

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DA LAJE MISTA STEEL DECK COM A LAJE TRELIÇADA

ERIKA SILVA FERNANDES¹
KÊNIA ARAÚJO DE LIMA SCARIOT²

RESUMO

O sistema estrutural com laje auxilia no comportamento global da estrutura, proporcionando a ela um acréscimo de rigidez que alivia os esforços no pórtico. Entretanto, a depender do sistema de lajes empregado, pode acarretar grande utilização de concreto e aço, elevado consumo de formas e escoras, bem como maiores sobrecargas nas fundações e alto custo com mão de obra. Desta maneira, os investidores tendem a procurar um sistema construtivo que atenda aos requisitos estruturais de segurança e durabilidade dos materiais, agregado ao menor custo benefício. No intuito de realizar uma análise comparativa entre duas metodologias construtivas totalmente distintas, foram utilizadas para base de cálculo a laje *steel deck* e a laje treliçada. Com o propósito de comparar sua viabilidade estrutural, sobretudo seu custo final, foi escolhido três áreas adaptadas de um projeto comercial de 501,59m² fornecido pela empresa Globsteel. A presente pesquisa demonstrou que para vãos grandes, a laje *steel deck* é a mais indicada pois apresentou melhor desempenho. Nos vãos menores as lajes não apresentam grandes diferença de custo, sendo 14,17% para vão médios e 1,20% para vãos pequenos. Embora não mensurado, independente da dimensão das lajes, deve ser levado em consideração o tempo de execução, mão de obra, escoramentos, vigamentos, pilares, armaduras e disponibilidade do material, que pode influenciar diretamente na escolha do tipo de laje empregado.

Palavras-chave: Ações. Comportamento estrutural. Custo benefício. Método construtivo.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MIXED STEEL DECK SLAB WITH METAL TRUSS SLAB

ABSTRACT

The structural system with slab assists in the overall behavior of the structure, providing it with an increase in stiffness that relieves stresses on the frame. However, depending on the slab system employed, it can lead to a large use of concrete and steel, high consumption of forms and struts, as well as greater overload on the foundations and high labor costs. In this way, investors tend to look for a constructive system that meets the structural requirements for safety and durability of materials, added to the lowest cost benefit. In order to carry out a comparative analysis between two totally different construction methodologies, the steel deck slab and the trussed slab were used for the calculation basis. In order to compare its structural feasibility, especially its final cost, three areas were chosen adapted from a 501.59m² commercial project provided by the company Globsteel. The present research demonstrated that for large spans, the steel deck slab is the most suitable as it presented better performance. In the smallest spans, the

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: derikafernandes@hotmail.com

² Professora Mestre em Engenharia civil e Ambiental, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: keniaaraujolima@hotmail.com

slabs do not present a large difference in cost, being 14.17% for medium spans and 1.20% for small spans. Although not measured, regardless of the size of the slabs, the execution time, labor, props, frameworks, pillars, reinforcement and material availability must be taken into account, which can directly influence the choice of the type of slab used.

KEYWORDS: Actions. Structural Behavior. Cost Benefit. Constructive Method.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a praticidade na construção civil se tornou essencial, tanto em atividades cotidianas, simples, como nas mais elaboradas. Aliado a isso, a variedade de materiais, técnicas e processos construtivos, requer, dos profissionais envolvidos na construção civil, um projeto que atenda satisfatoriamente as necessidades de economia financeira, durabilidade e segurança dos usuários, além da diminuição do tempo e do desperdício dos materiais.

No intuito de alcançar um projeto estrutural seguro e econômico que atenda às necessidades dos proprietários, faz-se necessário a redução do peso próprio da estrutura, uma vez que o mesmo tem representatividade orçamentária elevada. Para tal, a composição estrutural dependerá diretamente do tipo de laje a ser empregada, haja vista que desempenha um papel importante no consumo de material, tanto em sua composição quanto na composição de outros elementos que receberão sua carga, tornando-os suscetíveis ao aumento de sua seção, que consequentemente acarreta em um maior carregamento no arranjo estrutural como um todo (VAKIL; NILESH, 2017).

No intuito de garantir as necessidades apresentadas, surgiram no mercado as laje *steel deck*, que aliam facilidade executiva, diminuição do uso de formas e insumos, tempo de espera, escoramento e peso próprio da estrutura. Sistemas de lajes de concreto armado em decks de aço podem ser usados para economizar tempo e despesas, visto que oferecem certas vantagens sobre a construção convencional.

Algumas evidencias supracitadas podem ser notadas na pesquisa realizada por Lima (2010), na qual o autor compara a diversos tipos de lajes aplicados em um edifício de 4320m² de área construída, sendo a laje *steel deck* de melhor custo benefício, apresentando uma economia de aproximadamente 400 (quatrocentos) mil reais em relação a laje de maior custo. Apesar de inúmeras vantagens do método, outro estudo realizado por Balbinotte et al. (2017), mostraram que em algumas regiões as lajes nervuradas treliçadas é o sistema construtivo mais utilizado pelas construtoras brasileiras, independente do custo, tempo ou tecnologia.

De acordo com os fatos apresentados, a presente pesquisa teve como objetivo, identificar fatores que contribuem para o empreendedorismo no ramo da construção civil, conduzindo informações sobre comportamento estrutural comparado entre as lajes *steel deck* e as lajes treliçadas, no qual demonstrou aos profissionais da área, informações para aplicar a melhor técnica construtiva, econômica, sustentável e segura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Elemento estrutural laje

Lajes são elementos planos, projetados para receber os carregamentos atuantes provenientes de sua utilização em forros, pisos, escadas e outros diversos segmentos da superestrutura. Sua principal função consiste em transmitir esses esforços para as vigas de apoio, que os transmitem para os pilares e sapatas, até garantir a total transferência de todos carregamentos

para a fundação, além disso o elemento de superfície contribuem para a estabilidade do arranjo estrutural e segurança dos usuários (VIZOTTO, 2010).

Em busca de melhores características estruturais, melhor acabamento e menor custo, foram desenvolvidos diversos tipos de lajes empregadas na construção civil, sendo as mais usuais em edifícios residenciais e comerciais as lajes maciças e nervuradas. No entanto com o avanço da industrialização, as lajes *steel deck* começaram a ser empregadas e bem aceitas nas construções, principalmente, em obras de grande porte.

2.2 Lajes maciças

O sistema construtivo de lajes maciças é um dos métodos mais antigos e mais utilizados na construção civil. A sua metodologia construtiva é realizada *in loco*, no qual é efetivado sobre formas que determinam sua geometria. Normalmente as lajes maciças possuem espessuras que podem variar entre 7 e 15cm, constituídas de concreto armado ou protendido (SANTOS, 2018).

Esse tipo de método pode ser utilizado em construções residenciais, comerciais, industriais, reservatórios, obras de arte, entre outros. Apesar de sua aplicabilidade ser diversificada, o sistema possui suas limitações, principalmente por não ser indicada para vencer grandes vãos, pois apresenta elevado peso, resultando na necessidade de uso de grande quantidade de vigas e armaduras. Além de encarecer o custo da obra devido a solicitação de maiores elementos estruturais, o sistema gera grande quantidade de resíduos com formas e escoras, em sua maioria não reutilizáveis (CARDOSO; GODINHO, 2016).

2.3 Lajes nervuradas

Segundo a ABNT (2014) - NBR 6118, lajes nervuradas são aquelas moldadas in loco ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração esteja localizada nas nervuras entre as quais pode-se utilizar materiais inertes para preenchimento. Dentro dessa classificação as lajes mais conhecidas são as alveolares e treliçadas, porém existem outros métodos menos difundidos como as lajes *bubbledeck* e laje cogumelo.

2.3.1 Lajes alveolares

O sistema construtivo de lajes alveolares é conhecido como pisos de concreto pré-moldados de alta resistência e durabilidade, além disso o método proporciona leveza a estrutura, devido ao alvéolos (núcleos vazios) longitudinais. Esses alvéolos podem apresentar formato circular, oval, semi-ogival ou retangular (MARCOS, 2015).

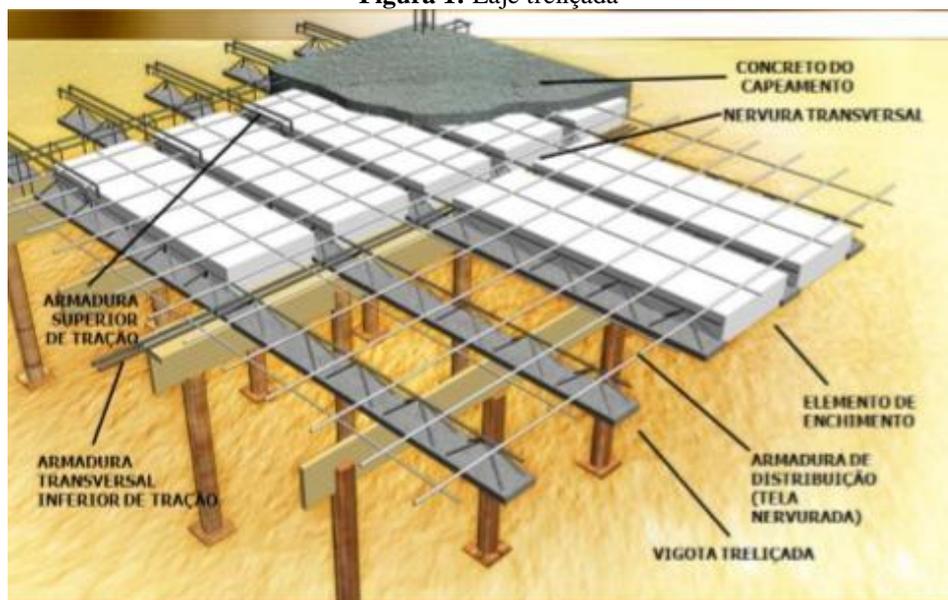
Para o processo de fabricação desse tipo de laje utiliza-se concreto de alta resistência, no qual são produzidas de forma industrializada, o que garante maior qualidade no processo executivo. Entretanto, esse benefício torna seu valor mais elevado, havendo assim um custo final da obra mais oneroso quando comparado a outros tipos de laje (PEREIRA; MAÇANEIRO, 2016).

2.3.2 Laje treliçada

O sistema construtivo de laje treliçada composta por vigotas pré-fabricada, tornou-se popular por possuir facilidade construtiva e garantir redução do peso próprio da estrutura, tal como redução de insumos em sua execução. Conforme Torres (2018) para sua consolidação é utilizado elementos lineares previamente fabricados, na qual são espaçadas uniformemente por

elementos de enchimento, igualmente é empregado em sua composição as armaduras de distribuição (tela de aço) e armaduras complementares (quando necessário), que juntos são envolvidos por uma camada de concreto.

Figura 1: Laje treliçada



Fonte: Vizotto (2010)

As vigotas normalmente são produzidos com a utilização de aço CA-60 soldados de modo a formar uma estrutura prismática, o fio superior contribui na resistência a compressão e os dois fios inferiores são incrementados para resistir aos esforços de tração. Os enchimentos (materiais inertes) mais utilizados na composição de laje treliçada são o poliestireno expandido (EPS) e os blocos cerâmicos, ambos possuem peso específico menor que o concreto, por isso são utilizados com a finalidade de reduzir a quantidade de concreto utilizada na superfície da laje, proporcionando assim maior leveza à estrutura (TORRES, 2018).

Agregados ao menor peso próprio e facilidade construtiva, as lajes treliçadas passaram a ser utilizadas em larga escala na construção civil, por reduzir significativamente a quantidade de formas e escoras em sua execução, bem como por garantir maior agilidade no cronograma da obra.

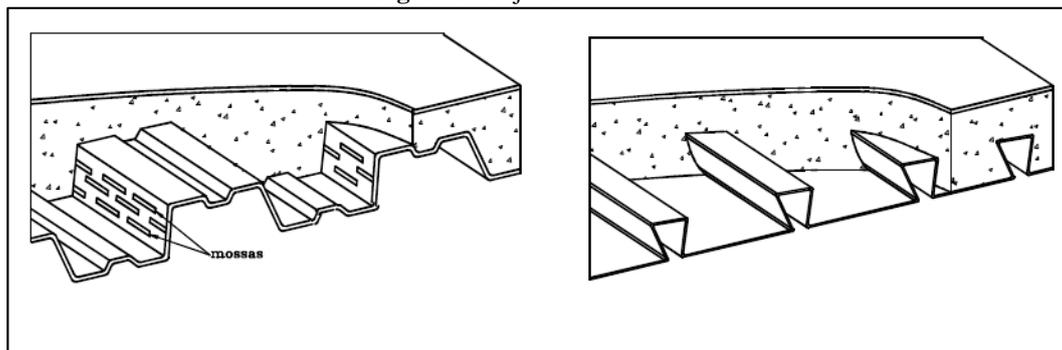
2.4 Laje *Steel deck*

Tendo o conhecimento de que as lajes são um dos elementos que mais contribuem para o consumo de concreto, peso da estrutura, custo da edificação e atraso no cronograma da obra, os americanos em 1950, difundiram essas preocupações e lançaram no mercado da construção civil as lajes *steel deck*. Esse sistema agrega agilidade no processo construtivo, leveza estrutural e menor consumo de materiais. Desse modo, levando em consideração todos os elementos envolventes na etapa construtiva, com isso, o método tem mostrado resultados positivos no custo final da obra (VAKIL, 2017).

Essa metodologia construtiva é composta por uma chapa de aço galvanizado e uma camada de concreto. Antes da cura do concreto, as chapas atuam como suporte (forma) para absorver todas as sobrecargas e ações permanentes provenientes da construção, além disso a forma possui um formato trapezoidal (saliências) no qual diminui a quantidade de concreto a ser utilizado, sua capacidade de carga é compatível para dispensar escoras em vãos de até 4

metros. Outra particularidade desse sistema é quando o aço (forma) age como parte ou como toda armadura resistente aos esforços de tração (SALOMÃO et al. 2019).

Figura 2: Laje mista *steel deck*



Fonte: NBR 8800 (2008)

O concreto utilizado em lajes *steel deck* atua em conjunto ao aço, seu emprego se faz necessário para resistir aos esforços de compressão e cisalhamento vertical. Usualmente, é empregado resistência mínima a compressão aos 28 dias (f_{ck}) igual ou superior a 20 Mpa, sua aplicação deve possuir cobertura mínima de 50mm e para evitar sua fissuração é empregado sobre a chapa, tela de aço soldadas (ABNT NBR 8800, 2008). Seu sistema construtivo é muito empregado em estruturas metálicas, embora não muito utilizado, sua metodologia pode ser empregado em estrutura de concreto armado.

No território nacional, dispõe de pouco material técnico que aborde o dimensionamento e construção desse tipo de laje, visto que o sistema construtivo ainda é pouco difundido no país. Assim, vale lembrar que os fabricantes desse material fornecem informações quanto ao transporte, armazenamento, içamento, montagem, fixação das peças, fixação dos conectores, instalação das armaduras, concretagem, orientações de manutenções entre outros. Do mesmo modo, por não possuir uma normativa específica, são utilizadas por se tratar de um material misto, a ABNT (2008) - NBR 8800 (Projetos de estrutura de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), ABNT (2010) -NBR 14762 (Dimensionamento de estrutura de aço constituída por perfis formado a frio) e ABNT (2014) -NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto- Procedimento).

2.5 Ações nas lajes

Ações são os motivos pelos quais provocam esforços ou deformações nas estruturas, sendo esta indispensável no cálculo estrutural de qualquer edificação. Essas ações podem ser do tipo permanentes, variáveis ou excepcionais.

As ações permanentes ocorrem com valores praticamente constantes durante toda vida útil da edificação, de forma direta ou indireta. Quando essas ações são provenientes do peso próprio dos elementos fixos da estrutura, são chamadas de ações diretas e quando correspondem a deformações provocadas por retração e fluência do concreto, recalques de apoio, pretensão e imperfeições geométricas, é denominada ações indiretas (ABNT, 2003- NBR 8681).

As ações variáveis, diferente da anterior manifestam oscilações durante a vida útil da estrutura, sendo estes carregamentos transitórios, classificados em normais e especiais. Normais são aquelas com maior probabilidade de ocorrência, atuando sobre a estrutura em função de seu uso. As ações variáveis especiais são constituídas por ações sísmicas, manifestadas por ação do vento, variações de temperatura, entre outras (ABNT, 2003- NBR 8681).

As ações excepcionais podem ser entendidas como situações raras e de curta duração, decorrentes de situações não previsíveis, mas que não podem deixar de serem consideradas nos projetos, são ações excepcionais que envolvem explosões, choque de veículos, incêndios, enchentes ou terremotos (ABNT, 2003- NBR 8681).

2.6 Estado limites

O estado limite tem como finalidade garantir a segurança dos usuários, denominando os esforços máximos que uma estrutura é capaz de suportar, antes que apresente sinais de fissuração, ou até mesmo, entre em colapso. Esse estado limite se subdivide em estado limite de serviço e estado limite último.

No estado limite de serviço, procura retratar o conforto, durabilidade, aparência e boa utilização da estrutura, no qual descreve seu comportamento durante a usabilidade da edificação, de tal forma a garantir que os elementos estruturais apresentem um comportamento real, embora em etapa de cálculo (OLIVEIRA, 2019).

Já no estado limite último, o cálculo está relacionado ao colapso ou ruína, imposto sobre a exaustão da resistência que determina a paralização do uso da estrutura. Para segurança das estruturas, este estado limite sempre deve ser verificado, seja em solicitações normais e tangenciais, dinâmicas e de efeito de segunda ordem ou em casos especiais.

2.7 Normativas para dimensionamento de laje *steel deck*

Visto que as lajes mistas ainda carecem de informações sobre seu dimensionamento e execução, faz-se necessário realizar a compatibilização de diversas normativas como elemento de apoio.

Logo, a principal norma descrita pela ABNT (2008) é a NBR 8800 que explica, de forma geral, como deve ser realizado o dimensionamento para estruturas mistas. Por se tratar de um material que contém aço, é indispensável o uso da normativa ABNT (2010) - NBR 14762 que aborda questões conceituais importantes sobre características do aço, e por fim, a normativa ABNT (2014) -NBR 6118 que descreve as características do concreto empregado na laje. Uma vez que essas normas, tem como objetivo garantir um bom desempenho estrutural e segurança dos usuários, assim, cabe ao engenheiro responsável certificar-se de que todas as exigências estão sendo atendidas.

2.8 Orçamentação em lajes

Durante a concepção de um projeto, o controle dos custos se revela como uma das fases mais importantes da obra, implicando na necessidade do projetista fazer uma estimativa preliminar, tendo em vista a viabilidade econômica que favorece maior assertividade ao processo de tomada de decisão (MENDES et al. 2016).

Lima (2010), demonstrou em suas pesquisas que o custo de um edifício de estrutura metálica pode variar de 38% a 79% adotando a metodologia de laje nervuradas ou com vigotas protendidas, ele também verificou que a escolha entre laje alveolar e a laje nervurada treliçada, resulta em uma diferença de 4,6% a 20,9% no consumo de concreto, outro resultado visto pelo autor foi uma economia financeira de 40% quando comparou a laje *steel deck* com a laje alveolar. Portanto, a decisão sobre a escolha da melhor metodologia construtiva de laje pode influenciar expressivamente no custo final de uma obra, de mesmo modo no alívio de sobrecargas nos outros elementos de apoio.

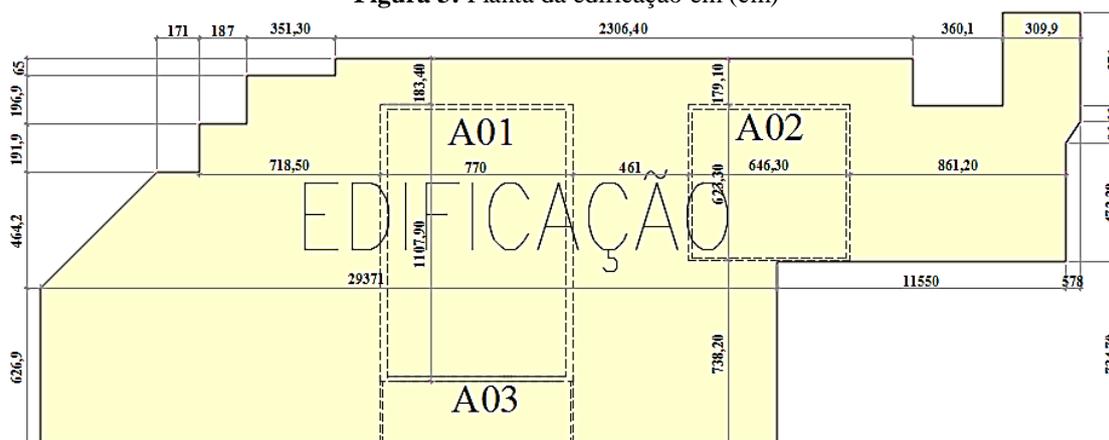
Para realização de um orçamento preciso, é fundamental que o orçamentista disponha de conhecimento prático e ferramentas apropriadas e seguras para executá-lo. Nessas condições, é possível garantir redução do risco de colocação de preços insuficientes para cobrir as despesas de incidentes na obra, ou utilização de preços muito elevados, fora da realidade do mercado.

Portanto, os valores utilizados para estimativa de custo podem ser obtidos por meio de obras anteriores ou por meio de planilhas orçamentárias, como é o caso do SINAPI (Sistema de Pesquisa de Custos e Índice da Construção), CUB (Custo Unitário Básico) e mercado local (MENDES et al. 2016). Na realização de orçamento de lajes, além de quantificar seus elementos de composição, torna-se importante que o orçamentista faça uma análise quanto aos elementos de apoio (Vigas, pilares, fundações), de mesmo modo o custo com mão de obra, tempo de execução entre outros fatores. Pois a metodologia construtiva de laje influencia não só no seu custo base, mas também em outros elementos estruturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

No intuito de realizar uma análise comparativa entre duas metodologias construtivas totalmente distintas, foram utilizadas para base de cálculo a laje *steel deck* considerado um método inovador e a laje treliçada com enchimento de lajota cerâmica, método que vem sendo mais utilizado pelas construtoras brasileiras. Com o propósito de comparar sua viabilidade estrutural, sobretudo seu custo final, foi escolhido três áreas (A01, A02 e A03) adaptadas de um projeto comercial fornecido pela empresa Globsteel. As áreas escolhidas são provenientes de uma edificação de 501,59m², na qual estão representadas na Figura 1.

Figura 3: Planta da edificação em (cm)



Fonte: Adaptado de Globsteel (2020)

Para cada tipo de laje foi lançando um plano de viga compatível com sua tecnologia, visando garantir rigidez a estrutura. Nos cálculos estruturais tanto para laje mista quanto para laje treliçada foram dimensionadas na condição de laje piso, sob as seguintes ações: peso próprio (gerado automaticamente), piso e revestimento de 122kg/m² e carga acidental de 300kg/m².

Os resultados obtidos por meio do projeto estrutural de laje *steel deck*, foram dispostos de tal forma a não necessitar de escoras, armaduras negativas ou positivas. Para essas condições, foi seguido orientações do fabricante, Metform S.A, onde limita para vãos simples um distanciamento de até 2m, vãos duplos 3m e vãos triplos 3,10m, conforme Figura 2. Para atender essas restrições foi utilizado *steel deck* modelo MF75, marca Metform, com altura útil de 150mm, largura de 820mm, espessura 0,80mm, aço ZAR 280. O concreto empregado teve um f_{ck} de 30MPa e sua resistência nominal uniformemente distribuída foi considerando apenas

interação *steel deck* ao concreto, ou seja, nos cálculos não foram implementados armaduras negativas ou positivas.

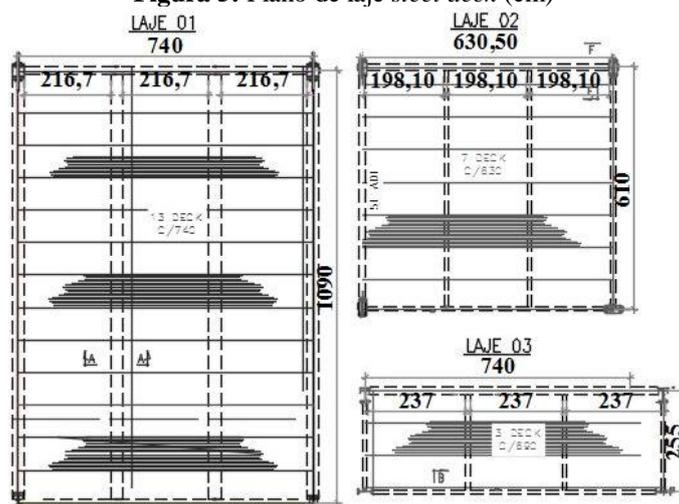
Figura 4: Tabela vãos máximos sem escoramentos laje *steel deck*

	Altura da laje (mm)	Espessura Telha-fôrma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)
			Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balaço (mm)		
Laje de	130	0.80	2,350	3,200	3,300	1,150	2.27	10.66
		0.95	3,000	3,650	3,750	1,350	2.28	11.34
		1.25	3,650	4,300	4,400	1,650	2.32	12.74
Laje de Piso	140	0.80	2,200	3,100	3,200	1,150	2.50	13.17
		0.95	2,850	3,500	3,600	1,350	2.52	13.99
		1.25	3,500	4,150	4,250	1,600	2.55	15.68
	150	0.80	2,000	3,000	3,100	1,100	2.74	16.06
		0.95	2,650	3,400	3,500	1,300	2.75	17.04
		1.25	3,400	4,000	4,100	1,550	2.79	19.05
	160	0.80	1,850	2,900	3,000	1,100	2.97	19.35
		0.95	2,500	3,300	3,400	1,250	2.99	20.51
		1.25	3,250	3,900	4,000	1,500	3.02	22.90
	170	0.80	1,700	2,800	2,900	1,050	3.21	23.07
		0.95	2,350	3,200	3,300	1,250	3.23	24.44
		1.25	3,150	3,800	3,900	1,450	3.26	27.24

Fonte: Adaptado de Metform S/A (2019)

Sobre a superfície da laje piso em ambas as análises, não foram considerados em seus cálculos cargas pontuais ou lineares (paredes). A laje mista, foi dimensionada sobre vigas metálicas e apresentou as seguintes dimensões: Área 01 com 80,66 m² apoiada sobre vigas a cada 2,17 metros, laje 2 com 38,49m² apoiadas sobre vãos a cada 1,98 metros e laje 3 com 18,87m² apoiada sobre vãos a cada 2,37 metros, conforme Figura 03.

Figura 5: Plano de laje *steel deck* (cm)



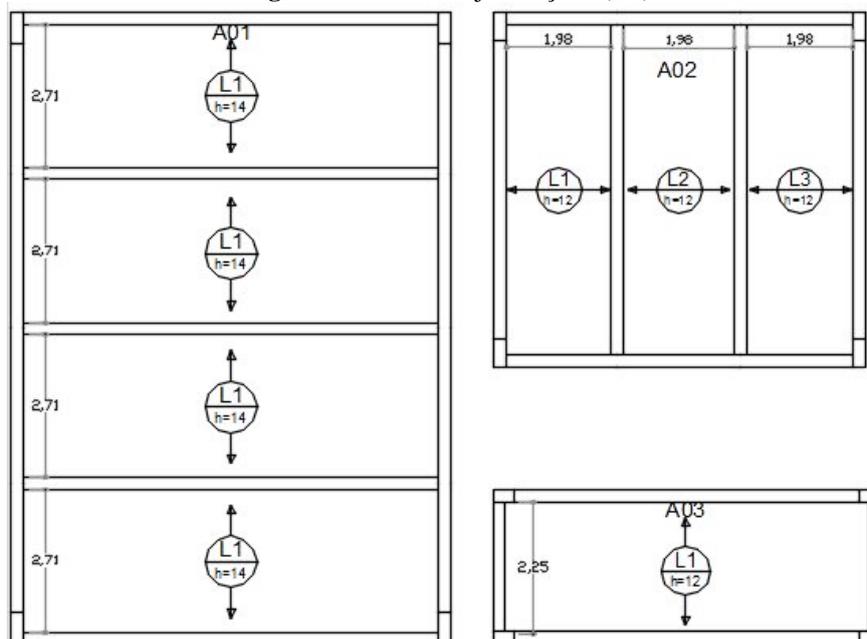
Fonte: Adaptado de Globsteel (2020)

Para análise em laje treliçada foi realizado em seus cálculos um dimensionamento, sobre vigas em concreto armado, no qual utilizou material inerte cerâmico, apoiados sobre vigotas treliçadas. O concreto utilizado para camada da superfície laje, assim como os vãos, lações dos pilares e solicitações, seguiram as mesma descritas para a laje mista.

Para análise da laje treliçada, foi utilizado em seus testes as vigotas treliçadas; TR10644, TR12645 e TR16745, da mesma forma o material inerte B8/25/20cm, B8/30/20cm e B10/30/20cm (bloco/altura /largura/comprimento). O plano de vigamento para todas as áreas foi realizado conforme orientação da normativa ABNT (2014) NBR6118. Do mesmo modo foi feito ajustes em suas seções transversais e f_{ck} do concreto para garantir o melhor comportamento estrutural da edificação.

Na área 01, foi necessário alterar o plano de vigas em sentido ao menor vão, ou seja na direção horizontal. Na área 02, foi mantido o mesmo plano de vigas. Já a área 03, não foi necessário a utilização de vigas intermediária como realizado no procedimento da laje mista. O plano de vigamento para cada área, pode ser verificado conforme Figura 03.

Figura 6: Plano de laje treliçada (cm)



Fonte: Próprio autor (2020)

Para evitar manifestações patológicas de fissuração do concreto, devido retração e fluência, nos dois tipos de laje foram adicionados malha de aço, sendo para laje *steel deck* aço CA-60, Q-75, bitola $\varnothing 3,8\text{mm}$ espaçadas a cada 15cm. Nas lajes treliçadas utilizou-se aço CA-60, bitola $\varnothing 4,2\text{mm}$ espaçadas a cada 10cm.

O dimensionamento das lajes treliçada, foi realizado com base nos procedimentos da ABNT (2014) NBR 6118 utilizando o software de cálculo estrutural EBERICK. Já a laje mista com forma de aço incorporada seguiu a metodologia do calculista Metform S/A, no qual adotou como base os procedimentos da ABNT (2008) NBR 8800.

Após os cálculos estruturais de cada tipo de laje, foi realizado uma análise para definição dos custos unitário de cada material empregado na composição das lajes treliçada e *steel deck*. Portanto, foi utilizado como referência as tabelas de insumos e serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente ao Estado do Mato Grosso com base em Maio de 2020. Neste as composições de custo para cada metodologia construtiva, procurou fazer uma comparação somente dos insumos na composição laje, no qual não foram considerados análise quantitativa tangente a racionalização do processo construtivo, prazos de execução, BDI (Benefício e despesas indiretas) e lei social. Portanto, foi quantificado para laje *steel deck*; o aço, o concreto e a forma de aço incorporada, já para laje treliçada; o aço, o concreto, as vigotas treliçadas e as lajotas cerâmicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as áreas analisadas no sistema *steel deck*, de acordo com os resultados apresentados pelo calculista Metform S/A, obteve-se um comportamento estrutural satisfatório, pois sua resistência atendeu suas solicitações, no qual estava prevista em $8,49\text{KN/m}^2$,

8,19KN/m² e 6,04KN/m² respectivamente para área 01, 02 e 03. Além dos cálculos apresentados na análise, o mesmo pode ser comparado no catálogo do fornecedor, por meio da altura da laje, modelo e vão, o que garante ainda mais a segurança dos usuários. Por meio da análise em catálogo verificou-se a laje poderia chegar a uma sobrecarga máxima para os vãos impostos em projeto de 11,48KN/m² para área 01, 14,46KN/m² para área 02 e 9,22KN/m² para área 03, esses resultados mostraram que a laje abrange grandes carregamentos sem muitas deformações.

Ao analisar a laje treliçada nas mesmas condições da laje mista, tornou-se necessário várias tentativas, pois em determinadas análises, o vão e o carregamento, dificultou o dimensionamento da estrutura, igualmente os cálculos das mesmas.

Portanto, na primeira tentativa da área 01, foi utilizado a mesma quantidade de vigamento da laje *steel deck*, porém em concreto armado, sendo disposta no sentido do menor vão em três painéis apoiados a cada 3,60m. Logo, foram utilizadas vigas para sustentação da laje com seção de 22x109cm no vão de 1090cm e 20x90cm no vão de 730cm, as vigotas utilizadas foram TR12645 e lajota cerâmica B8/30/20, com camada de concreto de 4cm. Os resultados não foram satisfatórios pois apresentava flechas excessivas de -4,61cm e -5,47cm. Sendo máximo permitido pela ABNT (2014) NBR6118 para aceitabilidade sensorial um deslocamento limite em L/250, ou seja para área 01, máximo aceitável é de -1,44cm.

Para tentar minimizar os efeitos de flexão, foi realizada uma segunda tentativa da mesma área analisada, dividindo-a em mais painéis, resultando em 4 painéis de lajes apoiados sobre vão de 2,71m. De acordo com Altoqi 2020, a diminuição do vão, tende a reduzir significativamente o efeito de flexão nas lajes. Portanto, as flechas reduziram para -2,01cm e -2,91cm localizados próximos as vigas de apoio. As deflexões nas lajes teve seu resultado influenciado pelo deslocamento provocado nas vigas, pois o sistema estrutural Eberick leva em consideração a rigidez do elemento de apoio ao elemento de superfície. Desta forma, para que a deslocabilidade das vigas de apoio tenha resultados positivos, seria necessário aumentar sua seção transversal.

Logo, a área 01 foi necessário um dimensionamento de viga principal de 115cm para não provocar deslocamento, o que atendeu as solicitações nas lajes, não provocando flechas excessiva. Porém a área 01 mesma tornou inviável a utilização da metodologia construtiva treliçada, uma vez que a mesma necessita de superdimensionamento dos elementos de sustentação, o que prejudica a estética arquitetônica da estrutura e eleva o custo da obra como um todo. Entretanto, fica como sugestão futura, uma análise com dimensionamento utilizando vigas principais protendida e laje treliçada com material inerte de EPS, o que pode aliviar as deformações provocadas por ações do peso próprio, carga acidental e distância do vão.

Para análise da área 02, pode-se dimensionar no mesmo plano de viga da laje *steel deck*. Para tanto, foram necessárias vigas transversais com seção de 22x75cm e as longitudinais com seção de 22x62cm, TR12645, enchimento B8/25/20cm e camada de concreto de 5cm. Nessas condições a laje apresentou flechas dentro do limite permitido $\leq 0,75$ cm, satisfazendo as condições. Na área 03, não necessitou de vigas intermediárias para sustentação, como utilizado na laje mista, pois em vãos pequenos a laje treliçada tem melhor desempenho. Sendo assim, a área 03 possui um único painel de laje sobre vigas de seção de 20x52cm, com vigotas TR10644, lajotas B8/25/20, com camada de concreto de 4cm, sobre vão de 2,25m. Sendo o suficiente para atender as solicitações.

Devido a inviabilidade construtiva da área 01 no sistema de laje treliçada, a comparação de custo entre os dois sistemas construtivos foi realizada apenas para a área 02 e 03, como demonstrados nas Tabela 2 (custo da laje *steel deck*) e Tabela 3 (custo da laje treliçada em lajota cerâmica).

Tabela 1: Custo laje *steel deck*

Área 02					
Item SINAPI-MT052020	Descrição	Quantidade	Un	Valor unitário (R\$)	Total R\$
21141	Armação aço CA60 Q-92 (tela para fissuração)	46,57	Kg	9,36	435,92
34494	Concreto usinado fck 30MPa	4,33	M³	359,99	1558,80
43126	<i>Steel Deck</i> MF-75	36,16	M²	65,16	2356,31
Custo total da laje					4351,04
Área 03					
Item SINAPI-MT052020	Descrição	Quantidade	Un	Valor unitário (R\$)	Total R\$
21141	Armação aço CA60 Q-92 (tela para fissuração)	20,52	Kg	9,36	192,08
34494	Concreto usinado fck 30MPa	1,91	M³	359,99	686,86
43126	<i>Steel Deck</i> MF-75	16,97	M²	65,16	1105,11
Custo total da laje					1984,05

Fonte: Própria do autor (2020).

Tabela 3: Custo laje treliçada em lajota cerâmica

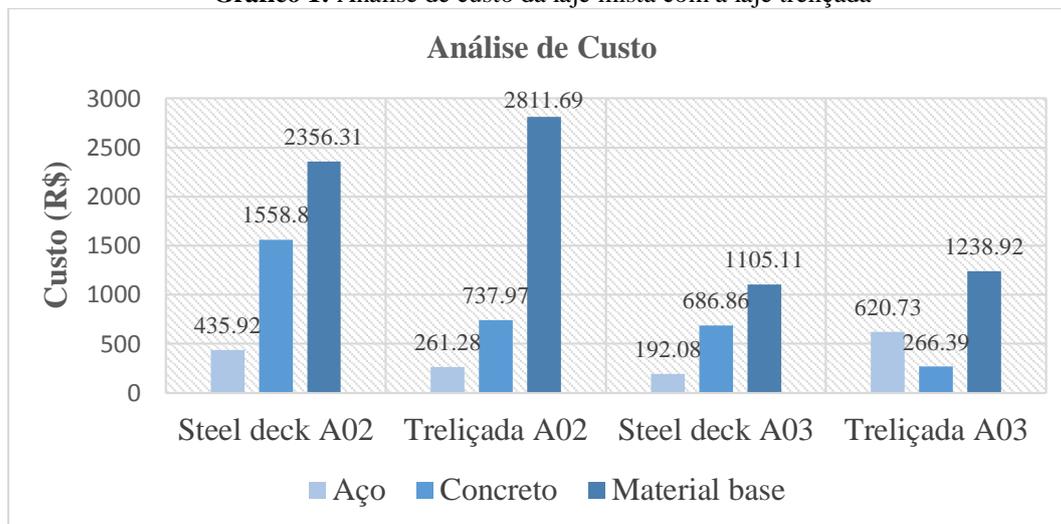
Área 02					
Item SINAPI-MT052020	Descrição	Quantidade	Un	Valor unitário (R\$)	Total R\$
43061	Armação aço CA-60	16,3	Kg	4,87	79,38
32	Armação aço CA-50	33,5	Kg	5,43	181,90
34494	Concreto usinado fck 30MPa	2,05	M³	359,99	737,97
3746	Vigotas + Lajotas	38,49	M²	73,05	2811,69
Custo total da laje					3810,94
Área 03					
Item SINAPI-MT052020	Descrição	Quantidade	Un	Valor unitário (R\$)	Total R\$
43061	Armação aço CA-60	24,1	Kg	4,87	117,37
32	Armação aço CA-50	92,7	Kg	5,43	503,36
34494	Concreto usinado fck 30MPa	0,76	M³	359,99	266,39
3746	Vigotas + Lajotas	16,96	M²	73,05	1238,92
Custo total da laje					2008,67

Fonte: Própria do autor (2020).

Ao analisar os resultados apresentados, pode-se perceber que o material base das lajes não são o fator que define a relação de custo, pois o valor da matéria prima da base *steel deck* (deck MF-75) possui uma economia de 12,10% em relação a base da laje treliçada (vigota + lajota), o que as torna relativamente próximas. Quanto a análise do aço, deve ser realizado

uma ponderação, pois na laje mista, o consumo de aço utilizado pra evitar efeito de retração do concreto é muito elevada em relação ao da laje treliçada, porem a mesma carece de outras armadura na qual a laje mista não necessita. Para tanto, ao fazer uma relação entre a soma total do aço utilizado na concepção das lajes na área 02 e 03, verificou-se que a laje treliçada eleva respectivamente 6,93% a 469,20% de consumo de aço utilizados na concepção das lajes, no qual pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Análise de custo da laje mista com a laje treliçada



Fonte: Própria do autor (2020).

O consumo de concreto é um dos fatores que mais influência no resultado final do custo das lajes, na qual está relacionado diretamente ao formato da base utilizada, onde a laje mista sai em desvantagem, pois seu formato trapezoidal necessita de elevado consumo de concreto, quando comparado ao da laje treliçada que possui sua base praticamente plana.

5. CONCLUSÃO

Conforme a análise para verificação de viabilidade construtiva e custo benefício, constatou-se que a laje treliçada quando submetida a um carregamento elevado, necessita de um arranjo estrutural muito reforçado, independentemente do vão. Pois as sobrecargas nas lajes causam deslocamentos nas vigas de sustentação, fazendo com que a mesma necessite de uma seção transversal maior. Além do carregamento, outro fator que acarretou a desvantagem desse sistema construtivo foi sua inviabilidade para vãos elevados, pois quanto maior o vão maiores são suas deformações.

A laje *steel deck* teve sua relação positiva no requisito resistência, uma vez que nos cálculos não teve limitações quanto ao vão e carregamentos, deixando apenas a desvantagem no consumo de concreto, tornando seu custo mais elevados em áreas maiores.

Desta forma, foi possível concluir que para vãos grandes a laje *steel deck* é a mais indicada independentemente do seu custo, já que para a área 01 (maior vão) na qual a laje treliçada foi inviabilizada, a mesma ainda resiste a uma sobrecarga de 35,21% a mais que o necessário. Já para áreas médias como é o caso da área 02, a laje treliçada tem uma vantagem de 14,17% em relação ao custo da laje mista e em área pequenas visto área 03, seus valores são praticamente os mesmos, obtendo apenas uma diferença de 1,20% de economia para laje mista. Embora não mensurado, independente da dimensão das lajes, deve ser levado em consideração o tempo de execução, mão de obra, escoramentos, vigamentos, pilares, armaduras e disponibilidade do material, que pode influenciar diretamente na escolha do tipo de laje empregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 14762**: Dimensionamento de estrutura de aço constituídas por perfis formado a frio, Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 8800**: Projetos de estrutura de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios, Rio de Janeiro, 2008.

BALBINOTTE, D; CARLESSO, L. B; DITZ, J. D. Análise das tipologias de lajes mais utilizadas por construtoras na cidade de Marau – RS. **Ignis**, v.06, n.02, Caçador, 2017. Disponível em: <http://45.238.172.12/index.php/ignis/article/view/1292/710>. Acesso em: 20 de março 2020.

CARDOSO, E. L; GODINHO, D. S. S. Estudo do dimensionamento de lajes maciças para análise de custo x benefício para fins de utilização em habitação residencial – estudo de caso. **Repositório UNESC**, Criciúmas, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4963/1/EduardoLeffaCardoso.pdf>

FERNANDO, N. S. O; BROGIATTI, R. F. L. Análise comparativa entre laje nervurada em concreto armado e concreto protendido. **Repositório UFGD**, Dourados, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2356>. Acesso em: 20 de março 2020.

LIMA, Y. D. C. **Alternativa de sistemas de laje para edifício em aço: Um estudo comparativo**. Orientador(a): Alex Sander Clemente de Souza. 2009. 125f. Dissertação (Mestre em Construção Civil) – Universidade federal, UFSCAR, São Carlos, 2009. Versão eletrônica.

LIMA, Y. D. C; SOUZA, A. S. C. Alternativa de sistemas de laje para edifício em aço: Um estudo comparativo. **Revista Construção Metálica**, São Paulo, Ed. 100, 2010. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/biblioteca-digital.php?tipo=revista-construcao-metalica&pagina=3> Acesso em: 12 de abril de 2020.

MARCOS, L. K. **Sensibilidade a vibrações de pavimentos com lajes alveolares**. Orientador(a): Ricardo Carrazedo. 2015. 136f. Dissertação (Mestre em Ciências no programa de Engenharia de Estrutura) – Universidade federal, UFSCAR, São Carlos, 2015. Versão eletrônica.

MENDES, L. F; TURIBUS, S. N; SILVA, C. S. Confiabilidade nas projeções orçamentárias aplicadas na construção civil com a utilização de modelagens matemáticas, **UNIBALSAS**, Maranhão, v.07, n1, 2016. Disponível em: <https://www.unibalsas.edu.br/revista/index.php/unibalsas> Acesso em: 20 abril 2019.

OLIVEIRA, L. A. M. **Comportamento em serviço de laje mista de aço e concreto ao longo do tempo**. Orientador(a): Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs. 2019. 250f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Escola de Engenharia, USP, São Carlos, 2019. Versão impressa e eletrônica.

PEREIRA, J. P; MAÇANEIRO, L. C. Relato de experiência: viabilidade econômica de lajes nervuradas em concreto armado. **Ignis**, v.05, n.01, Caçador, 2016. Disponível em: <http://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1098/518>. Acesso em: 20 de março de 2020.

SALOMÃO, P. E. A; SANTOS, A. A; LORENTZ, L. P. A; PAULA, L. T. G. Sistema misto Steel deck e suas aplicações na construção civil, **Research, Society and Development**, Brasil, v.8, 2019. Disponível em: <https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/1364>. Acesso em: 20 abril 2020.

SANTOS, R. C. Energia incorporada na fase de pré-uso: comparação entre as lajes steel deck e maciças, **Ambiente construído**, Porto Alegre, v.19, n03, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678 Acesso em: 16 de abril de 2020.

TORRES, A. P. V. **Contribuição ao dimensionamento de lajes treliçadas em concreto pré-fabricado**. ORIENTADOR(a): Armando Lopes Moreno Junior. 2018. 102f. Dissertação (Mestra em Engenharia Civil) - Universidade estadual de campinas, Unicamp, Campinas, 2018. Versão eletrônica.

VAKIL, M. D. **Investigations on flexural capacity of steel concrete composite deck with diverse bond patterns**. Orientador(a): Harshvadan S. Patel. 2017. 16f. Tese (Doutor em Filosofia) - Gujarat Technological University, GTU, Índia, 2017. Versão eletrônica.

VIZOTTO, I; SARTORTI, A. L. Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas pré-moldadas: Análise comparativa, **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, São Paulo, n15, p.19-28, 2010. Disponível em: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N15.pdf Acesso em: 18 de abril de 2020.