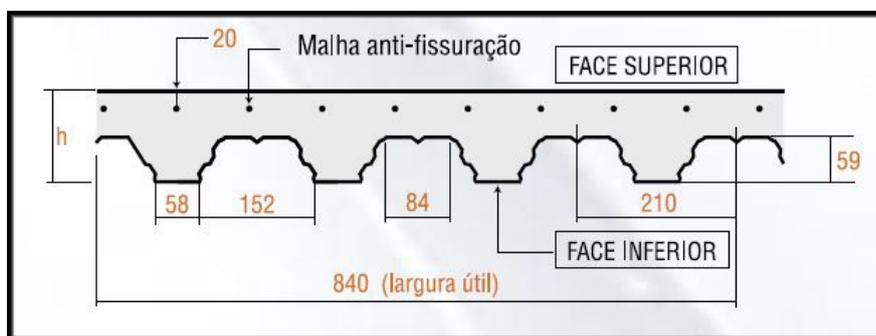


Figura 7: Seção transversal de uma laje *steel deck*. Fonte: Adaptado de Polydeck, Disponível em: <<http://www.pacofix.com.br/downloads/polydeck59S.pdf>>

2.6.2 SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Como já citado anteriormente, os aços estruturais possuem alta condutibilidade térmica e sofrem grandes perdas de resistência mecânica, se submetidos à altas temperaturas. Para devida proteção de combate a esse efeito, utilizam-se aços menos sensíveis a essas variações térmicas, ou elementos isolantes sobre a superfície de elementos estruturais de aço, sendo esta segunda alternativa mais econômica e mais utilizada. Antes da aplicação do material isolante, é necessária uma limpeza manual da peça, e comumente se faz necessário a aplicação de telas para aderência (PANNONI, 2011 apud LEMOS, 2013).

Durante o incêndio, os elementos estruturais, incluindo o aço e o concreto sofrem alterações em suas propriedades mecânicas, e surgem outras solicitações provocadas, principalmente, por variações volumétricas das estruturas. A resistência dos elementos estruturais e suas rigidezes são alteradas (DELIBERATO, 2006). Portanto, para que se mantenha a segurança, é necessário que as edificações apresentem certa resistência às chamas, isto é, um tempo mínimo de estabilidade durante o incêndio.

No anexo C da ABNT NBR 14323/2013 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio, regulamenta-se o dimensionamento de lajes mistas em situação de incêndio, considerando se o aço está ou não revestido com material de proteção. Como há a presença de fôrma metálica, é considerado que lajes mistas são estanques, e sua resistência mínima durante o incêndio é, no mínimo, de 30 minutos, fazendo-se necessário que a estrutura seja dimensionada atendendo aos critérios de isolamento térmico e resistência ao carregamento.

2.6.3 Processo executivo

Um planejamento prévio de todas as etapas da construção se fazem necessários para que se garanta a eficácia em quaisquer tipos estruturais. Segundo Silva (2010), apud Lemos, (2013), as atividades da execução de uma laje mista *steel deck* são:

- Içamento e distribuição das fôrmas de aço;
- Montagem dos elementos estruturais;
- Escoramento, se necessário;
- Fixação da estrutura pelos conectores de cisalhamento;
- Fixação dos arremates;
- Fitas adesivas são colocadas nas juntas das fôrmas;
- Colocação de malha de anti-fissuração;

- Posicionamento dos espaçadores;
- Proteção das áreas de recorte;
- Colocação das mestras;
- Concretagem da laje;
- Nivelamento do concreto;
- Acabamento final.

O transporte das chapas deve ser feito através de fardos, protegidos de substâncias químicas que possam ocasionar corrosão ou outras reações agressivas (SANTOS, 2009). Segundo Deliberado (2006, pág. 97) apud Lemos (2013, pág. 27), os seguintes itens devem ser respeitados, no que diz respeito ao transporte das peças da laje *steel deck*:

- "a) Seguro do transporte;
- b) Os fardos devem ser acondicionados e fixados ao veículo de transporte de tal forma a inibir os movimentos repentinos e inesperados nas paradas e arrancadas, bem como garantir a estabilidade lateral nas curvas;
- c) A cada entrega, os fardos do *steel deck* devem ter seu carregamento e transporte planejado em virtude do peso e de suas dimensões, pois haverá necessidade do balanceamento da carga;
- d) Os fardos devem ser separados tanto horizontalmente como verticalmente com calços de bitola mínima de 1,5 polegadas;
- e) Verificação nas cintas de fixação das peças integrantes de um fardo, e dos fardos no veículo de transporte, pois qualquer choque ou vibração tende a comprimir os fardos, o que pode resultar no afrouxamento dos cabos e provocar situações de perigo."

A concretagem da laje é executada de forma tradicional, eliminando-se apenas a execução do contrapiso. O sentido de lançamento do concreto deve ser feito paralelamente as nervuras dos perfis das fôrmas, atentando-se para que a acomodação do concreto seja uniforme.

Normalmente, para a contenção lateral do concreto, utiliza-se gabarito de madeira. Em alguns casos, como em grandes vãos, por exemplo, pode fazer-se necessário a utilização de escoramentos durante a concretagem e cura do concreto. Aditivos a base de cloretos (aceleradores de pega e resistência, por exemplo) não devem ser utilizados, pois estes podem comprometer a galvanização das chapas (DELIBERATO, 2006).

2.6.4 Aspectos normativos

A ABNT NBR 8800/2008 prescreve as seguintes disposições construtivas:

- A espessura do concreto sobre a fôrma não deve ser inferior a 50 mm;

- A dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve ser maior que:
 - $0,4t_c$, onde t_c é a altura da camada de concreto acima do topo da fôrma;
 - $b_0/3$, onde b_0 é a largura média das nervuras para fôrmas trapezoidais e a largura mínima das nervuras para fôrmas reentrantes;
 - 30 mm.
- A armadura adicional necessária para a resistência ao momento positivo, e a armadura para momento negativo devem ser calculadas seguindo a ABNT NBR 6118/2014 para concreto de densidade normal, ou, caso as características do projeto não estejam previstas em norma brasileira, este deve seguir o Eurocode 2 Part 1-1 *Design of concrete structures*, para concreto de baixa densidade;
- O comprimento mínimo de apoio deve ser o suficiente para evitar que sejam atingidos os estados limites, tais como o enrugamento da alma ou da fôrma, esmagamento do apoio, não podendo ser inferior a 75 mm para apoio em aço ou concreto, e 100 mm para outros materiais. Nas extremidades da fôrma, esses valores podem ser reduzidos para 50 mm e 70 mm, respectivamente.

3 APRESENTAÇÃO DA OBRA

Para a realização desta pesquisa foi necessária à coleta de dados referente à obra em questão, com a empresa responsável pelo projeto arquitetônico e estrutural, a empresa responsável pela execução da obra bem como a elaboração de um ofício de requerimento para permissão de uso de imagens da obra (Anexo A) para realização deste trabalho.

A desenvolvedora dos projetos da obra foi à empresa ETEC ENGENHARIA, que tem sua sede situada em Uberaba-MG. A empresa que cuidou e executou todo o projeto seguindo os preceitos exigidos pelo projetista foi à empresa CVE MAROCLO CONSTRUTORA EIRELI EPP do qual tem sua sede situada em Brasília-DF.

As obras de construção da nova sede iniciaram em julho de 2015, com prazo de termino para maio de 2016. O projeto foi idealizado na cidade de Caratinga, no estado de Minas Gerais, localizado na Rua Engenheiro Hebert, nº 30, no bairro Santa Zita, em uma área voltada para edificações de órgãos públicos da cidade. A concepção deste projeto foi atender aos contribuintes com conforto, acessibilidade, segurança e agilidade nos serviços prestados. A figura 8 apresenta a fachada da obra.

Este projeto é composto de 01 pavimento-tipo, com estacionamento totalizando uma área aproximada de $1.381,21 m^2$, porém tem um total de área construída de $361,04 m^2$, conforme as Figuras 9 e 14. A laje estudada está destacada na Figura 14 (L107), e apresenta vãos de 5 metros por 10,04 metros e espessura de 18 centímetros.



Figura 8: Fachada modelo da Agência da Receita Federal (Fonte: Do autor).

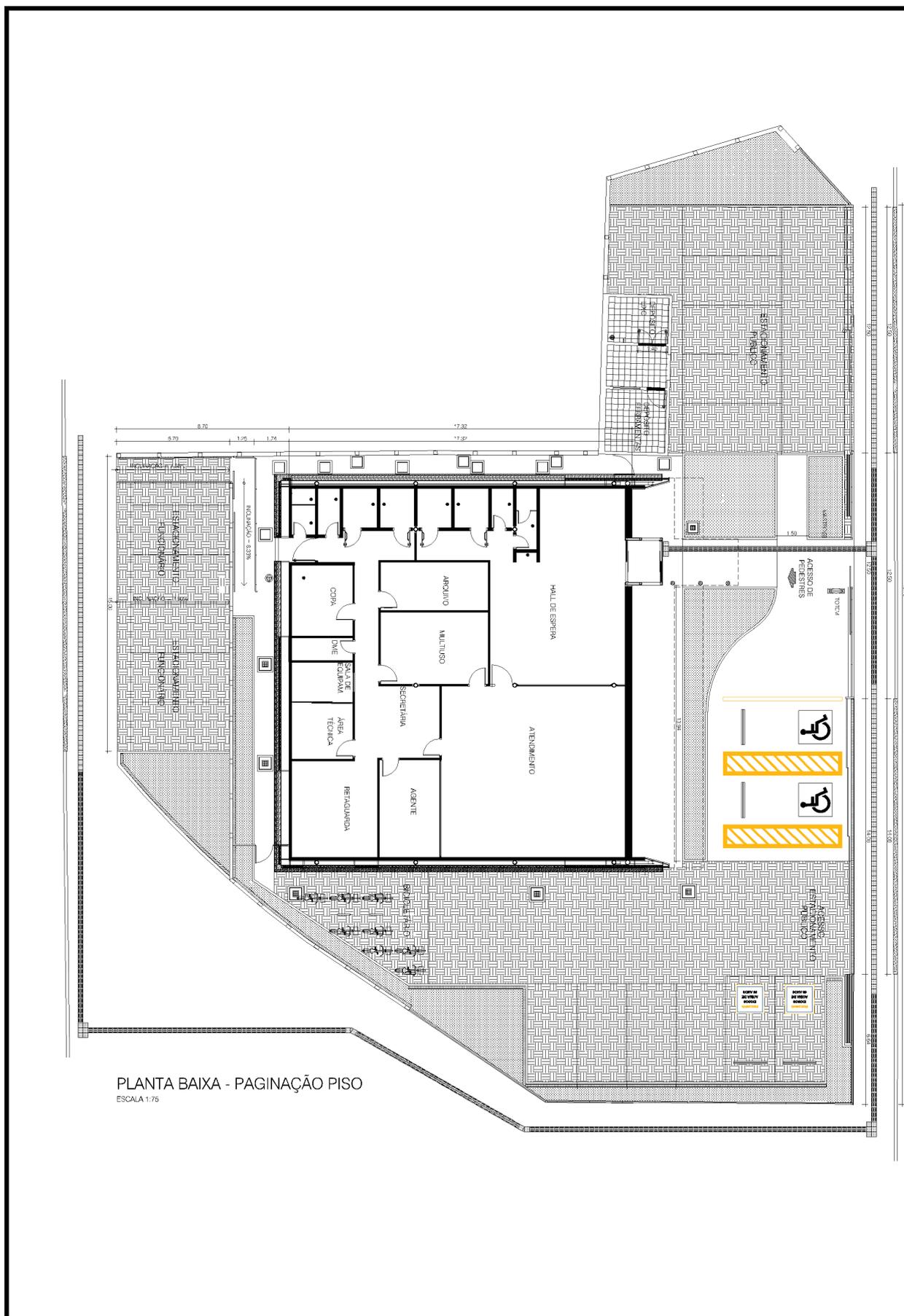


Figura 9: Planta baixa do pavimento tipo (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016).



Figura 10: Planta estrutural da laje PTM (Cortesia de Prof. ROCHA, 2016).

4 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO: DEF

4.1 LAJE TIPO PTM

Para cálculo e verificação do Estado-Limite de Serviço do vão escolhido é necessário conhecer a altura da laje, o vão livre nas duas direções (l_x e l_y), as cargas atuantes nas lajes, entre outras variáveis. Porém, como o objetivo não é recalculer e predimensionar toda a estrutura já calculada, foi realizado a verificação do Estado-Limite de deformações excessivas (ELS-DEF).

Diante disso, as lajes são consideradas isoladas com espessura padronizadas a fim de facilitar as verificações. O vão da laje a ser verificado é o L107, conforme destacado na Figura 9 do Capítulo 3, com três bordas engastadas e a outra menor simplesmente apoiada, dessa fôrma, foi observado na Figura 11 de lajes, com valores extraído de BARES (1972) e adaptada por PINHEIRO (1993), conforme o processo das áreas da ABNT NBR 6118/1980.

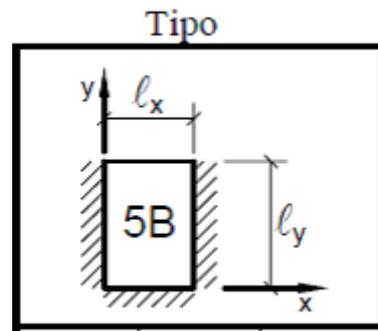


Figura 11: Reações de apoio em lajes com carga uniforme (Fonte: Adaptado de PINHEIRO, 2007)

Dados da Estrutura:

- Classe de resistência do concreto utilizado - C-25;
- Aço utilizado - CA-50;
- Cobrimento nominal da armadura - 3 cm;
- Altura da laje (padronizada) - 18 cm;
- Menor lado da laje (l_x) - 500 cm;
- Maior lado da laje (l_y) - 1004 cm;
- Sobrecarga (q) - 250 kgF/m².

De início é necessário calcular o parâmetro λ , no qual reflete a geometria da laje, dado pela expressão 4.1.

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \rightarrow \frac{1004}{500} = 2,008 \quad (4.1)$$

De acordo com o valor de λ , é usual a seguinte classificação:

- a) $\lambda \leq 2 \rightarrow$ Laje armada nas duas direções;
- b) $\lambda > 2 \rightarrow$ Laje armada em uma direção.

Sendo assim, a laje adotada foi armada em apenas uma direção.

4.1.1 Cálculo das cargas

Carga permanente total na laje:

- $g_1 = 0,18\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}^2$ (Considerando o peso específico do concreto de 25 kN/m^3);
- $g_2 = 0 \text{ kN/m}^2$ (Sem Contrapiso e Revestimento);
- Ação Variável - Carga acidental (ABNT NBR 6118/2014):
 $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

4.1.2 Momentos fletores

Os momentos fletores máximos, sendo os positivos designados pela letra μ e os negativos pela letra M' , são determinadas pela Tabela 2.3 C de PINHEIRO 1993 (Anexo C), em que:

$L_x \rightarrow$ Menor lado da laje;

$L_y \rightarrow$ Maior lado da laje;

$P \rightarrow$ Valor da carga uniforme aplicada na laje;

$\mu_x, \mu_y, \mu'_x, \mu'_y$; Do qual:

$M_x, M'_x \rightarrow$ Momentos fletores na direção do vão L_x ;

$M_y, M'_y \rightarrow$ Momentos fletores na direção do vão L_y ;

- A) Momentos fletores máximos positivos, por unidade de comprimento, nas direções x e y (Expressões 4.2 e 4.3);

$$M_x = \mu_x \cdot \frac{p \cdot Lx^2}{100} \rightarrow 4,17 \cdot \frac{7,05,0^2}{100} = 7,29kN.m \quad (4.2)$$

$$M_y = \mu_y \cdot \frac{p \cdot Lx^2}{100} \rightarrow 0,88 \cdot \frac{7,05,0^2}{100} = 1,54kN.m \quad (4.3)$$

B) Momentos fletores máximos negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y (Expressões 4.4 e 4.5);

$$M'_x = \mu'_x \cdot \frac{p \cdot Lx^2}{100} \rightarrow 8,33 \cdot \frac{7,05,0^2}{100} = 14,57kN.m \quad (4.4)$$

$$M'_y = \mu'_y \cdot \frac{p \cdot Lx^2}{100} \rightarrow 5,64 \cdot \frac{7,05,0^2}{100} = 9,87kN.m \quad (4.5)$$

4.1.3 Momento de inércia

Momento de inércia da seção bruta de concreto (I_c), dado pela expressão 4.6.

$$I_c = \frac{(b \cdot h^3)}{12} \rightarrow \frac{(100 \cdot 18^3)}{12} = 48600cm^4 \quad (4.6)$$

4.1.4 Momento de fissuração e momento na seção crítica

No item 19.3.1 a ABNT NBR 6118/2014 prescreve que sejam usados os critérios propostos no item 17.3.2, considerando a possibilidade de fissuração (estádio II). As prescrições compreendidas no item 17.3.2 tratam das flechas nas vigas, do qual a norma recomenda que as flechas nas lajes sejam tratadas do mesmo modo como nas vigas e ainda esclarece que a avaliação da flecha nas vigas e lajes é calculada de maneira aproximada. Ainda, segundo o item 17.3.2.1:

“O modelo de comportamento da estrutura pode admitir o concreto e o aço como materiais de comportamento elástico e linear, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II”.

A separação entre o estágio I e II é definida pelo momento de fissuração e o momento fletor na seção crítica do vão, ou seja, se o M_a da laje é maior que o M_r , a seção está no estágio II, logo, está fissurada. De outro modo, se o M_a na laje, for menor que o M_r , a seção está no estágio I, portanto, não está fissurada. As deformações podem ser definidas no estágio I, com o momento de inércia da seção bruta de concreto (I_c).

Esses momentos podem ser calculados pelas expressões 4.7 e 4.8.

$$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \rightarrow 0,3 \cdot 25^{\frac{2}{3}} = 0,2565 \text{ kN/cm} \quad (4.7)$$

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{yt} \rightarrow \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 48600}{9} = 2077,65 \text{ kN.cm} \quad (4.8)$$

$$M_a = M_{max} = 729 \text{ kN.cm}$$

Onde:

- M_r é o momento fletor de fissuração da laje;
- M_a é o momento fletor na seção crítica, para a combinação rara;
- F_{ct} é a resistência do concreto a tração.

4.1.5 Verificação das flechas

4.1.5.1 Flecha imediata

A flecha imediata deve ser calculada utilizando o módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}), dado pela expressão 4.9.

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \rightarrow 0,86 \cdot 28000 = 24080 \text{ MPa} \quad (4.9)$$

Sendo:

$$\alpha_i = 0,80 + \frac{0,2 \cdot F_{ck}}{80} \leq 1,0 \rightarrow 0,80 + \frac{0,2 \cdot 25 \text{ MPa}}{80} = 0,86 < 1,0$$

E_{ci} é o módulo de deformação tangente inicial, que pode ser calculado pela expressão 4.10.

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot \sqrt{F_{ck}} \rightarrow 1,0 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25 \text{ MPa}} = 28000 \text{ MPa} \quad (4.10)$$

Sendo:

- $\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio;
- $\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaise;
- $\alpha_e = 0,9$ para calcário;

- $\alpha_e = 0,7$ para arenito.

O carregamento total na laje, considerando o carregamento permanente acrescido do carregamento variável corrigido pelo fator de redução para combinação quase permanente, dada pela expressão 4.11.

$$P = g + \psi_2 \cdot Q \rightarrow 4,5kN/m^2 + 0,425 = 5,5kN/m^2 \quad (4.11)$$

Onde:

g = carregamento permanente total na laje;

q = ação variável (carga acidental);

ψ_2 = fator de redução de combinação quase permanente para ELS (ver Tabela 11.2 da ABNT NBR 6118/2014);

A flecha imediata a_i pode ser determinada por meio do Anexo D (Tabela 2.5 de PINHEIRO, 1993), com a expressão adaptada (4.12).

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{(p \cdot Lx^4)}{(Ecs \cdot I_c)} \rightarrow \frac{3,13}{100} \cdot \frac{100}{12} \cdot \frac{(5,5kN/m^2 \cdot (500cm)^4)}{(24080 \cdot 10^3kN/m^2 \cdot 48600cm^4)} \quad (4.12)$$

$$a_i = 0,0766cm$$

4.1.5.2 Flecha diferida

Segundo o item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118/2014, 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 4.13.

$$\alpha = \frac{\Delta\varepsilon}{1 + 50 \cdot \rho'} \quad (4.13)$$

Onde:

$$\rho' = \frac{A's}{b \cdot d}$$

Nesta expressão, $A's$ é a área da armadura comprimida, b é a largura da seção transversal e d é a altura útil. Sendo assim, tem-se:

$$\rho' = \frac{10,23cm^2}{100cm \cdot 18cm} = 0,00568$$

A variação do coeficiente ε em função do tempo é dada pela Expressão 4.14.

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon(t) - \varepsilon(t_0) \quad (4.14)$$

Conforme tabela Tabela 17.1 da ABNT NBR 6118/2014, o $\varepsilon(t)$ foi adotado igual a 2,00 para o tempo superior a 70 meses. Assumindo que a carga de longa duração atuará na laje a partir de um mês após executada, encontra-se: $\varepsilon(t_0) = 0,68$. Resulta para $\Delta\varepsilon$ o valor:

$$\Delta\varepsilon = 2,0 - 0,68 = 1,32$$

A partir destes dados, obtém-se a flecha diferida, dada por:

$$\alpha_f = \frac{1,32}{1 + 50.0,00568} = 1,03cm$$

A flecha total, que leva em conta a fluência do concreto da laje, considerando o valor já calculado para α_f de 1,02 cm é:

$$at = ai.(1 + \alpha_f) \rightarrow 0,0766.(1 + 1,03) = 0,155cm$$

4.1.5.3 Flecha limite

Para a flecha máxima permitida, conforme a (Anexo D) - Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118/2014), pode-se considerar:

A) Aceitabilidade sensorial:

$$a_{lim} = \frac{Lx}{250} \rightarrow \frac{500}{250} = 2cm$$

B) Vibração devido a cargas acidentais:

$$a_{lim} = \frac{Lx}{350} \rightarrow \frac{500}{350} = 1,43cm$$

Conforme verificado que as flechas calculadas resultaram em valores menores que as máximas permitidas, denota-se que a laje L107 tem altura adequada, podendo até mesmo fazer uma redução na altura visto que a flecha total tem uma diferença relevante as flechas limites.

4.2 LAJE STEEL DECK

4.2.1 Verificação da fissuração do concreto

Para fins de cálculo, as tabelas de dimensionamento dispostas no Anexo B, consideram que quaisquer cargas que estejam acima da laje são incluídas na sobrecarga. De acordo com a seção 5.1.1.2 do Eurocode 4, a flecha em fase de fissuração pode ser verificada por meio da comparação da razão da altura útil com um valor limite, descrito no subcapítulo do Eurocode 2 - 1.1 como $\frac{l}{d} \leq 26$.

Os carregamentos considerados neste cálculo são:

$$p = G + Q \rightarrow p = 2,5kN/cm^2 + 2,18kN/m^2 = 4,68kN/m^2$$

Foi necessário dividir o sistema em duas lajes situadas sobre três apoios. Baseado na Tabela 10, Anexo B, adotou-se uma laje com 12 cm de espessura e uma chapa de 0,80 mm. O vão da laje passa a ser equivalente a 2,5 m.

Com estes dados, calcula-se o momento para combinação rara, descrito na Expressão 4.15.

$$M_{rara}^+ = 0,125 \cdot p \cdot l^2 \rightarrow M_{rara}^+ = 0,125 \cdot 4,68kN/m^2 \cdot 2,5^2 = 3,65625kN \cdot m/m \quad (4.15)$$

A altura do centro de gravidade (y_g) é descrito na Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades Geométricas da Seção A.

Chapa	Y_g	$I_p [cm^4/m]$	$W_p [cm^3/m]$
e = 0.8 mm	3,32	49	15
e = 1,0 mm	3,50	65	19

Fonte: Adaptado de FEUP/LABEST, 2006.

Sendo o h_t a altura total, tem-se que h_t é igual a soma da espessura da chapa de aço (0,8 mm) com a altura da laje (12 cm), obtendo-se aproximadamente 13 cm. O momento de inércia da seção mista fissurada (I) é descrito na Tabela 7.

Tabela 7: Momento de inércia da seção fissurada.

	e [mm]	H [cm]				
		12	14	16	18	20
$X_c [cm]$	0.8	3,11	3,59	4,02	4,41	4,78
$I_{cc} [cm^4/m]$		296	457	664	919	1221
$x_c [cm]$	1.0	3,39	3,92	4,40	4,84	5,26
$I_{cc} [cm^4/m]$		352	544	792	1097	1462

Fonte: Adaptada de FEUP/LABEST, 2006.

Sendo d a diferença entre o h_t e o y_g , tem-se que d equivale a 9,68 cm. O cálculo da tensão σ_s é dada pela Expressão 4.16.

$$\sigma_s = \frac{M}{I} \cdot (d - x_c) \rightarrow \sigma_s = \frac{3,65625}{296 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{(9,68 - 3,11)}{100} = 81153,93 \text{ KPa} \quad (4.16)$$

(81,153 MPa)

Onde x_c é a profundidade do eixo neutro, dado pela Tabela 7. O coeficiente k_{σ_s} é calculado pela Expressão 4.17.

$$k_{\sigma_s} = \frac{310}{\sigma_s} \rightarrow k_{\sigma_s} = \frac{310}{81,153 \text{ MPa}} = 3,8199 \quad (4.17)$$

Para fins de verificação, tem-se:

$$\left(\frac{l}{d}\right) \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{lim} \quad (4.18)$$

$$\left(\frac{l}{d}\right) = \frac{250}{8,68} \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{lim} = \left(\frac{l}{d}\right)_0 \cdot K_{\sigma_s} = 3,8199 \cdot 26$$

$$28,802 \leq 99,31$$

Uma vez que a razão da altura útil é inferior ao limite, conclui-se que a laje adotada para cálculo atende às especificações estabelecidas na norma.

4.2.2 Verificação da flecha imediata

Pela ausência de especificação da verificação do ELS em norma brasileira, para fins de cálculo neste trabalho, consultou-se a norma Eurocode 4 parte 1.1, capítulo 9.6. De acordo com este capítulo, é necessário verificar, para lajes mistas, apenas a flecha δ_s (imediate), considerando-se como carga o peso do perfil e o peso do concreto fresco.

Foi adotada uma laje de 12 cm de altura (concreto) e um perfil de 0.8 mm de espessura. O momento de inércia I_c , consultado na Tabela 5, do Capítulo 2, equivale a $55,15 \text{ cm}^4$.

A combinação de ações a ser utilizada é dada pela expressão 4.19.

$$Psd = yg \cdot g' \quad (4.19)$$

Onde $g' = 1,04 \cdot g$, e g é o peso do perfil somado ao peso do concreto fresco. Segundo a tabela 3, do Capítulo 2, a carga g equivale a 194 kg/m^2 . O coeficiente yg (fator de segurança parcial referente às ações permanentes) equivale a 1. Considerando a aceleração da gravidade

igual a 10 m/s^2 , essa massa equivale a uma tensão de $2,18 \text{ kN/m}^2$. Logo, para o carregamento, tem-se:

$$P_{se} = 1.(1,04.2,18 \text{ kN/m}^2) = 2,2672 \text{ kN/m}^2$$

O cálculo da flecha é dado pela expressão 4.20. Segundo a Eurocode 4 Parte 1.1, para o cálculo da flecha, os escoramentos serão considerados apoios. Na laje analisada, equivale a 2,5 metros (divisão do vão em duas lajes, na seção anterior).

$$\delta_s = a \cdot \frac{P_{sd}.l^4}{Ea.I_p} \quad (4.20)$$

Onde a é um fator adimensional que depende do sistema estrutural. Para lajes mistas a , equivale a 0.0092, para lajes maciças equivale a $\frac{5}{384}$; l é o vão teórico. Como neste caso há a presença de escoras no meio do vão, l equivale a 1,25m; Ea é o módulo de elasticidade do aço da chapa, e foi adotado 210 GPa. Desta fôrma, para o cálculo da flecha, tem-se:

$$\delta_s = 0,0092 \cdot \frac{2,2672 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m}^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 55,15 \cdot 10^{-8}} = 0,007035 \text{ m} \rightarrow 0,7035 \text{ cm}$$

De acordo com o Anexo Q da ABNT NBR 8800/2008, e a Eurocode 4, parte 1.1, o valor máximo recomendado pela flecha é:

$$\delta_{s,max} = \frac{l}{180} \rightarrow \frac{2,5}{180} = 0,01388889 \text{ m} \rightarrow 1,3889 \text{ cm}$$

Devido à ausência de outras verificações para ELS dispostos em norma, calculou-se apenas a flecha imediata. Sendo assim, a laje calculada atende às verificações de ELS descritos na norma.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo inicial da pesquisa científica foi analisar a solução estrutural estrutura metálica e laje de painéis treliçados maciços com outra tipologia: estrutura metálica e laje *steel deck*, comparando por meio de análise de desempenho e verificações quanto ao estado-limite de serviço (ELS- DEF), para uma obra específica.

Assim sendo, observou-se que a laje tipo painel treliçada maciça é um método construtivo para lajes muito interessante, pois a mesma tem sua estrutura física formada por uma laje pré-moldada, no entanto seu comportamento estrutural é de uma laje maciça. Essas diferenças estão ligadas a redução do uso de fôrmas e escoramentos, mantendo seu desempenho e eficiência estrutural, características que estão ligadas à agilidade executiva e redução de custos desnecessários.

Já para a laje *steel deck*, notou-se a simplicidade para dimensionamento e suas diversas possibilidades de configuração estrutural, bem como, a velocidade do método executivo, do qual elimina diversas etapas na execução da obra, como a preparação das fôrmas e escoramento – em boa parte dos casos, sem que isto lhe represente desvantagens em comportamento estrutural, características das quais, nos demonstram sua grande possibilidade de emprego em obras de estrutura metálica, em especial de grande porte.

No entanto, quanto ao uso do PTM, foi notado que as normas de diretrizes, para dimensionamento e verificações de segurança, são confusas e vagas sobre muitos pontos pertinentes a este sistema de laje, ou seja, são apresentados alguns conceitos e para os cálculos de verificações, fica a critério da interpretação do profissional que esta projetando a estrutura. Assim, o projetista tem que assumir com uma grande responsabilidade de ajustar o seu conhecimento do qual não possui a um produto que é pouco difundido no mercado e com poucos estudos que comprovem sua eficácia, a ausência da padronização reflete num mercado transposto por dúvidas.

Quanto ao uso da laje *steel deck*, foi relatado que para esta tipologia são existentes tabelas para um dimensionamento semi-empírico quanto ao tipo de chapa a ser empregada e o tamanho dos vãos sem o uso do escoramento, sendo necessário apenas prosseguir com as verificações de flecha imediata e a flecha no estado de fissuração do concreto, baseando-se na Eurocode 4 Parte 1.1. Nota-se ainda, a carência de informações sobre lajes mistas em uma norma brasileira, motivo pelo qual a fase de verificação da laje *steel deck* foi feito de acordo com normas internacionais.

A laje PTM apresentou uma flecha significativamente menor que a laje *steel deck* (0,155 cm para PTM e 0,7035 para *steel deck*), mas deve-se levar em conta a elevada rigidez da laje PTM, devido a sua altura (18 cm). Outro fator que influenciou as deformações, foi a adoção de concreto com f_{ck} de 25 MPa para lajes PTM, e f_{ck} de 20 MPa para lajes *steel deck*. No caso da tipologia PTM, quando maior o f_{ck} do concreto, maior é o módulo de elasticidade secante do

concreto (E_{cs}), ocasionando em uma menor deformação.

Esta pesquisa científica tentou contribuir para a melhoria dos pontos abordados, reunindo informações necessárias para que um engenheiro pudesse entender melhor sobre as topologias de lajes citadas no trabalho, dando definições gerais das mesmas, identificando quais suas vantagens e desvantagens, suas prescrições normativas, assim como acrescentar ao conteúdo de estudo existente para as tipologias de lajes apresentadas.

Conforme constatado a carência de informações normativas para as tipologias de lajes apresentadas, a situação mais adequada daqui para frente seria elaborar de fato uma padronização com informações complementares para os sistemas citados, situação da qual, só pode ser obtido com um bom senso e o “querer” dos fabricantes em examinar junto aos estudiosos da área, qual o conhecimento deve ser corrigido e melhorado e quais aspectos devem ser estudados e analisados profundamente.

6 CONCLUSÃO

Por intermédio da pesquisa científica, observou-se o comportamento estrutural de duas tipologias de lajes, levando em consideração seu desempenho quanto ao Estado Limite de Serviço.

De acordo com a análise dos resultados obtidos em cada um dos sistemas estudados, pode-se concluir que cada tipologia tem sua característica própria, trazendo consigo desde uma grande dimensão de aspectos construtivos e normativos, bem como, a definição do fator decisivo de escolha de determinada laje. Portanto, percebe-se que não são apenas os métodos construtivos e a economia que determinam a escolha do sistema a ser adotado. Por isso, devem-se analisar criteriosamente os fatores que possam interferir e inviabilizar a escolha do sistema estrutural (incompatibilidade entre materiais, limites fora dos requisitos prescritos nos aspectos normativos, entre outros).

À vista disso, pode-se constatar nas verificações de desempenho que o método executivo do PTM, teve sua flecha total com valor consideravelmente abaixo das flechas limites, podendo até mesmo realizar uma redução na altura desta laje (desde que não seja atingido o ELU), ou seja, obteve resultado satisfatório, de modo que garanta seu desempenho, que garanta que seja atingida sua vida útil prevista, bem como a ausência de defeitos e redução de custos. No mesmo seguimento, a laje *steel deck* também alcançou desempenho satisfatório, com sua flecha imediata abaixo da flecha limite.

Portanto, entende-se que as duas tipologias são adequadas para a obra em questão, sendo satisfatória quanto suas verificações de desempenho e quanto a sua velocidade de execução.

Porém, a tipologia mais indicada para tal obra seria a laje *steel deck*, já que ficou comprovado seu desempenho e sua ótima empregabilidade para estrutura metálica, contudo os fatores decisivos para tal escolha se faz sobre: a altura final da laje, por ser menos espessa (comum nas lajes *steel deck*); por melhor compatibilidade com o uso de estrutura metálica, devido à utilização de conectores de cisalhamento,; a redução do uso de fôrmas e de escoramento, garantindo agilidade e redução de custos. Tais fatores afetam significativamente a agilidade no cronograma de obra e também em redução do volume de concreto, diminuindo o peso próprio da laje e por consequência aliviar os elementos estruturais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNHOLDT, Carlos. **Estudo Comparativo dos Processos de Execução Entre Lajes Alveolares Protendidas e Painéis Treliçados**. 93f. Monografia. UNIVATES, Lajeado, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). **NBR 8800: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do Concreto Armado**. 119f. Apostila. UNESP, Bauru, 2006.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **Lajes de Concreto**. 119f. Apostila. UNESP, Bauru, 2015.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. 2015. 115f. Estrutura de Concreto I – Notas de Aula – UNESP, Bauru, 2015.
- BOIÇA, Stella Rossi; FILHO, Mauro L. S. **Análise da Performance de Elementos Pré-Fabricados de Concreto**. 8f. Artigo. UFPR, São Carlos, 2005.
- BONINI, Stefane do Nascimento. **Lajes Mistas *Steel Deck*: Estudo Comparativo com Lajes Maciças de Concreto Armado Quanto ao Dimensionamento Estrutural**. 111f. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BREMER, Cynara Fiedler. **Vigas Mistas em Perfis Formados a Frio com Lajes Mistas e Lajes Mistas Moldadas Sobre Painéis de Concreto Celular**. 308f. Tese. UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- CALDAS, Rodrigo Barreto. **Análise Numérica de Estruturas de Aço, Concreto e Mistas em Situação de Incêndio**. 249f. Tese. UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: Edufscar, 2014. 416 p.
- CASTRO, Adriana Almeida. **Análise do Uso de Estruturas de Aço em Edificações Habitacionais de Interesse Social**. 122f. Monografia. UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- COELHO, Roberto de Araujo. **Sistema Construtivo Integrado em Estrutura Metálica**. 157f.

- Dissertação. UFMG, Belo Horizonte, 2003.
- EUROCODE 2. *Design of Composite Steel and Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. Portugal, 1992.
- EUROCODE 4. *Design of Composite Steel and Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. Portugal, 1994.
- HERMSDORFF, Mariana Martins de Carvalho. **A Estrutura Metálica como Solução para a Habitação de Interesse Social: Uma Avaliação Pós-Ocupação do Conjunto Habitacional Oswaldo Barbosa Pena II, Nova Lima - MG**. 182f. Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.
- LEGGERINI, Regina Costa. **Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado Submetidas à Flexão Simples**. 94f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- LEGGERINI, Regina Costa. **Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura: Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado Submetidas à Flexão Simples**. 94f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- LEMOS, Paula Piccolo. **Sistema de Lajes Mistas Steel Deck: Análise Comparativa com o Sistema de Lajes Zero em Concreto Armado**. 96f. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- MATA, George da; ALVES, Haimon Amaro. **Análise comparativa de lajes maciças e treliçadas quanto ao seu desempenho**. 2015. 80f. Monografia – ITC, Caratinga, 2015.
- NARDIN, Fabiano Ângelo. **A Importância da Estrutura Metálica na Construção Civil**. 63f. Monografia. Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.
- PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain; DREHMER, Gilnei Artur. **Estruturas Metálicas**. 121f. Artigo. Universidade de Passo Fundo, 2004.
- REIS, Lucas Vinícius N. **Lajes Mistas com Fôrma de Aço Incorporada: Aplicações, Dimensionamento e Metodologia de Análise Numérica**. 79f. Monografia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- ROCHA, Felipe de Lima. **Contribuição ao estudo do sistema de pré-lajes tipo painel treliçado em pavimentos de edificações**. 138f. Dissertação (Mestrado) - UFSCar, São Carlos, 2015.
- SILVA, Marcos Alberto Ferreira. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado) - UFSCar, São Carlos, 2005.
- SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de Aço para Edifícios - Aspectos Tecnológicos e de Concepção**. 295f. Livro. Editora Blucher, São Paulo, 2014.
- STEFANI, Simone; PACHECO, Sérgio P. da Silva. **Proposta de Edifício Garagem Modular de**

Múltiplos Andares em Estrutura Metálica Para a Universidade de Caxias do Sul. Artigo. Construmetal, São Paulo, 2016.

ANEXO A - OFÍCIO DE REQUERIMENTO PARA UTILIZAÇÃO DO PROJETO

OFÍCIO DE REQUERIMENTO

Ao Engenheiro de Execução
Obra da Receita Federal
Agência Caratinga – MG

Caro Nelson,

Visto a importância da obra, sede da nova Receita Federal em Caratinga, que está sendo executada sob a responsabilidade de Vs. Senhoria, e o amplo campo de pesquisa que a mesma fornece para a área das engenharias em geral, gostaríamos de concluir o bacharelado em Engenharia Civil, realizando um trabalho de conclusão de curso (TCC), embasado no método construtivo da laje usada na respectiva obra. Tal trabalho se faz importante por se tratar de um modelo de laje ainda pouco utilizada em nossa região (Painéis Treliçados Maciços), mas que poderá vir a ser uma ótima alternativa construtiva de futuras obras.

O trabalho a ser realizado tem por objetivo analisar o método construtivo utilizado; estudos de eficiência; possíveis vantagens e desvantagens; segurança e análise do custo-benefício do método construtivo. Visa ainda, com os resultados da pesquisa, apresentar as características mecânicas da laje desta obra.

Diante do exposto solicitamos ao senhor que, se possível, realize a liberação dos projetos arquitetônico e estrutural, bem como memorial descritivo da escolha da laje, se houver, uso de imagens da obra para realização do trabalho.

Ressaltamos que o uso destes materiais será, única e exclusivamente, para a elaboração do trabalho aqui descrito.

P.s.: Este ofício está sendo encaminhado ao Engenheiro Nelson, a pedido do Fernando Henrique Pereira dos Santos Alabarce, R.T da Obra, devido a maior facilidade para encontra-lo e para disponibilização dos dados solicitados.

Desde já, agradecemos!



Prof. João Moreira de O. Júnior
Coordenador Engenharia Civil

Assinatura do REsponsável

Caratinga, 16 de Maio de 2016



ANEXO B - TABELAS DE DIMENSIONAMENTO

Tabela 8: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm, 2 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 2 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 2,6m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1001	830	700	598	286									
12	1101	913	770	398	310									
13	1202	997	841	430	334	256								
14	1303	1081	593	462	358	274								
15	1405	1165	636	494	382	291								
16	1506	1250	679	527	406	309								
17	1608	1334	721	559	431	327								
18	1710	985	764	592	455	345	255							
19	1812	1041	807	625	480	363	268							
20	1915	1098	850	658	505	382	281							
21	2017	1154	984	691	530	400	294							
22	1570	1211	937	724	555	418	307							
23	1644	1257	980	757	580	437	320							
24	1719	1324	1024	790	605	455	333							
25	1793	1381	1067	823	630	474	347							

Tabela 9: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm, 3 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 3 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,4m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1259	1044	879	752	650	568	445							
12	1385	1148	968	827	715	625	288							
13	1512	1245	1057	903	781	683	311	254						
14	1639	1359	1146	979	847	740	334	272						
15	1767	1465	1235	1055	913	532	357	291						
16	1894	1571	1324	1132	979	568	380	309						
17	2022	1677	1414	1208	737	604	404	328	264					
18	2150	1783	1503	1285	781	640	427	347	278					
19	2278	1889	1593	1012	826	676	451	366	293					
20	2407	1996	1683	1067	871	712	475	384	308					
21	2535	2103	1773	1122	915	749	498	403	323	254				
22	2664	2210	1451	1177	960	785	522	422	338	266				
23	2793	2317	1520	1233	1005	821	546	441	353	277				
24	2923	2424	1588	1289	1050	858	570	460	368	289				
25	3052	1852	1657	1344	1096	895	594	480	383	301				

Tabela 10: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,80 mm 4 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 4 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,2m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1205	999	842	719	622	544	479							
12	1326	1099	927	792	685	598	315	256						
13	1447	1200	1012	865	748	654	341	276						
14	1569	1301	1097	937	811	450	366	296						
15	1691	1402	1182	1010	874	482	391	316	253					
16	1813	1503	1268	1084	633	514	417	336	296					
17	1936	1605	1353	1157	673	547	443	357	285					
18	2058	1707	1439	1230	714	579	469	377	301					
19	2181	1809	1525	931	754	612	495	398	317					
20	2304	1911	1611	982	795	644	521	418	333	260				
21	2427	2013	1698	1032	836	677	547	439	349	273				
22	2551	2115	1343	1083	876	710	573	460	365	285				
23	2674	2218	1407	1134	917	742	599	481	381	297				
24	2798	2321	1470	1185	958	775	626	501	397	310				
25	2922	1916	1534	1263	999	808	652	522	414	322				

Tabela 11: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 2 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 2 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 2,6m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1165	966	814	695	367	291								
12	1283	1063	896	765	399	316								
13	1400	1161	978	544	431	340	266							
14	1518	1258	1061	586	464	365	285							
15	1636	1357	1143	638	496	390	303							
16	1755	1455	848	670	529	415	322							
17	1874	1554	902	713	562	441	341	259						
18	1993	1652	957	755	595	466	361	273						
19	2112	1751	1011	798	628	492	380	287						
20	2232	1356	1066	841	662	527	399	302						
21	2351	1426	1121	884	695	543	419	316						
22	2471	1497	1177	927	729	569	438	330						
23	2591	1568	1232	970	762	595	458	344						
24	2711	1639	1287	1013	796	621	477	359	260					
25	2831	1710	1343	1057	830	647	497	373	270					

Tabela 12: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 3 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 3 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,6m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1435	1215	1024	874	756	660	581	516	462					
12	1614	1337	1127	962	832	727	640	569	305	253				
13	1762	1460	1230	1051	908	793	699	621	329	273				
14	1910	1583	1334	1140	985	860	758	426	354	293				
15	2059	1706	1438	1228	1062	928	818	457	379	313	257			
16	2208	1830	1542	1317	1139	995	587	487	404	334	273			
17	2357	1954	1646	1407	1216	1063	624	518	429	354	290			
18	2507	2078	1751	1496	1294	797	662	549	455	375	306			
19	2657	2202	1856	1586	1371	843	699	580	480	395	323	261		
20	2807	2327	1961	1676	1075	889	737	611	506	416	339	274		
21	2957	2451	2066	1766	1130	935	775	642	531	437	356	287		
22	3108	2576	2171	1856	1187	981	813	674	557	458	373	300		
23	3259	2701	2277	1509	1243	1028	851	705	582	478	390	313		
24	3410	2827	2382	1578	1299	1074	889	736	608	499	407	327	258	
25	3561	2925	2488	1646	1355	1120	928	768	634	520	424	340	268	

Tabela 13: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 0,95 mm, 4 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 4 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,4m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1404	1163	980	837	723	632	557	494	250					
12	1545	1280	1078	796	796	696	613	330	272					
13	1686	1397	1177	1006	870	760	432	357	293					
14	1828	1515	1277	1091	943	824	465	384	315	257				
15	1971	1633	1376	1176	1017	888	499	411	337	274				
16	2113	1752	1476	1261	1091	646	532	438	359	292				
17	2256	1870	1576	1347	1165	687	566	465	381	309				
18	2400	1989	1676	1432	1239	729	600	493	403	327	262			
19	2543	2108	1776	1518	937	770	634	520	452	344	276			
20	2687	2227	1877	1604	989	812	668	548	447	362	290			
21	2831	2374	1978	1690	1040	854	702	576	470	380	304			
22	2975	2466	2079	1776	1091	896	736	603	492	398	318			
23	3119	2586	2180	1396	1143	938	770	631	515	416	332	259		
24	3264	2706	2281	1459	1194	890	805	659	537	434	346	270		
25	3409	2826	2382	1523	1246	1022	839	697	560	452	360	281		

Tabela 14: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 2 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Espessura da laje	SISTEMA 2 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3m													
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
11	1623	1344	1132	966	835	729	401	329	268					
12	1787	1480	1246	1064	919	532	437	358	291					
13	1952	1616	1361	1162	1004	578	473	387	314	253				
14	2117	1753	1476	1260	1089	623	510	416	337	271				
15	2282	1890	1592	1359	818	669	547	446	361	289				
16	2448	2028	1707	1458	874	715	584	475	385	308				
17	2614	2166	1824	1557	931	761	621	505	408	326	256			
18	2781	2304	1940	1213	988	807	659	535	432	345	270			
19	2948	2242	2057	1284	1046	854	696	566	456	364	285			
20	3116	2581	2174	1355	1103	900	734	596	480	383	299			
21	3284	2720	2291	1426	1161	947	772	626	505	402	314			
22	3452	2860	1848	1498	1219	994	810	657	529	421	328			
23	3621	2999	1937	1569	1277	1041	848	688	553	440	343	260		
24	3789	3139	2026	1641	1335	1088	886	718	578	459	358	270		
25	3958	3279	2115	1713	1393	1136	924	749	603	478	372	281		

Tabela 15: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 3 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Esp. da laje	SISTEMA 3 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,8m														
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
11	1431	1285	1162	1058	968	890	807	714	613	526					
12	1617	1452	1313	1196	1095	1006	889	789	705	634	364	311			
13	1803	1619	1464	1334	1221	1103	971	862	770	692	395	337	286		
14	1989	1786	1616	1471	1347	1196	1053	935	835	499	426	363	308	260	
15	2175	1953	1767	1609	1473	1290	1136	1008	901	536	457	389	330	278	
16	2361	2120	1918	1747	1585	1384	1218	1081	671	572	488	415	352	297	
17	2545	2287	2070	1885	1693	1478	1302	1155	715	609	519	441	374	315	263
18	2733	2454	2221	2023	1801	1572	1385	1229	759	647	551	468	396	333	278
19	2919	2621	2372	2161	1910	1667	1468	943	803	684	582	494	418	352	293
20	3105	2788	2523	2299	2018	1762	1552	996	847	721	614	521	441	370	309
21	3291	2955	2675	2436	2127	1857	1635	1048	891	759	646	548	463	389	324
22	3477	3122	2826	2574	2236	1952	1296	1100	936	797	678	575	486	408	340
23	3663	3289	2977	2712	2346	2048	1385	1153	980	834	710	602	508	427	355
24	3849	3456	3128	2841	2455	2143	1421	1206	1025	872	742	629	531	446	371
25	4035	3623	3280	2968	2565	2239	1483	1258	1070	910	774	656	554	465	386

Tabela 16: Sobrecargas Admissíveis Úteis (daN/m^2) - Chapa 1,25 mm, 4 apoios (Adaptado de: *Polideck*).

Esp. da laje	SISTEMA 4 APOIOS - (vão m) - Vão máximo sem escora: 3,8m														
	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
11	1449	1301	1178	1073	982	878	773	686	613	540					
12	1638	1470	1331	1212	1107	966	851	755	675	387	238	277			
13	1826	1640	1484	1352	1209	1055	929	825	494	419	355	300	252		
14	2014	1809	1637	1492	1312	1145	1008	895	533	452	382	322	270		
15	2202	1978	1791	1632	1414	1234	1087	676	572	485	410	345	289		
16	2390	2147	1944	1756	1517	1324	1165	723	612	418	437	368	308	256	
17	2579	2316	2097	1876	1621	1415	1246	770	652	551	465	391	327	271	
18	2767	2485	2250	1996	1724	1505	968	817	691	585	493	415	346	287	
19	2955	2655	2404	2126	1828	1596	1024	865	731	618	521	438	365	302	
20	3143	2824	2557	2236	1932	1686	1081	912	771	652	549	461	385	318	259
21	3332	2993	2710	2356	2036	1351	1138	960	811	685	578	485	404	334	272
22	3520	3162	2863	2477	2141	1419	1195	1008	852	719	606	508	424	350	285
23	3708	3331	3016	2598	2245	1487	1252	1056	892	753	634	532	443	366	298
24	3896	3500	3170	2719	2350	1556	1309	1104	933	787	663	556	463	382	311
25	4085	3670	3323	2841	2455	1624	1366	1153	973	821	692	580	483	398	323

Notas para utilização das Tabelas:

Deve-se conhecer um dos parâmetros fundamentais do projeto, seja a sobrecarga, vãos, número de apoios ou a espessura da laje. Procura-se então a coordenada econômica ótima que satisfaça as exigências do projeto.

Exemplos de Dimensionamento:

a) Sobrecarga de $540 daN/m^2$:

- Vão de 3 m, 4 apoios, chapa de 0,80 mm, espessura total de 11 cm, sem escoramento;
- Vão de 3,6 m, 3 apoios, chapa de 0,95 mm, espessura total de 22 cm com um escoramento;

B) Vão de 3 m e sobrecarga de $400 daN/m^2$

- Sistema de 2 apoios, chapa de 0,80 mm, espessura total de 21 cm, com dois escoramentos.
- Sistema de 2 apoios, chapa de 0,95 mm, espessura total de 16 cm, com dois escoramentos.

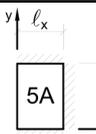
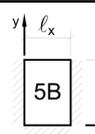
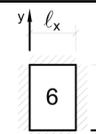
Em casos onde existem restrições de cálculo, como limitação de altura, seja por variáveis impostas pelo calculista, seja pelo uso de conectores, deve-se encontrar a situação de perfil mais econômica para a estrutura pré-definida.

ANEXO C - REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME

Tabela 2.2c										
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME										
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo									$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	5A			5B			6			
	v_x	v'_x	v'_y	v'_x	v_y	v'_y	v'_x	v'_y		
1,00	1,71	2,50	3,03	3,03	1,71	2,50	2,50	2,50	1,00	
1,05	1,79	2,63	3,08	3,12	1,71	2,50	2,62	2,50	1,05	
1,10	1,88	2,75	3,11	3,21	1,71	2,50	2,73	2,50	1,10	
1,15	1,96	2,88	3,14	3,29	1,71	2,50	2,83	2,50	1,15	
1,20	2,05	3,00	3,16	3,36	1,71	2,50	2,92	2,50	1,20	
1,25	2,13	3,13	3,17	3,42	1,71	2,50	3,00	2,50	1,25	
1,30	2,22	3,25	3,17	3,48	1,71	2,50	3,08	2,50	1,30	
1,35	2,30	3,36	3,17	3,54	1,71	2,50	3,15	2,50	1,35	
1,40	2,37	3,47	3,17	3,59	1,71	2,50	3,21	2,50	1,40	
1,45	2,44	3,57	3,17	3,64	1,71	2,50	3,28	2,50	1,45	
1,50	2,50	3,66	3,17	3,69	1,71	2,50	3,33	2,50	1,50	
1,55	2,56	3,75	3,17	3,73	1,71	2,50	3,39	2,50	1,55	
1,60	2,61	3,83	3,17	3,77	1,71	2,50	3,44	2,50	1,60	
1,65	2,67	3,90	3,17	3,81	1,71	2,50	3,48	2,50	1,65	
1,70	2,72	3,98	3,17	3,84	1,71	2,50	3,53	2,50	1,70	
1,75	2,76	4,04	3,17	3,87	1,71	2,50	3,57	2,50	1,75	
1,80	2,80	4,11	3,17	3,90	1,71	2,50	3,61	2,50	1,80	
1,85	2,85	4,17	3,17	3,93	1,71	2,50	3,65	2,50	1,85	
1,90	2,89	4,22	3,17	3,96	1,71	2,50	3,68	2,50	1,90	
1,95	2,92	4,28	3,17	3,99	1,71	2,50	3,72	2,50	1,95	
2,00	2,96	4,33	3,17	4,01	1,71	2,50	3,75	2,50	2,00	
> 2,00	4,38	6,25	3,17	5,00	1,71	2,50	5,00	2,50	> 2,00	

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.
 $v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão
 (*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Figura 12: REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME (Fonte: Pinheiro, 1993)

Tabela 2.3c													
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME													
Tipo													Tipo
	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	
1,00	2,02	5,46	2,52	6,17	2,52	6,17	2,02	5,46	2,02	5,15	2,02	5,15	1,00
1,05	2,27	5,98	2,56	6,46	2,70	6,47	1,97	5,56	2,22	5,50	2,00	5,29	1,05
1,10	2,52	6,50	2,60	6,75	2,87	6,76	1,91	5,65	2,42	5,85	1,98	5,43	1,10
1,15	2,76	7,11	2,63	6,97	3,02	6,99	1,84	5,70	2,65	6,14	1,94	5,51	1,15
1,20	3,00	7,72	2,65	7,19	3,16	7,22	1,77	5,75	2,87	6,43	1,89	5,59	1,20
1,25	3,23	8,31	2,64	7,36	3,28	7,40	1,70	5,75	2,97	6,67	1,83	5,64	1,25
1,30	3,45	8,89	2,61	7,51	3,40	7,57	1,62	5,76	3,06	6,90	1,77	5,68	1,30
1,35	3,66	9,44	2,57	7,63	3,50	7,70	1,55	5,75	3,19	7,09	1,71	5,69	1,35
1,40	3,86	9,96	2,53	7,74	3,59	7,82	1,47	5,74	3,32	7,28	1,65	5,70	1,40
1,45	4,05	10,46	2,48	7,83	3,67	7,91	1,41	5,73	3,43	7,43	1,57	5,71	1,45
1,50	4,23	10,94	2,43	7,91	3,74	8,00	1,35	5,72	3,53	7,57	1,49	5,72	1,50
1,55	4,39	11,40	2,39	7,98	3,80	8,07	1,29	5,69	3,61	7,68	1,43	5,72	1,55
1,60	4,55	11,84	2,34	8,02	3,86	8,14	1,23	5,66	3,69	7,79	1,36	5,72	1,60
1,65	4,70	12,26	2,28	8,03	3,91	8,20	1,18	5,62	3,76	7,88	1,29	5,72	1,65
1,70	4,84	12,66	2,22	8,10	3,95	8,25	1,13	5,58	3,83	7,97	1,21	5,72	1,70
1,75	4,97	13,04	2,15	8,13	3,99	8,30	1,07	5,56	3,88	8,05	1,17	5,72	1,75
1,80	5,10	13,40	2,08	8,17	4,02	8,34	1,00	5,54	3,92	8,12	1,13	5,72	1,80
1,85	5,20	13,74	2,02	8,16	4,05	8,38	0,97	5,55	3,96	8,18	1,07	5,72	1,85
1,90	5,30	14,06	1,96	8,14	4,08	8,42	0,94	5,56	3,99	8,24	1,01	5,72	1,90
1,95	5,40	14,36	1,88	8,13	4,10	8,45	0,91	5,60	4,02	8,29	0,99	5,72	1,95
2,00	5,50	14,64	1,80	8,12	4,12	8,47	0,88	5,64	4,05	8,33	0,96	5,72	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,80	8,12	4,17	8,33	0,88	5,64	4,17	8,33	0,96	5,72	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell_x^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

Figura 13: REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME (Fonte: Pinheiro, 1993)

ANEXO D - LIMITES PARA DESLOCAMENTO

Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350+$ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm

^a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

^b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $\ell/350$.

^c O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

^d Rotação nos elementos que suportam paredes.

^e H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

^f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

^g O valor ℓ refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão ℓ suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor ℓ é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Figura 14: Limites para deslocamento (Fonte: ABNT NBR 6118/2014)