

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CAIO FELIPE DE PAULA AMARAL

MATHEUS ALVES RIOS DE SOUSA

**ANÁLISE DO USO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* EM
ESTRUTURAS METÁLICAS**

ANÁPOLIS / GO

2019

**CAIO FELIPE DE PAULA AMARAL
MATHEUS ALVES RIOS DE SOUSA**

**ANÁLISE DO USO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* EM
ESTRUTURAS METÁLICAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: MSc. ROGÉRIO SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

AMARAL, CAIO FELIPE DE PAULA/ SOUSA, MATHEUS ALVES RIOS DE

Análise do uso de lajes mistas *steel deck* em estruturas metálicas

84P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Steel Deck | 2. NBR 8800 |
| 3. Lajes Mistas | 4. Dimensionamento |
| I. CARDOSO, Rogério Santos | II. Lajes mistas <i>steel deck</i> em estruturas metálicas |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, Caio Felipe de Paula; SOUSA, Matheus Alves Rios de. Análise do uso de lajes mistas *steel deck* em estruturas metálicas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 84p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Caio Felipe de Paula Amaral

Matheus Alves Rios de Sousa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Análise do uso de lajes mistas *steel deck* em estruturas metálicas

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Caio Felipe de Paula Amaral

E-mail: caiofelipegpi@gmail.com


Matheus Alves Rios de Sousa

E-mail: matheus.sousa914@gmail.com

**CAIO FELIPE DE PAULA AMARAL
MATHEUS ALVES RIOS DE SOUSA**

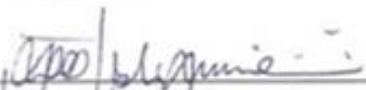
**ANÁLISE DO USO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* EM
ESTRUTURAS METÁLICAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL**

APROVADO POR:



**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**JOÃO SILVEIRA BELÉM JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADORA INTERNA)**

ANÁPOLIS/GO, DEZEMBRO de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades na minha vida e por me dar força e saúde para concluir este trabalho e o ensino superior.

Agradeço aos meus pais, Marcelo e Ana e minha irmã, Isabella, por me incentivarem a terminar a faculdade e por todo o apoio enquanto estive longe de casa. Também as minhas avós Ivone e Nazaré por toda educação e amor que me deram quando criança. Em memória dos meus avôs Francisco e Gentil, que me ensinaram muito sobre a vida desde pequeno.

Agradeço a todos os professores da UniEvangélica pelo conhecimento compartilhado.

Caio Felipe de Paula Amaral

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de realizar esta graduação e por ter me dado forças durante toda essa jornada, e ao meu parceiro de TCC Caio Felipe por ter tido paciência e me encorajado nos momentos mais difíceis e que sem ele não teria chegado até aqui.

Matheus Alves Rios de Sousa

RESUMO

Construir de modo ágil, seguro, econômico e sustentável, são os principais objetivos atuais do mercado nacional e mundial de construção civil. Um conceito que engloba todos estes fatores, iniciado no Estados Unidos na década de 1950, utiliza as lajes *steel deck*, também chamadas de lajes mistas. Consiste em um sistema de alta praticidade, composto por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto, onde a malha metálica serve como fôrma para a concretagem e também funciona como armadura positiva da laje, este fator ocasiona em uma diminuição, ou até mesmo, dispensa o uso de escoras durante a obra. Em conjunto com estruturas metálicas, este conceito otimiza o tempo gasto em obras de grande porte e de múltiplos andares. O objetivo principal deste estudo é apresentar a eficácia em relação ao tempo, custo-benefício e sustentabilidade do sistema *steel deck* com estruturas em aço nas obras, em comparação a outros sistemas de lajes utilizados nas estruturas em aço no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE:

Lajes; *Steel Deck*; estruturas metálicas; aço.

ABSTRACT

Build in an agile, safe, economical and sustainable way, are the main current objectives of the national and world market of civil construction. A concept that encompasses all these factors, started in the United States in the 1950s, uses Steel Deck slabs, also called Mixed Slabs. It consists of a system of high practicality, composed of a galvanized steel tile and a layer of concrete, where the metallic mesh serves as a form for concreting and also works as a positive reinforcement of the slab, this factor causes in a decrease, or even, does not require the use of struts during the work. Together with metal structures, this concept optimizes the time spent on large and multi-storey works. The main objective of this study is to present the time, cost-benefit and sustainability advantages of the Steel Deck system in the work, compared to other slab systems used in steel structures in Brazil.

KEYWORDS:

Slab; Steel Deck; Steel structures; Steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779.....	17
Figura 2- Aeroporto Internacional de Brasília.....	18
Figura 3- Estados com unidades.....	19
Figura 4 - Técnica de içamento ideal pelo centro de gravidade da peça.	25
Figura 5 - Principais tipos de produtos laminados de utilização estrutural.....	27
Figura 6 - Perfis I e H.....	28
Figura 7- Cantoneira "L", pilar x viga.....	29
Figura 8 - Perfis de chapa dobrada.....	30
Figura 9 - Perfis Soldados.....	30
Figura 10 - Laje steel deck.....	35
Figura 11 - Detalhe de uma laje mista após a cura do concreto.....	36
Figura 12 - Fôrma reentrante.....	37
Figura 13 - Modelo MF 75.....	37
Figura 14 - Modelo MF 50.....	38
Figura 15 - Conectores stud bolts.....	39
Figura 16 - Steel deck em edifício de múltiplos andares.....	40
Figura 17 - Fabricantes de steel deck e telhas de aço por região.....	43
Figura 18 - Painéis posicionados e alinhados.....	46
Figura 19 - Cortes para ajustes das peças ao redor dos pilares.....	46
Figura 20 - Stud bolts.....	47
Figura 21 - Malha metálica.....	48
Figura 22 - Concretagem da laje.....	48
Figura 23 - Tensões para momento positivo - linha neutra acima da fôrma de aço.....	54
Figura 24 - Tensões para momento positivo - linha neutra na fôrma de aço.....	55
Figura 25 - Largura plana dos elementos da fôrma.....	56
Figura 26 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto.....	57
Figura 27 - Perímetro crítico para punção.....	61
Figura 28 - Distribuição das cargas concentradas ou lineares.....	65
Figura 29 - Armadura de distribuição.....	66
Figura 30 - Pavimento modelo (dimensões em mm).....	68
Figura 31 - Modelo de fôrma MF-50.....	69
Figura 32 - Distribuição de cargas.....	70

Figura 33 - Diagrama esforço cortante (kN)	70
Figura 34- Diagrama momento fletor	70
Figura 35 - Dimensões e propriedades físicas da fôrma MF-50.....	71
Figura 36 - Dimensões MF-50	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas por estado.....	19
Tabela 2 - Fabricantes por estado e região	20
Tabela 3 - Chapas grossas e finas	28
Tabela 4 - Deslocamentos Elásticos em Vigas.....	62
Tabela 5 - Verificação momento fletor.....	78
Tabela 6 - Verificação cisalhamento longitudinal.....	78
Tabela 7 - Verificação cisalhamento vertical	79
Tabela 8 - Verificação deslocamento máximo	79
Tabela 9 - Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas METFORM MF 50	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de aço disponíveis no Brasil.....	26
Quadro 2 - Propriedades físicas da fôrma MF-50	71
Quadro 3 - Dados dos modelos e resultados dos ensaios	73
Quadro 4 - Determinação dos parâmetros m e k	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCEN	Associação Brasileira da Construção Metálica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBCA	Centro Brasileiro de Construção em Aço
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DIN	<i>Deutsche Industrie Normen</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDA	Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço
NBR	Norma Brasileira
PPCI	Plano de Prevenção contra Incêndio
SDI	<i>Steel Deck Institute</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA	14
2 ESTRUTURAS METÁLICAS	16
2.1 HISTÓRICO	16
2.1.1 Histórico no Brasil	17
2.1.2 Cenário Brasileiro Atual	18
2.2 PROCESSO EXECUTIVO.....	21
2.2.1 Projetos	21
2.3 TIPOS E FORMAS DE AÇO PARA ESTRUTURAS	25
2.3.1 Tipos	25
2.3.2 Formas do aço	26
2.3.3 Ligação de peças metálicas	31
2.3.4 Vantagens e Desvantagens do uso do Aço	31
3 LAJE STEEL DECK	34
3.1 HISTÓRICO	34
3.1.1 Histórico no Brasil	34
3.2 DEFINIÇÃO	35
3.3 CARACTERÍSTICAS	37
3.3.1 Modelos de fôrma	37
3.3.2 Especificações e Cuidados	38
3.3.3 Componentes adicionais	40
3.3.4 Uso e limitações	40
3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	41
3.5 MATERIAIS	43
3.5.1 Telha-Fôrma	43
3.5.2 Concreto	44

3.5.3	Armadura antifissuração.....	44
3.6	PROCESSO EXECUTIVO.....	44
3.6.1	Etapas de execução.....	45
3.6.2	Manutenção.....	49
3.7	NORMAS.....	49
4	DIMENSIONAMENTO <i>STEEL DECK</i>.....	51
4.1	VERIFICAÇÕES E PARAMÊTROS.....	52
4.1.1	Verificação da forma de aço na sua fase inicial.....	52
4.1.2	Verificação da laje na fase final.....	52
4.1.3	Ações.....	62
4.1.4	Disposições construtivas.....	63
4.1.5	Verificação da laje para cargas concentradas ou lineares.....	64
4.1.6	Aços utilizados para fôrma e revestimento.....	67
5	DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA MODELO.....	68
5.1	VERIFICAÇÕES.....	72
5.1.1	Momento fletor.....	72
5.1.2	Cisalhamento longitudinal.....	73
5.1.3	Cisalhamento vertical.....	75
5.1.4	Deslocamento máximo.....	77
6	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	78
7	CONCLUSÃO.....	80
8	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

No ramo da construção civil utiliza-se basicamente três principais materiais: aço, concreto e madeira. No Brasil o concreto armado é o mais utilizado, porém estruturas metálicas tendem a ganhar cada vez mais espaço, principalmente por ter menor tempo de execução e permitir projetos mais complexos como obras de grande porte. Além disso possibilita maiores facilidades no canteiro de obras e tem, pelo aço ser um material reciclável, característica sustentável. Outro fator que qualifica o material é que as estruturas em aço são fabricadas diretamente nas indústrias, onde as mesmas chegam prontas nas obras, o que garante um melhor controle de qualidade das peças e as torna mais confiáveis.

O metal não deve ser visto como antagônico ao concreto, na realidade eles podem trabalhar juntos, nas chamadas estruturas “mistas”. A laje *steel deck*, é uma solução mista de concreto e aço, também conhecida por laje com fôrma colaborante. Neste tipo de estrutura, as fôrmas são chapas de aço perfiladas e atuam como molde no momento da execução da laje e como armadura positiva após a cura do concreto.

O sistema de lajes mistas é constituído basicamente por chapas de aço galvanizado em formato trapezoidal, concreto de resistência mínima à compressão e malha antifissuração (tela soldada). Para que o conjunto funcione adequadamente, os perfis têm na superfície ranhuras e reentrâncias (há especificidades dependendo do fabricante), destinadas a favorecer sua adesão com o concreto. Em alguns casos, pode haver necessidade de adicionar armaduras ao sistema para ampliar a resistência da laje (SILVA, 2014).

O *steel deck*, constitui com a estrutura metálica, um sistema construtivo de alta eficiência, o que permite o seu uso em grandes obras, como shoppings, edifícios comerciais, hotéis, hospitais, conjuntos habitacionais, garagens e também edifícios industriais em geral. Ele proporciona uma maior segurança devido ao fato de as telha-fôrma funcionarem como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores.

Segundo o CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço) (2016), em vigor desde outubro de 2015, a Norma Brasileira (NBR) 16.421, estabelece os requisitos e ensaios aplicados às telhas fôrma colaborantes para laje mista de aço e concreto, sistema *steel deck*. Inédito no Brasil, o texto traz recomendações que podem garantir a padronização dos produtos, assegurando sua qualidade e segurança.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nos dias atuais, a busca por tecnologias inovadoras é cada vez maior e o método construtivo com laje *steel deck*, quando bem planejado e executado, serve como solução para problemas como: tempo de execução da obra, restrições no espaço de canteiro e peso próprio da estrutura, como ela é mais leve, constata-se economia também nos projetos de fundação. A diminuição da quantidade de escoras ou até a eliminação das mesmas, libera os pisos inferiores para outras atividades, ao contrário do que acontece em lajes de concreto convencionais onde deve-se esperar o tempo de pega do mesmo. O manuseio, descarga e armazenamento das peças desse sistema, é feito de forma simples e ágil, onde não é necessário o uso de equipamentos especiais, pois é um produto com menor peso.

Além disso, do ponto de vista sustentável, a laje com fôrma colaborante é uma opção inovadora, pois não se gera entulhos e há pouca sobra de materiais. No caso da fôrma em si, ela não é descartada pois serve como armadura negativa da laje.

Portanto, este estudo das lajes mistas permite ilustrar a trabalhabilidade produzida pelo sistema, o qual acelera e oferece maior praticidade no andamento da obra. O uso deste conceito, apesar de novo no Brasil, se mostra muito utilizado em países desenvolvidos e pode ser mais difundido no território brasileiro.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram divididos em: objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Exibir o método construtivo baseado em lajes mistas, *steel deck*, em estruturas metálicas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Demonstrar, de forma correta, o uso e execução do *steel deck* em conjunto com as estruturas em aço;

- Apresentar as principais características, formas de transporte, detalhes, processos executivos e materiais utilizados para a aplicação destes sistemas construtivos;
- Expor as suas principais vantagens e desvantagens;
- Exibir um modelo de dimensionamento.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho de conclusão foi baseada nos seguintes tópicos:

- Manuais Técnicos e Catálogos de fabricantes;
- Artigos e revistas de construções em aço;
- Principais normas técnicas como a NBR 16.421:2015 – Telha-fôrma de Aço Colaborante para Laje Mista de Aço e Concreto – Requisitos e Ensaio e NBR 8.800:2008 – Projeto de Execução de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios;
- Notícias e pesquisas dos principais institutos de construções em aço do Brasil.

1.4 ESTRUTURA

A organização do trabalho foi dividida em 8 capítulos, onde no capítulo 1 é apresentado a introdução, justificativa, objetivo geral e objetivos específicos, assim como a metodologia e estrutura usada para elaborá-lo. No capítulo 2 aparece o histórico, definição, processo executivo e tipos de aço das estruturas metálicas. Além disso, ilustra o histórico brasileiro e o cenário atual do país para este tipo de estrutura, descreve as principais formas estruturais de aço e como é feita as ligações entre as mesmas. As vantagens e desvantagens desse sistema construtivo também são citadas nesta etapa. No capítulo 3 é apresentado o embasamento teórico da laje *steel deck*, dividido em histórico, definição, características, materiais, procedimentos utilizados para a execução e as normas técnicas utilizadas atualmente, além de citar também as suas principais vantagens e desvantagens. Nesta divisão também pode-se observar o histórico no Brasil e os modelos de formas aqui utilizados, além das especificações e cuidados com a telha-fôrma. As fôrmas de uso, limitações, assim como alguns componentes adicionais que possam ser utilizados. No capítulo 4, é apresentado o

referencial teórico para o dimensionamento de lajes mistas, baseado em normas técnicas brasileiras, principalmente a NBR 8800:2008, onde apresenta as principais verificações para utilizar este método construtivo. Um painel de lajes é dimensionado no capítulo 5 como estrutura modelo, baseado nas verificações e normativas do capítulo anterior. No capítulo 6 encontra-se a análise dos dados e resultados do dimensionamento. A conclusão do trabalho encontra-se no capítulo 7, onde é abordada as resultantes obtidas pela realização deste trabalho e também é apresentada uma sugestão para trabalhos futuros. As referências bibliográficas aparecem no capítulo 8. Após todos os capítulos, no Anexo A, encontra-se o catálogo do fabricante utilizado para o modelo de dimensionamento.

2 ESTRUTURAS METÁLICAS

Estrutura metálica é um componente estrutural cuja seção é produzida essencialmente pela associação de peças de aço. Este é formado principalmente por ferro e carbono e sua resistência depende da quantidade de carbono usado. Conforme Pfeil (2008), “o carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais dúcteis.” Portanto, é de grande importância um correto dimensionamento e definição do aço a ser utilizado na estrutura.

De acordo com Bonafé (2014), usadas tanto em edificações urbanas quanto em grandes pontes e estádios de futebol, as estruturas metálicas conferem maior produtividade e velocidade construtiva aos projetos. Comparadas com processos convencionais, como o de alvenaria, podem reduzir em até 40% o tempo de execução da obra.

Por interagir com outros materiais, o aço (material das estruturas metálicas) não deve ser julgado como antagônico ao concreto. De fato, eles podem aplicados em conjunto nas chamadas estruturas “híbridas” ou “mistas”, onde as qualidades de cada elemento serão aproveitadas em conjunto.

2.1 HISTÓRICO

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil, até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade.

Das primeiras obras - como a Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779 (Figura 1) - aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas metrópoles, a arquitetura em aço sempre esteve ligada à ideia de modernidade e inovação, retratada em obras de grande representação arquitetônica e que repetidamente traziam o aço aparente.

Figura 1 – Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779



Fonte: Structurae, 2015.

2.1.1 Histórico no Brasil

As construções em aço no Brasil, possuem história recente. “Foi no final do século XIX e início do século XX que o aço começou a ser utilizado, mas ainda na forma de estruturas pré-fabricadas importadas para atender à demanda crescente por pontes e edifícios” (INABA; COELHO, 2015, p. 58). O aço importado só passou a ser substituído pelo produto de fabricação nacional, a partir do início do funcionamento da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), a primeira siderúrgica integrada instalada no país, em 1946 (INABA; COELHO, 2015).

A princípio, contudo, o aço produzido no Brasil tinha como destino prioritário o setor industrial, que crescia com vigor impulsionado pela ênfase na política de substituição de importações e pelo crescimento do setor automotivo. Assim, desde o início do século passado, a construção civil no Brasil se desenvolveu privilegiando o concreto e a alvenaria, tendo como característica o uso intensivo de mão de obra, principalmente a de baixa qualificação. Mesmo recentemente, como no período entre 1980 e 2004, este conservadorismo se manteve e foi reforçado, provavelmente devido às baixas taxas de crescimento do setor da construção, que atingiram média de apenas 0,5% anual no período (INABA; COELHO, 2015, p. 58).

De acordo com Faleiros, Teixeira Júnior e Santana (2012), a indústria de estruturas metálicas, largamente difundida em países como Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha há décadas, vem mostrando um grande crescimento no Brasil nos últimos anos. O consumo de aço atribuído às estruturas metálicas passou de 324 mil toneladas em 2002 para 1,6 milhão de toneladas em 2009, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e os desembolsos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

(BNDES) destinados a empresas do setor saltaram de cerca de R\$ 6 milhões em 2001 para mais de R\$ 156 milhões em 2010.

Segundo Bonafé (2014), as estruturas de grande porte, construções industriais e obras especiais foram responsáveis por 79,3% da produção total de estruturas metálicas em 2013. A porcentagem de aproveitamento destas estruturas em projetos médios e pequenos é de 11,5% e 9,2%, respectivamente. O Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente Juscelino Kubitschek (Figura 2), é um exemplo atual de obra de arte que utilizou estruturas em aço na sua construção.

Figura 2- Aeroporto Internacional de Brasília



Fonte: CPC Estruturas, 2011.

2.1.2 Cenário Brasileiro Atual

2.1.2.1 Indústria do aço

Segundo o Instituto Aço Brasil (2015), a indústria do aço no Brasil é formada por 14 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e operando 29 usinas (Tabela 1) distribuídas por 10 estados brasileiros (Figura 3), levando o país a ocupar a 9ª posição no ranking da produção mundial.

A privatização das empresas, finalizada em 1993, ocasionou ao setor grande acúmulo de capitais, em composições acionárias da maior diversidade. Assim, muitas empresas produtoras passaram a integrar grupos industriais e/ou financeiros cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades relacionadas, ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

Figura 3- Estados com unidades



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2015.

Tabela 1 - Usinas por estado

BAHIA	PARANÁ
Gerdau Aços Longos (Usina Usiba)	Gerdau Aços Longos (Usina Araucária)
CEARÁ	PERNAMBUCO
Gerdau Aços Longos (Usina Cearense)	Gerdau Aços Longos (Usina Açonorte)
ESPÍRITO SANTO	RIO DE JANEIRO
ArcelorMittal Aços Planos (Tubarão)	ArcelorMittal Sul Fluminense (Barra Mansa)
MINAS GERAIS	ArcelorMittal Sul Fluminense (Resende)
Aperam South American	Gerdau Aços Longos (Usina Santa Cruz)
Gerdau Aços Longos e Planos (Usina Ouro Branco)	Ternium Brasil
ArcelorMittal Aços Longos (Monlevade)	RIO GRANDE DO SUL
ArcelorMittal Aços Longos (Juiz de Fora)	Gerdau Aços Especiais (Usina Charqueadas)
Gerdau Aços Longos (Usina Barão de Cocais)	Gerdau Aços Longos (Usina Riograndense)
Gerdau Aços Longos (Usina Divinópolis)	SÃO PAULO
Grupo Usiminas (Ipatinga)	Gerdau Aços Especiais (Usina Pindamonhangaba)
Vallourec Soluções Tubulares do Brasil (Usina Barreiro)	Gerdau Aços Especiais (Usina Mogi das Cruzes)
Vallourec Soluções Tubulares do Brasil (Usina Jeceaba)	ArcelorMittal Aços Longos (Piracicaba)
PARÁ	Usiminas (Cubatão)
Sinobras	Gerdau Aços Longos (Usina São Paulo)
	Gerdau Aços Longos (Usina Araçariguama)
	Villares Metals

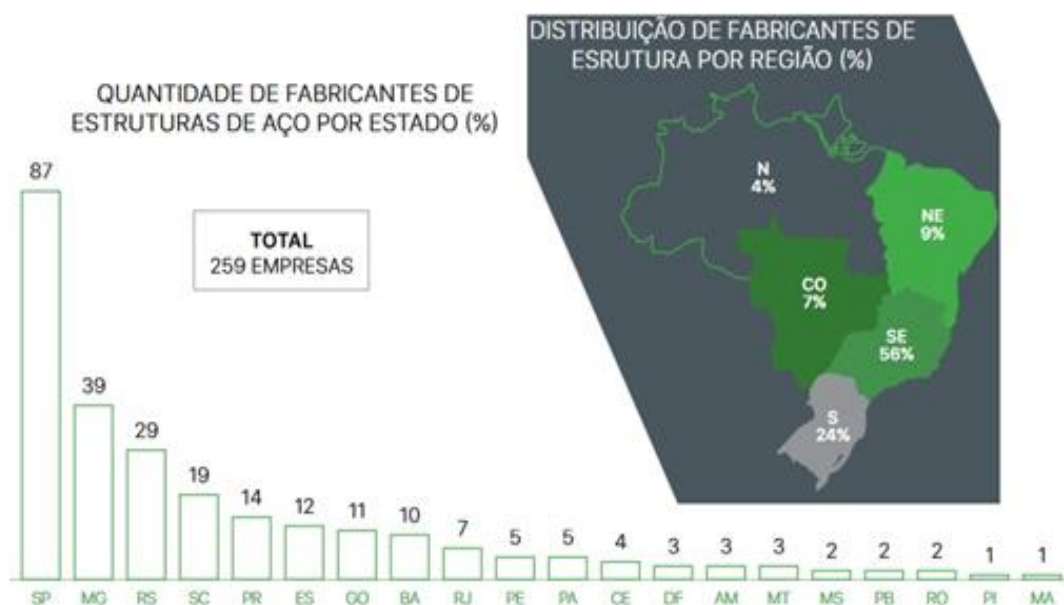
Fonte: Próprios Autores, 2019.

2.1.2.2 Localização dos Fabricantes

Desde 2011, o CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) com o apoio da Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCCEM), realiza estudos com os fabricantes de estruturas em aço (incluindo torres de transmissão) para traçar um panorama do segmento e acompanhar sua evolução. A edição 2018 conta também com o apoio do Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço (INDA) e apresenta os resultados de 306 empresas no ano de 2017.

Segundo o estudo todas as regiões do país possuem fabricantes de estruturas de aço (Tabela 2), havendo uma presença maior na região Sudeste, com mais de 50% das empresas. O estado de São Paulo concentra mais de 1/3 dos fabricantes pesquisados.

Tabela 2 - Fabricantes por estado e região



Fonte: Cenário dos Fabricantes de Estruturas em Aço – CBCA, 2018.

2.1.2.3 Faturamento

Das empresas pesquisadas, todas declararam o faturamento bruto da empresa em 2017. A partir deste dado foi perguntado o percentual do faturamento destinado para a fabricação de estruturas de aço, chegando a um valor anual de R\$ 4,4 bilhões. Este montante representa quase 73% do faturamento bruto total no ano de 2017 das empresas pesquisadas (CBCA, 2018).

2.2 PROCESSO EXECUTIVO

A cadeia de produção de uma estrutura em aço, de acordo com o CBCA (2015), é dividida nas etapas:

- Elaboração do projeto básico;
- Projeto estrutural;
- Projeto de fabricação (detalhamento);
- Aquisição de matéria-prima e insumos;
- Fabricação;
- Limpeza e proteção;
- Transporte;
- Montagem.

2.2.1 Projetos

As estruturas de aço são formadas por um grupo de peças, que, quando ligadas, constituem um conjunto que dá sustentação à construção. O primeiro passo para o desenvolvimento das estruturas são os projetos, fundamentais para a fabricação e a montagem das peças. Em geral, os projetos são divididos em quatro níveis: básico, estrutural, projeto de fabricação e diagrama de montagem (CBCA, 2015).

Os projetos realizados com estruturas de aço, devem ser elaborados de acordo com a NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2008).

2.2.1.1 Projeto básico

“Mostra em linhas gerais a concepção básica adotada para a estrutura, com representação unifilar, sem o dimensionamento dos elementos” (PINHO, 2005, p. 16).

Nas estruturas metálicas, quatro projetos, principalmente, irão ter condições diferentes de outros sistemas construtivos. Conforme Pereira (2018), um deles é o arquitetônico, que deve analisar as condições e locais onde haverá peças aparentes. Outro é o Plano de Prevenção contra Incêndio (PPCI), pois o comportamento ao fogo do concreto armado, madeira, estrutura metálica e quaisquer materiais distintos também será diferenciado.

2.2.1.2 Projeto estrutural

Segundo Pereira (2018), o terceiro projeto que pode ser apontado é o estrutural. A modelagem irá seguir os conceitos da análise estrutural, mas o projetista deverá avaliar as cargas de projeto previstas em norma específica, ligações e seções disponíveis no mercado. Por último se pode citar o orçamento e planejamento do empreendimento de construção civil. O cronograma, a alocação de mão-de-obra e de recursos físicos irão sofrer alterações em função da tecnologia construtiva adotada. O engenheiro responsável pelo planejamento precisará fornecer um detalhamento completo aos fornecedores, escolhendo-os após pesar custos de fornecimento do material e transporte, que podem ser elevados em função do volume de material e distância entre fornecedor e canteiro.

Os projetos básicos estruturais dão continuidade ao projeto arquitetônico, calculando-se os elementos de sustentação, indicando as dimensões das vigas, pilares e lajes, especificando as ligações principais, os tipos de aços, concreto, cargas de fundação, especificação dos tipos de ligações soldadas e parafusadas, tipo de revestimento protetor. Nesta fase é definida também a vida útil de projeto, com uma aproximação da durabilidade desejada pelo usuário, representando uma expressão de caráter econômico e uma exigência do usuário, contemplando custos iniciais, custos de operação e de manutenção ao longo do tempo (COSTA, 2013, p. 1).

Conforme Costa (2013), estes projetos são de grande importância, acaso aconteça alguma falha de informação, prejuízos econômicos ao fabricante e a construtora podem acontecer e, conseqüentemente, patologias podem surgir durante o andamento da obra e também após a sua conclusão.

2.2.1.3 Projeto de fabricação (detalhamento)

Segundo o CBCA (2015), o projeto de fabricação, baseado nos projetos básico e estrutural, é elaborado para atribuir a fábrica todas as informações para o desenvolvimento da estrutura.

Conforme Pinho (2005), são desenhos de cada peça que compõem a estrutura, o dimensionamento das ligações entre elas, os materiais básicos utilizados e as listas de materiais com os pesos. Alguns elementos podem aparecer em listas separadas, como os parafusos, telhas e acessórios que eventualmente não constam no peso da obra. Normalmente, a área da superfície a ser pintada também será fornecida nos desenhos.

2.2.1.3.1 *Aquisição de matérias primas*

Além disso, antes de começar a fabricação, o fornecedor deve providenciar a matéria-prima e os insumos conforme a lista de materiais. Estando todos os suprimentos disponíveis, o fabricante dá início aos seus trabalhos (PINHO, 2005).

2.2.1.4 *Fabricação*

Basicamente, conforme Pinho (2005), a fabricação será a transformação dos materiais em peças através das operações básicas de fabricação: corte, dobra, furação, soldagem entre outros. Em geral, segundo o CBCA (2015), estes processos são automatizados, realizados em máquinas com CNC (*Computer Numerical Control*), o que garante geometria e acabamento perfeitos.

2.2.1.4.1 *Limpeza e proteção*

“Em seguida, há o tratamento anticorrosivo, que visa a interpor uma barreira entre o meio externo e o aço, a fim de retardar o processo de corrosão. Os principais tipos de tratamento são a galvanização e a pintura” (CBCA, 2015). Conforme Pinho (2005), a galvanização é a aplicação de uma camada de zinco na superfície da peça, metal este muito mais estável que o aço carbono. Tal procedimento é normalmente mais caro que a pintura e é recomendado nos casos onde o meio é muito agressivo, a manutenção é difícil, e o tamanho das peças permitirem. Nos casos mais gerais, a pintura é aplicada.

Ainda segundo Pinho (2005), a pintura de base de proteção anticorrosiva poderá ser realizada logo após a fabricação. A pintura de acabamento, quando aplicável, poderá ocorrer:

- Antes da liberação para embarque das estruturas, no interior da fábrica;
- No canteiro de obras, antes da montagem;
- No canteiro de obras, após a montagem e antes das obras civis;
- No canteiro de obras com a estrutura totalmente montada e após as obras civis como lajes ou alvenarias;

2.2.1.5 Transporte

O próximo passo é analisar a melhor forma de transporte até o canteiro de obras. Segundo o CBCA (2015), se forem caminhões, por exemplo, as peças deverão ter dimensões e pesos compatíveis com a capacidade dos veículos utilizados. Na descarga, é importante que as peças sejam conferidas e armazenadas próximo ao local de execução, respeitando a sequência de montagem. Isto é, as primeiras peças a serem içadas devem estar mais acessíveis.

2.2.1.6 Montagem

Antes de iniciar a montagem, é indispensável verificar as fundações, o alinhamento, nivelamento, esquadro, prumo e, principalmente, o plano de rigging - detalhamento da movimentação vertical das peças desde o local de armazenagem até o posicionamento final na estrutura, isso é feito de acordo com o estudo das ações da carga içada. As etapas precisam ser adequadamente planejadas para garantir a segurança dos operários e o sucesso da construção (CBCA, 2015).

A execução baseia-se na fixação das peças entre si e com a infraestrutura (fundações). Dessa forma, todos os elementos como estacas, vigas de baldrame ou mesmo sapatas deverão já ter sido devidamente locados, executados e prontos para servir de suporte (PEREIRA, 2018).

2.2.1.6.1 Equipamentos de montagem

Para a montagem de quaisquer estruturas, sempre serão utilizados equipamentos mecânicos que possibilitem o içamento das peças.

Os dois tipos mais comuns de equipamentos de içamento vertical, conforme Pinho (2005), são as gruas e os guindastes, onde as gruas se caracterizam por possuírem uma torre vertical na qual se apoia uma lança horizontal e são utilizadas principalmente na montagem de edifícios de múltiplos andares, galpões e em pátios de estocagem de peças. Ainda segundo Pinho (2005, p. 40), “os guindastes são equipamentos de içamento de cargas que são montados sobre um veículo. Por isso são também chamados de guindastes móveis. Possuem uma lança conectada à base do veículo que se projeta para adiante do equipamento”.

2.2.1.6.2 Ligações entre peças

Segundo Pereira (2018), nas ligações, serão utilizados solda ou parafusos. Para vigas e pilares metálicos, não será necessário realizar cimbramento por longos períodos e sim estabilizar as peças até que fiquem adequadamente ligadas e em suas posições definitivas. Equipamentos de içamento (Figura 4) como guias serão usados nessa tarefa.

Figura 4 - Técnica de içamento ideal pelo centro de gravidade da peça.



Fonte: Portal Met@lica, 2017.

2.3 TIPOS E FORMAS DE AÇO PARA ESTRUTURAS

Existem vários aspectos para definir os tipos e formas de aço com função estrutural.

2.3.1 Tipos

De acordo com o Portal Metálica – Construção Civil (2017), nas construções com estrutura metálica a escolha do tipo de aço é feita em função de aspectos ligados a:

- a) Meio ambiente onde as estruturas se localizam;
- b) Previsão do comportamento estrutural de suas partes, devido à geometria e aos esforços solicitantes;
- c) Meio industrial com atmosfera agressiva à estrutura;
- d) Proximidade de orla marítima;
- e) Manutenção necessária e disponível ao longo do tempo.

Os aços estruturais utilizados no Brasil são produzidos segundo normas estrangeiras (especialmente a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e DIN (*Deutsche Industrie Normen*) ou fornecidos segundo denominação dos próprios fabricantes. Assim, os aços disponíveis no país estão listados abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Tipos de aço disponíveis no Brasil

Aços de média resistência para uso geral	
Descrição	Material
Perfis, chapas e barras redondas acima de 50mm	ASTM A-36
Chapas finas	ASTM A-570 e SAE 1020
Barras redondas (6 a 50 mm)	SAE 1020
Tubos redondos sem costura	DIN 2448, ASTM A-53 grau B
Tubos quadrados e retangulares, com e sem costura	DIN 17100
Aços estruturais, baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, média resistência mecânica	
Chapas	USI-SAC 41 (USIMINAS)
Chapas	Aço estrutural com limite de escoamento de 245 MPa (COSIPA)
Aços estruturais, baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, alta resistência mecânica	
Chapas	ASTM A-242, ASTM A-588 COS-AR-COR (COSIPA), USI-SAC-50 (USIMINAS) e NIOCOR (CSN)
Perfis	ASTM A-242, A-588 (COFAVI)

Fonte: Próprios autores, 2019.

2.3.2 Formas do aço

Segundo PFEIL (2008, p.19) “As usinas produzem aços para utilização estrutural sob diversas formas: chapas, barras, perfis laminados, fios trefilados, cordoalhas e cabos”.

Neste estudo o foco está nos três primeiros tipos, fabricados em laminadores que, em sucessivos passes, dão ao aço preaquecido a seção desejada.

“Perfis estruturais podem ainda ser fabricados por dobramento de chapas (perfis de chapa dobrada) e por associação de chapas através de solda (perfis soldados)” (PFEIL, 2008, p. 19).

2.3.2.1 Produtos Laminados

Segundo Pfeil (2008), os produtos laminados, em geral, se classificam em barras, chapas e perfis (Figura 5).

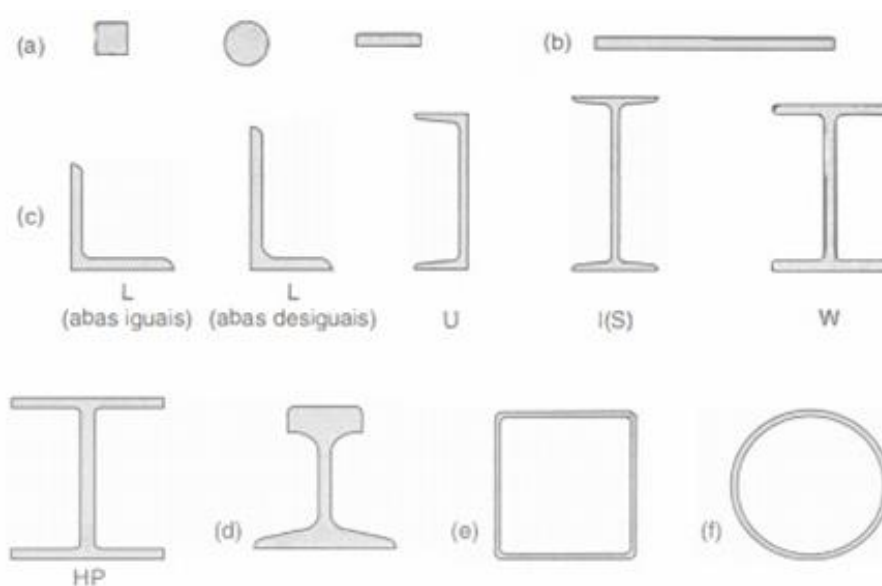
a) Barras;

As barras são produtos laminados nos quais duas dimensões (da seção transversal) são pequenas em relação à terceira (comprimento), são laminadas em seção circular, quadrada ou retangular alongada. Estas últimas chamam-se comumente de barras chatas.

b) Chapas;

As chapas são produtos laminados, nos quais uma dimensão (a espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento).

Figura 5 - Principais tipos de produtos laminados de utilização estrutural



Principais tipos de produtos siderúrgicos laminados de utilização estrutural: (a) barras, com diversas seções transversais (quadrada, redonda, chata); (b) chapas; (c) perfis estruturais laminados; (d) trilho; (e) tubo quadrado; (f) tubo redondo.

Fonte: Estruturas de Aço, PFEIL, 2008.

As chapas se dividem nas duas categorias:

Chapas grossas - de espessura superior a 5,0 mm.

Chapas finas - fabricadas a frio e a quente conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Chapas grossas e finas

Chapas Grossas e Chapas Finas			
Chapas	Fabricação	Espessuras	Utilização em construção
Grossas	A quente	> 5,0 mm	Estruturas metálicas em geral
Finas	A quente	1,2–5,0 mm	Perfis de chapas dobradas (Fig. 1.21)
	A frio	0,3–2,65 mm	Acessórios de construção como calhas, rufos etc.

Fonte: Estruturas de Aço, PFEIL, 2008.

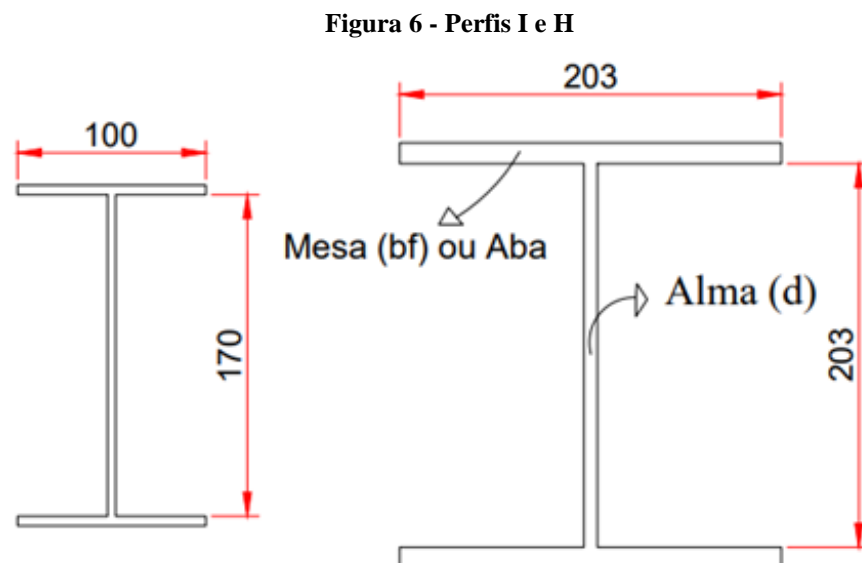
“As chapas fornecidas com os bordos naturais de laminação (sem cantos vivos) se denominam universais. Quando os bordos são cortados na tesoura, as chapas se denominam aparadas” (PFEIL, 2008, p. 20).

2.3.2.1.1 Perfis Laminados

Os laminadores produzem perfis de grande eficiência estrutural, em forma de H, I, C, L, os quais são denominados normalmente perfis laminados (Figura 5, item c).

Nos perfis I e H (Figura 6), a aba também é chamada de “mesa”.

O perfil I apresenta a altura da alma (d) bem maior do que a largura das mesas (bf) e é mais usado em seções submetidas a momento fletor, como vigas. Já o perfil H apresenta a largura das mesas (bf) igual ou muito próxima da altura da alma (d) o que faz com que ele tenha melhor desempenho quando submetido a compressão, portanto é mais usado como pilar, essas configurações estão apresentadas na Figura 6.



Fonte: Próprios autores, 2019.

Os perfis em formato de cantoneira "L" (Figura 7) são utilizados de várias maneiras e desempenham funções diferentes, mas de maneira geral são mais utilizados para fazer ligações entre elementos principais (pilar x viga / viga x viga / viga x tesouras / em emendas) ou travamentos secundários da estrutura.

Figura 7- Cantoneira "L", pilar x viga

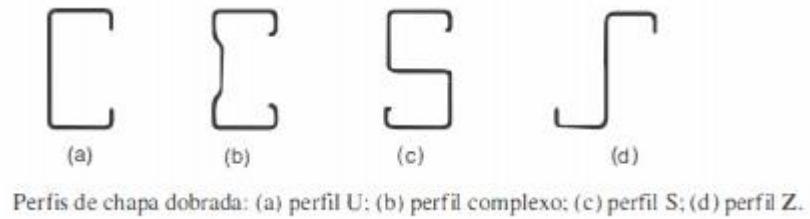


Fonte: Próprios autores , 2019.

2.3.2.2 Perfis de Chapa Dobrada

"As chapas metálicas de aços dúcteis podem ser dobradas a frio, transformando-se em perfis de chapas dobradas" (PFEIL, 2008, p.22).

Conforme Pfeil (2008), a utilização de chapas finas (em geral menos que 3 mm de espessura) na fabricação desses perfis leva a problemas de instabilidade estrutural não existentes em perfis laminados. Há uma grande variedade de perfis que podem ser fabricados, muitos com apenas um eixo de simetria ou nenhum, alguns simples, outros mais complexos como os que estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Perfis de chapa dobrada

Fonte: Estruturas em Aço, PFEIL, 2008.

2.3.2.3 Perfis soldados

Os perfis soldados permitem englobar uma vasta gama de tamanhos e atendem às necessidades estruturais com economia, estes podem ser obtidos por solda elétrica ou por caldeamento (eletrofusão) (MARGARIDO, 2014).

Os perfis soldados são padronizados pela ABNT (NBR 5884/2005) através das séries:

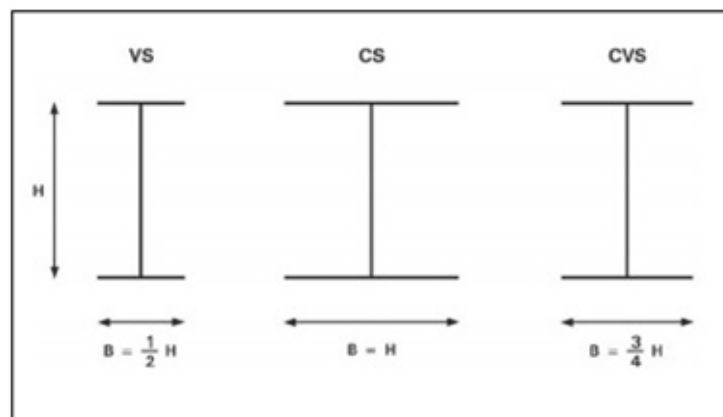
Série CS – Coluna soldada

Série VS – Viga soldada

Série CVS – Coluna viga soldada

Conforme Margarido (2014), os perfis soldados são sempre em forma de I com as designações VS, CS e CVS. Onde o perfil VS é para vigas. O perfil CS é para colunas e o CVS onde há uma ação de viga e coluna. Também podem ser feitos em forma de T.

Os perfis guardam, aproximadamente, as seguintes relações de tamanho, conforme Figura 9.

Figura 9 - Perfis Soldados

Fonte: Margarido, 2014.

2.3.3 Ligação de peças metálicas

“As peças metálicas estruturais são fabricadas com dimensões transversais limitadas pela capacidade dos laminadores e com comprimentos limitados pela capacidade dos veículos de transporte” (PFEIL, 2008, p. 23).

As estruturas de aço, são feitas por associação de peças ligadas entre si. Os meios de união entre peças metálicas portanto são muito importantes. Basicamente, há dois tipos de ligação: por meio de conectores ou por solda. Os conectores (rebites, parafusos) são colocados em furo que atravessam as peças a ligar. A ligação por solda consiste em fundir as partes em contato de modo a provocar união das mesmas. No século XIX e ainda na primeira metade do século XX, os rebites foram os meios de ligação mais empregados. Nas últimas décadas a solda se transformou no principal elemento de ligação, graças ao progresso nos equipamentos e à difusão de aços-carbono e aços-liga soldáveis. A tendência moderna é utilizar solda na fabricação em oficina, empregando parafusos nas ligações executadas no campo (PFEIL, 2008).

De acordo com Bonafé (2014), as ligações por solda são consideradas permanentes. As mesmas devem resistir a tensões de tração, compressão e cisalhamento. Já as ligações por parafusos são caracterizadas como desmontáveis ou removíveis, e devem resistir a esforços de tração e cisalhamento. Nos canteiros de obras os parafusos costumam ser mais utilizados, pois exigem uma menor qualificação de mão de obra comparado com as soldas. A soldagem é preferida na ligação de materiais, Carolina Fonseca, gerente executiva do CBCA, explica: “Ela permite uniões com geometrias complicadas e garante a perfeita continuidade das peças”.

2.3.4 Vantagens e Desvantagens do uso do Aço

Vantagens:

- Devido ao alto módulo de elasticidade do aço, seções mais esbeltas podem ser projetadas com as estruturas metálicas, é proporcionada assim uma maior liberdade no projeto de arquitetura, o que permite a elaboração de projetos mais arrojados, com maiores vãos.

- Uma vantagem importante é a redução da carga nas fundações, pelo aço ser mais leve, as estruturas podem reduzir, segundo CBCA (2019), em até 30% o custo das fundações.
- Os perfis metálicos são fabricados direto na indústria, o que garante uma maior precisão construtiva. Conforme site do CBCA (2019), enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, numa estrutura metálica a unidade utilizada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada, o que facilita atividades como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores, bem como redução no custo dos materiais de revestimento.
- É proporcionada uma melhor organização do canteiro de obras, com menor movimentação de materiais, observa-se construção mais limpa e prática, pois é ausente a presença de depósitos de outros materiais como areia, brita, cimento, ferragens e madeiras. Um ambiente com menor geração de entulho, oferece aos trabalhadores uma maior segurança na obra, o que diminui acidentes na mesma.
- Na questão da sustentabilidade, que é um dos fatores mais importantes nas construções atuais e futuras, o aço é uma solução pois o mesmo é totalmente reciclável. As estruturas podem ser desmontadas e reutilizadas com menor geração de rejeitos.
- Uma das principais vantagens é a redução no tempo de execução da obra, de acordo com CBCA (2019), a fabricação da estrutura em simultânea a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com outros sistemas construtivos convencionais.

Desvantagens:

- Como as seções mais esbeltas, deve-se observar uma maior preocupação com a flambagem de peças comprimidas, além disso um outro cuidado é a vulnerabilidade aos ventos fortes.
- Sem a manutenção dos sistemas de proteção, tais como a pintura e, em casos de ambientes mais extremos, a galvanização, o aço fica suscetível à corrosão.

- O comportamento ao fogo exige maiores cuidados quando comparado ao concreto armado, que são mais protegidas devido ao cobrimento não ser inflamável, o aço é perigoso nessa situação em função da dilatação térmica e perda da capacidade resistente. Conforme Pereira (2018), o PPCI (Plano de prevenção e proteção contra incêndios) deve observar a condição de estrutura metálica, bem como o projeto arquitetônico pode prever a proteção de vigas e pilares metálicos por meio de materiais incombustível, pintura intumescente, etc.
- No Brasil, ainda não existe a cultura de construir edifícios residenciais multifamiliares ou algumas formas de prédios comerciais utilizando estruturas metálicas. Isso pode gerar preconceito pelos usuários na adoção desse tipo de solução.
- Sem a manutenção dos sistemas de proteção, tais como pinturas e em casos de ambientes mais extremos, a galvanização o aço fica vulnerabilidade à corrosão.
- É comum, caso não haja uma mão de obra treinada e especializada, falhas executivas na elaboração estrutural de elementos, o que pode provocar danos à edificação. Esse fator gera um pouco de desconfiança e preconceito para a utilização destas estruturas em certos tipos de construção.

3 LAJE *STEEL DECK*

Segundo Silva (2014), é um sistema no qual chapas de aço perfiladas têm dupla função: atuam como fôrma no momento da execução da laje e como armadura positiva após a cura do concreto. Assim é o *steel deck*, solução também conhecida como laje mista ou colaborante. Independente da denominação, a tecnologia é considerada uma alternativa para racionalizar etapas da obra e reduzir prazos de execução.

3.1 HISTÓRICO

O conceito de laje mista ou de laje com fôrma colaborante surgiu na década de 1950 nos Estados Unidos e passou a ser largamente empregado desde então, notadamente em edificações metálicas de múltiplos andares (CICHINELLI, 2014).

De acordo com Sputo (2012), na metade da década de 1960, uma série de fabricantes produziam telha-fôrma de aço. Cada fabricante desenvolvia seus produtos baseados em uma pesquisa extensa e independente, que deveriam ser aceitos e aprovados pelos órgãos responsáveis da época. Dependendo da particularidade da construção, eram pedidos testes adicionais para verificação do produto utilizado. Como resultado da natureza competitiva dos produtos, criaram-se situações caras, trazendo um efeito adverso na construção de lajes *steel deck*.

O primeiro manual de projeto elaborado pelo *Steel Deck Institute* (SDI) foi publicado em 1991, com uma edição revisada em 1997. Reconhecendo mudanças na tecnologia, a SDI iniciou atividades para desenvolver novos padrões para lajes *steel deck*, inicialmente publicando o ANSI/SDI C1.0 *Standard for Composite Steel Floor Deck* em 2006. Em 2011 esta publicação foi revisada e expandida com o ANSI/SDI C-2011 para telha-fôrma de aço e o padrão de teste ANSI/SDI T-CD-2011 para lajes mistas (SPUTO, 2012).

3.1.1 Histórico no Brasil

Segundo Cichinelli (2014), no Brasil o *steel deck* começou a ser propagado na década de 1970 pela empresa Robtek (associação entre a americana Robertson e a brasileira Tekno). Uma década depois, tanto a Robtek quanto o produto passaram a pertencer a Haironville do Brasil. A empresa Tekno apresentou seu próprio *steel deck* por meio da sua

divisão Perkrom na mesma época em que a Metform também lançava sua laje colaborante, passando a disputar um mercado ainda restrito, mas promissor.

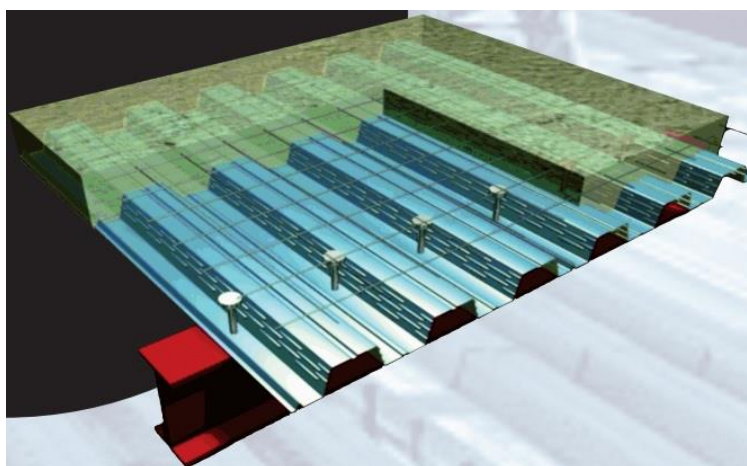
“A versatilidade, a relação entre custo e benefício e, principalmente, a simplicidade e a velocidade obtida no canteiro de obras explicam o uso crescente do produto no Brasil e no mundo” (CICHINELLI, 2014).

No Brasil, conforme Cichenelli (2014), essas lajes mais leves e de execução mais acelerada e limpa passaram a compor diversas construções, como o shopping Metrô Santa Cruz, os terminais de passageiros do aeroporto Santos Dumont (Rio de Janeiro) e Viracopos (Campinas, SP), edifícios de garagem, como a Brazul (São Bernardo do Campo, SP), lojas como a Asics (São Paulo) e diversos outros tipos de empreendimentos, sem limites de área para a sua aplicação.

3.2 DEFINIÇÃO

O *steel deck* (Figura 10) é composto por uma chapa de aço galvanizado e uma camada de concreto que trabalham em conjunto com uma malha de tela soldada que tem como função, evitar o aparecimento de trincas devido a retração do concreto. Por também ter função de forma devido ao seu peso leve e alta resistência, pode-se diminuir a ou até mesmo eliminar o uso de escoras (depende do vão máximo solicitado). Bem diferente de uma laje convencional com fôrmas de madeira, onde, a deformação causada pelo o peso do concreto na fase de cura é grande e se faz necessário o uso de vários escoramentos, o que dificulta a circulação de máquinas e trabalhadores naquele ambiente. A laje mista, portanto, permite executar várias lajes simultaneamente além da realização de outros serviços.

Figura 10 - Laje *steel deck*



Fonte: Catálogo Metform, 2015.

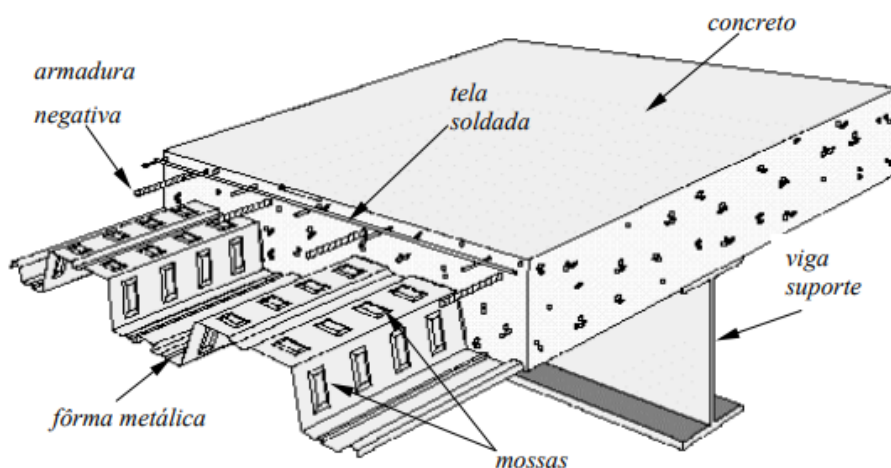
A definição de laje mista, segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 211), é a seguinte:

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.

Para exercer, total ou parcialmente, a função de armadura positiva da laje após a cura do concreto e assim apresentar um comportamento misto, é necessário proporcionar uma aderência mecânica entre o aço da fôrma colaborante e o concreto.

Conforme Campos (2001), um dos mecanismos utilizados para atingir tal aderência, é o que emprega saliências (mossas), como ilustrado na Figura 11, estampadas nas partes inclinadas e/ou planas da fôrma metálica. As características das mossas, tais como geometria e profundidade, influenciam fortemente na resistência ao cisalhamento horizontal do sistema de lajes mistas. É comum que cada fabricante de fôrma desenvolva um padrão próprio, desde que comprove experimentalmente a eficiência das mesmas.

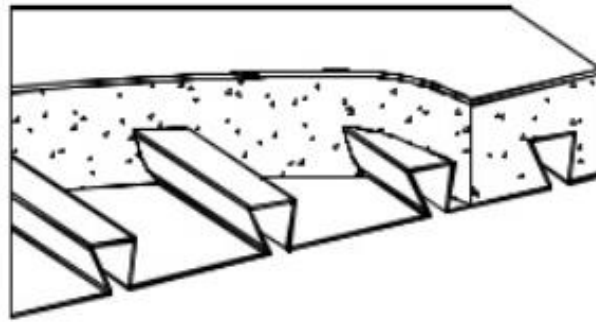
Figura 11 - Detalhe de uma laje mista após a cura do concreto



Fonte: Campos, 2001.

Ainda, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), além das mossas, a fôrma de aço pode ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal na interface entre o aço e o concreto, através de outros meios que garantem o comportamento misto. A norma cita a ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes (Figura 12).

Figura 12 - Fôrma reentrante



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

3.3 CARACTERÍSTICAS

O sistema *steel deck* consiste, basicamente, no uso de uma fôrma metálica colaborante com uma capa de concreto e uma tela metálica (com função antifissuração). Em alguns casos, o conjunto pode ser completado por uma armadura negativa para absorver os momentos negativos da laje, sobretudo quando esse elemento tiver continuidade e a tela metálica não for dimensionada para absorver estes esforços (CICHINELLI, 2014).

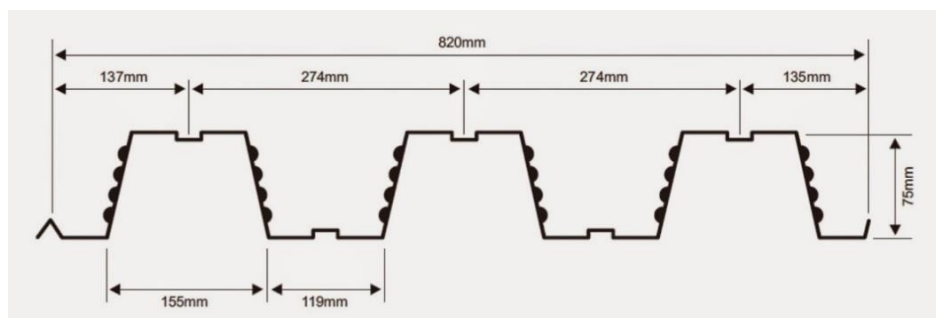
Segundo Cichinelli (2014), o mercado brasileiro oferece o *steel deck* com três espessuras de chapa - 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm - e comprimentos que variam conforme o projeto, chegando a 12 m, limite máximo de transporte por carreta.

3.3.1 Modelos de fôrma

Neste trabalho será utilizado algum dos perfis fabricados pela empresa Metform, maior fabricante nacional de *Steel Deck*, fabricado com aço especial galvanizado ASTM A 653 Grau 40, que disponibiliza o *steel deck* em dois modelos:

- MF 75 (Figura 13), com largura útil de 820mm, recomendado para empreendimentos industriais e lajes com necessidade de resistência a cargas elevadas;

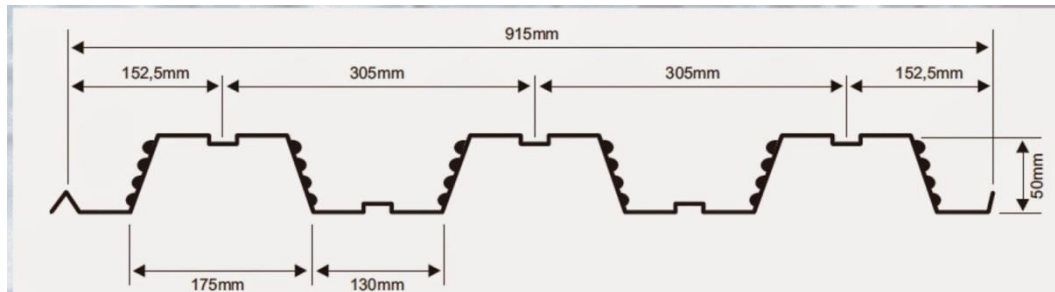
Figura 13 - Modelo MF 75



Fonte: Metform S.A, 2018.

- MF 50 (Figura 14), com largura útil de 915mm, adotado em edificações urbanas tipo hotéis, hospitais, escritórios, edifícios, garagens e etc.

Figura 14 - Modelo MF 50



Fonte: Metform S.A, 2018.

Ambos modelos possuem em 3 espessuras diferentes (0,80mm; 0,95mm; 1,25mm), para maiores ou menores resistências.

Segundo o catálogo da Metform (2015), as fôrmas possuem nervuras largas, permitindo a utilização de conectores de cisalhamento *stud bolts*, o que possibilita o cálculo de vigas mistas e reduz o peso da estrutura.

3.3.2 Especificações e Cuidados

Segundo Nakamura (2018), seja qual for a aplicação, é importante que a especificação da laje mista seja acompanhada de alguns cuidados. Para começar, o projeto deve respeitar o limite dos vãos, sobrecargas e espessura das chapas e do concreto indicados pelo fabricante. O mesmo se aplica aos sistemas de apoio e fixação.

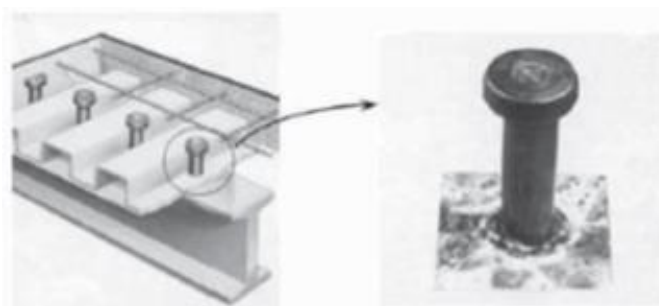
A especificação da tela metálica (antifissuração), quando utilizada com função estrutural, e de qualquer outra armadura da laje que por acaso seja necessária, deverá ser dimensionada pelo calculista do projeto. O dimensionamento do *steel deck* normalmente é realizado a partir de tabelas fornecidas pelos fabricantes. A partir delas, é possível identificar a espessura da chapa e da capa de concreto ideais para atender às solicitações de sobrecarga e os vãos determinados no projeto. As mesmas tabelas possibilitam identificar a eventual necessidade do uso de escoras no centro do vão. Esses elementos, quando necessários poderão ser retirados oito dias após a concretagem da laje (CICHENELLI, 2014).

Conforme Nakamura (2018), o uso de espaçadores para o correto posicionamento da malha contra fissuração é importante para garantir o cobrimento mínimo do concreto. Segundo engenheiro Humberto Napoli Bellei, coordenador da comissão que elaborou a norma

ABNT NBR 16421, que aborda as lajes mistas, no capeamento, é necessário o uso de armadura nas duas direções para evitar fissuras por retração e/ou variações de temperatura do concreto. Ainda segundo ele, também devem ser previstas armaduras localizadas (acima das vigas principais, no contorno de pilares etc.) para evitar possíveis fissuras por tendência de continuidade da laje sobre os apoios.

Em projetos que consideram o sistema de viga mista no dimensionamento da estrutura metálica, devem ser utilizados pinos metálicos, conhecidos como conectores *stud bolt*, que garantem a solidarização da laje com a estrutura metálica e reduz o peso da mesma, gerando economia no consumo de aço (Figura 15) (CICHINELLI, 2014).

Figura 15 - Conectores *stud bolts*



Fonte: Queiroz, 2012.

Conforme Cichenelli (2014), os fabricantes sugerem evitar o uso de aditivos à base de cloretos para aceleração de cura do concreto, pois eles podem comprometer a galvanização das chapas de aço. Pelo mesmo motivo, existe o risco de corrosão em edificações construídas em ambientes agressivos como áreas litorâneas, sujeitas a sais clorados, as lajes mistas podem exigir armaduras de reforço.

Ainda vale lembrar que o projeto executivo deve indicar de forma clara o posicionamento das chapas, eventual necessidade de armaduras complementares, reforços, cimbramento ou outras condições especiais a serem observadas durante a execução da laje. Também cabe ao calculista verificar as condições básicas conforme a NBR 14.323:2013 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios em Situação de Incêndio (Anexo C), além de outras variáveis que possam ocorrer em cada estrutura particularmente, como esforços horizontais, utilização de vigas mistas, vibrações, ressonância, cargas concentradas e resistência ao fogo (CICHENELLI, 2014).

3.3.3 Componentes adicionais

Conforme Cichenelli (2014), além da fôrma colaborante em si e do concreto, os seguintes itens costumam fazer parte de um sistema de lajes com *steel deck*:

- Malha de aço (tipo tela) colocada junto à face superior da laje para evitar fissuras por retração do concreto;
- Armaduras negativas sobre os apoios, caso a laje seja dimensionada com o *steel deck* trabalhando de forma contínua sobre três ou mais apoios;
- Arremates laterais em chapa de aço zincada ou outro material para fazer a contenção do concreto;
- Solda ponto para fixação pontual das fôrmas em estruturas de aço; ou fixação com pinos feita por pistola a gás, para estruturas em concreto.

3.3.4 Uso e limitações

O uso das fôrmas colaborantes, segundo Cichinelli (2014), pode ser considerado em projetos de edificações industriais; em lajes de hospitais, escolas e órgãos públicos; rodoviárias; terminais de aeroportos, pontes ou passarelas; em shopping centers; cinemas e edifícios comerciais de escritórios com múltiplos andares, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Steel deck em edifício de múltiplos andares



Fonte: Revista Técnica, 2014.

Embora não haja limitações de uso, o *steel deck* é geralmente associado a obras executadas em estruturas metálicas, isso acontece, pois, a união entre os dois sistemas proporciona uma boa interface e permite reduzir prazos de execução. Entretanto, seu uso também é possível em estruturas de concreto. Nesse caso, conforme cita Cichinelli (2014), a inserção de apoios metálicos intermediários a uma estrutura de concreto principal permite que os vãos de apoio para o *steel deck* tenham as dimensões ideais, o que gera economia e acelera a obra.

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Vantagens:

Segundo Silva (2014), as vantagens deste sistema são diversas. A eliminação parcial ou total de escoras durante a concretagem, é uma das principais vantagens, pois possibilita a realização simultânea de etapas da construção em diferentes pavimentos. Segundo engenheira Bianca Barros, especialista em Produtos Estruturais na ArcelorMittal (Empresa do grupo Perfilar dedicada ao *steel deck* no Brasil), mesmo quando precisamos trabalhar com escoramento, é diferente de uma laje convencional, em que se forma um verdadeiro paliteiro no andar inferior, impedindo qualquer operação. No *steel deck*, temos uma única linha de escoramento.

Outra vantagem possibilitada pela geometria do *steel deck* é a possibilidade de embutir todas as pequenas instalações - com exceção do sistema de ar-condicionado -, nos vãos da laje, aumentando espaços e produtividade nessa etapa (CICHINELLI, 2011).

No manual técnico da Metform (2017), as vantagens da telha-fôrma em relação aos sistemas alternativos consistem, principalmente, dos seguintes aspectos:

- Permite a utilização de vigas mistas, com conseqüente economia por redução de peso dos perfis de apoio;
- É leve (8,5kg/m² a 14,5kg/m²) o que possibilita fácil manuseio e ágil instalação. Como resultado há simplificação e redução dos trabalhos no canteiro de obras;
- Usualmente não necessita ser escorado durante a concretagem. Dessa forma são excluídos os prazos gastos com montagem de escoramentos e desforma;

- Durante a montagem, transforma-se em plataforma de trabalho nos andares superiores e em proteção aos operários em serviço nos andares inferiores.
- Ao ser fixado na estrutura, funciona como diafragma horizontal, travando a estrutura e acrescentando mais segurança ao trabalho durante a construção do edifício.
- Funciona como armadura de tração para os momentos fletores positivos.
- Permite uma fácil execução dos sistemas elétrico, hidráulico e de ar condicionado, além de facilitar a fixação de forros suspensos;
- Todas as vantagens descritas podem ser traduzidas em uma grande economia na construção, com uma redução significativa no prazo de execução, nos desperdícios de materiais e no custo com mão de obra no canteiro. Logo, o retorno financeiro do empreendimento é aumentado em grande escala.

Desvantagens:

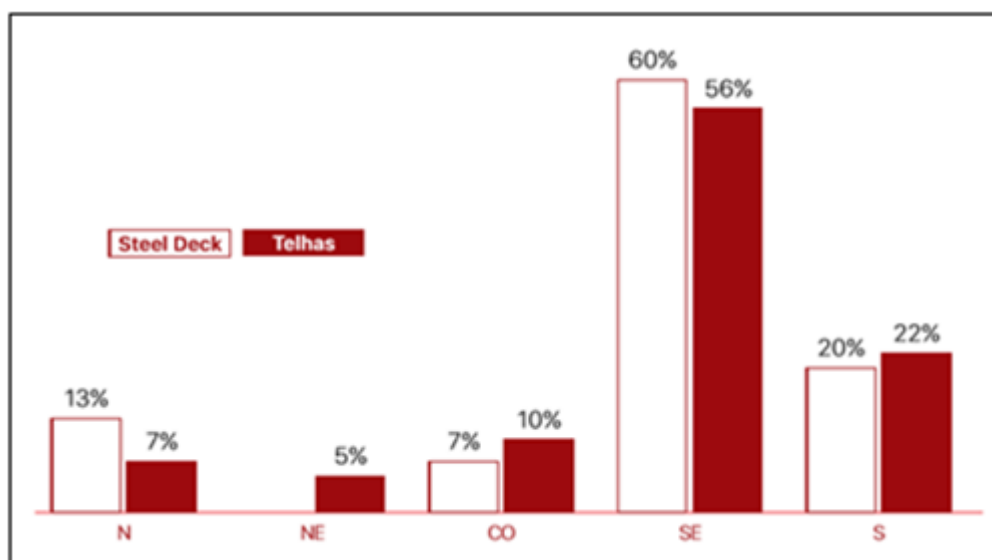
“A variedade reduzida de perfis no mercado brasileiro, no entanto, ainda é um dos pontos críticos da solução” (CICHENELLI, 2011, p.1). De acordo com Alexandre Vasconcellos, diretor geral da Método Estrutura, empresa especializada em estruturas mistas, pela falta de empresas concorrentes e de variedade de perfis, o preço da solução ainda é alto por aqui. Na Europa e nos Estados Unidos, há uma infinidade de perfis, mas importar não vale a pena devido ao prazo e aos altos custos de internalização.

Conforme Cichenelli (2011), obras com grande quantidade de aberturas a serem definidas após sua instalação, sem que estas sejam conhecidas desde o início, também limitam o uso dessas lajes. Na verdade, não existe uma restrição efetiva, mas apenas uma dificuldade relativa de campo para a instalação de reforços necessários.

O Brasil é um dos maiores do mundo em extensão territorial e nosso sistema de logística ainda é pouco desenvolvido. Custos de transporte se tornam uma desvantagem quando a localização do canteiro de obras é distante dos fabricantes da telha-fôrma, onde, mais da metade deles, tanto de telhas de aço como de *steel deck*, estão na região Sudeste, conforme mostra o gráfico ilustrado na Figura (17), isso devido a concentração das atividades construtivas do modelo nesta região.

O custo médio do m² da fôrma é de R\$ 64,00, este custo elevado se deve pela pequena quantidade de empresas que produzem a fôrma metálica.

Figura 17 - Fabricantes de steel deck e telhas de aço por região



Fonte: Cenário dos Fabricantes de Estruturas em Aço – CBCA, 2018.

3.5 MATERIAIS

Basicamente são três os materiais utilizados na confecção de lajes mistas com *Steel Deck* (METFORM, 2017):

- O *Steel Deck* de aço galvanizado, ASTM A 653 Grau 40 (ZAR- 280) tensão de escoamento $f_y = 280$ MPa;
- O concreto de resistência mínima à compressão, $f_{ck} = 20$ MPa;
- Uma armadura em tela soldada, para controle de fissuração, tendo uma área mínima de 0,1% da área de concreto acima do topo do *Steel Deck*.

3.5.1 Telha-Fôrma

MF-50 e/ou MF-75 formados a frio a partir de bobinas de aço especial ZAR-280 com galvanização mínima Z-275 e limite de resistência ao escoamento maior ou igual a 280MPa. Durante a etapa de construção a Telha-fôrma METFORM assume a função de fôrma (autoportante) para a concretagem. Posteriormente, após a cura do concreto, substitui a armadura de tração para momentos fletores positivos. Usualmente, são utilizadas espessuras nominais (tF) de 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm (METFORM, 2017).

3.5.2 Concreto

Segundo manual técnico da Metform (2017), deverá sempre ser adotado concreto estrutural convencional (densidade 24kN/m³), com resistência característica à compressão, f_{ck} maior ou igual a 20MPa. Em qualquer caso, aditivos à base de cloretos não devem ser utilizados por agredirem o revestimento (galvanização Z-275).

3.5.3 Armadura antifissuração

São utilizadas telas soldadas, ou malhas de barras trefiladas, em aço com limite de escoamento 500MPa ou 600MPa. Essa armadura tem a função de evitar fissuras oriundas da retração e variação térmica do concreto e deverá estar localizada sempre no topo da laje, com cobrimento mínimo 20mm. De acordo com especificações da NBR 14323 a armadura de fissuração deverá possuir área de seção, em ambas as direções, superior a 0,10% da área de capeamento de concreto acima da telha-fôrma (em situações em que a abertura das fissuras deva ter um controle mais rigoroso, em função das características do ambiente em que as lajes estejam inseridas, a área de capeamento citada acima deve ser aumentada) (METFORM, 2017).

3.5.3.1 Armaduras adicionais

Nos casos em que os esforços gerados não possam ser resistidos apenas pela fôrma metálica e pelo concreto, podem ser projetadas armaduras de reforço, com o objetivo de suportar estes esforços. Além disso, em situações de balanço e sobre apoios, nas quais a armadura antifissuração não seja capaz de resistir aos esforços de tração gerados, pode ser necessária a utilização de armaduras adicionais na parte superior da laje (METFORM, 2017).

3.6 PROCESSO EXECUTIVO

Apesar de sua execução ser simples, é necessário que se tenha uma equipe capacitada, juntamente com os devidos equipamentos necessários, para que se possa efetuar de maneira adequada onde todos os padrões pré-estabelecidos em projeto sejam seguidos, evitando assim problemas. Os cuidados devem ser tomados desde a fabricação até a concretagem, para que se possa extrair assim, o desempenho máximo de sua estrutura.

3.6.1 Etapas de execução

Após a fabricação, chegada e devido armazenamento das peças no canteiro de obras, sua execução é dividida em 7 etapas:

- Transporte;
- Alinhamento;
- Ajustes;
- Recortes;
- Conectores de Cisalhamento;
- Armadura;
- Concretagem;

3.6.1.1 Transporte

Deve-se tomar cuidado no manuseio e deslocamento das peças sendo necessário a utilização de guias ou guindastes. Conforme Cichinelli (2014), em consequência da necessidade de apoio no meio da fôrma durante o manuseio, podem ser necessários até seis homens para manuseá-las. Mas o usual é que as peças de *steel deck* (normalmente com comprimento médio de 7,5 m e 58 kg) sejam manuseadas por dois ou três operários.

3.6.1.2 Alinhamento

O nivelamento da mesa superior da viga onde irá alocar-se a peça, deve ser verificado antes da colocação da telha-fôrma para que tenham perfeito contato. Cichinelli (2014, p.3), cita que “ferrugens, rebarbas, respingos de solda, de óleos em geral e de pintura, além da umidade nas proximidades da região de soldagem, devem ser completamente removidos”.

3.6.1.3 Ajustes

As peças devem ser ajustadas (Figura 18), de acordo com as marcações em gabarito, a modo de garantir que se aproveite a largura útil das peças, minimizando os recortes.

Figura 18 - Painéis posicionados e alinhados

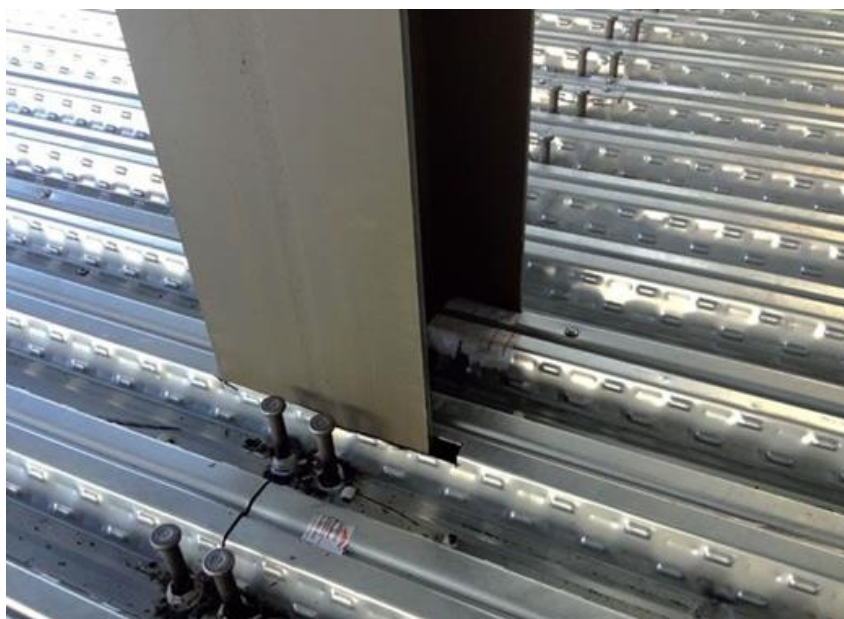


Fonte: Revista Techne, 2014.

3.6.1.4 Recortes

Os recortes (Figura 19) devem ser feitos de modo a adequar as peças na área onde se está sendo instalada. Conforme Cichinelli (2014), nessa etapa, adapta-se às lajes à geometria da edificação, recortando os cantos e o contorno de pilares quando necessário. “Uma vez realizados todos os ajustes e o alinhamento, os painéis devem ser fixados à estrutura por meio de pontos de solda bujão ou solda tampão” (CICHINELLI, 2014, p. 4).

Figura 19 - Cortes para ajustes das peças ao redor dos pilares



Fonte: Revista Techne, 2014.

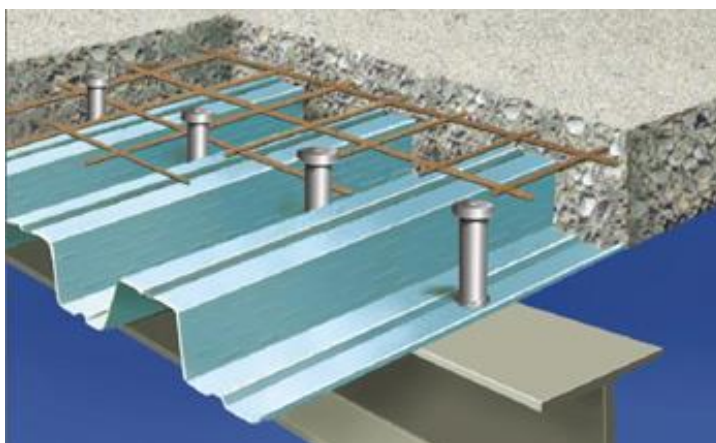
3.6.1.5 Conectores de cisalhamento

Quando se trata em uma viga mista, ou seja, quando o aço e o concreto trabalham em conjunto e tornam-se assim um elemento estrutural único, é utilizado os *studs bolts* (Figura 20) soldados por eletrofusão, que devem ter diâmetro e comprimento especificados em projeto.

De acordo com Cichinelli (2014), os *studs bolts* são indispensáveis em lajes mistas.

“Esses elementos fazem a ligação o entre as vigas metálicas e a laje de concreto, absorvendo os esforços de cisalhamento longitudinais, além de impedir o afastamento vertical entre a laje e a viga” (CICHINELLI, 2014, p. 4).

Figura 20 - Stud bolts



Fonte: Cimm (2009)

3.6.1.6 Armadura

“O próximo passo é a colocação de uma malha metálica (Figura 21), similar a uma tela, para distribuição de esforços e antifissuração, 20 mm abaixo da superfície do concreto da laje.” (CICHINELLI, 2014, p. 4). A Figura 20, apresenta uma ilustração da malha metálica.

Se necessário deve-se utilizar também uma armadura metálica cuja as características foram estabelecidas em projeto, conforme Cichinelli (2014, p. 4), “armaduras convencionais adicionais podem ser necessárias quando a armadura total positiva precisa ser aumentada.”

Figura 21 - Malha metálica

Fonte: Revista Técnica, 2014.

3.6.1.7 Concretagem

O processo de concretagem (Figura 22) deve ser feito através de uma bomba lança e ser uniformemente distribuído, em todos os pontos a serem concretados, evitando o acúmulo de concreto em locais críticos como no meio do vão.

De acordo com os parâmetros das normas estrangeiras e da NBR 14323 - Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio, o cobrimento mínimo é de 50 mm de concreto acima do topo do steel deck. Para lajes de piso, recomenda-se cobrimento maior ou igual a 65 mm. Aditivos à base de cloretos para aceleração de cura do concreto devem ser evitados, sob pena de comprometer a galvanização das chapas de aço (CICHINELLI, 2011, p. 2).

Figura 22 - Concretagem da laje

Fonte: Revista Técnica, 2014.

3.6.2 Manutenção

Por se tratarem de peças industrializadas não é necessária uma manutenção regular em suas condições normais de uso, no entanto, cuidados devem ser tomados para que se mantenha a integridade da estrutura. Como é uma peça em aço galvanizado, não deve ser exposta a materiais que possam causar a oxidação de sua armadura.

Segundo Cichinelli (2014), pelo fato da chapa ser posicionada na face inferior da laje (portanto, ao abrigo da chuva ou da retenção de umidade), o problema apenas acontecerá se o ambiente contiver agentes agressivos ou em casos de penetração de água na laje, seja por fissuras em lajes de cobertura, por vazamentos em tubulações sobre ou dentro da própria laje.

No primeiro caso, a manutenção deve ser feita regularmente, logo no surgimento das primeiras manchas de oxidação branca, evitando que elas atinjam o estágio de corrosão vermelha. A recuperação é normalmente simples e envolve a remoção da oxidação por meios mecânicos ou químicos e a posterior zincagem a frio da chapa com tinta apropriada, rica em zinco. Em casos de presença de água, além de se resolver a origem dos vazamentos e da penetração de umidade, pode ser necessária uma avaliação mais detalhada do estado da fôrma por um técnico especializado (CICHINELLI, 2014, p. 5).

3.7 NORMAS

Até o ano de 2015, o sistema de lajes com fôrmas colaborantes não contava com norma técnica específica. Em outubro do mesmo ano, a norma NBR 16.421 entrou em vigor. Ela estabelece os requisitos e ensaios aplicados às telhas fôrma colaborantes para laje mista de aço e concreto, sistema *steel deck*. Ainda de acordo com a revista, por ser inédito no Brasil, o texto traz recomendações que podem garantir a padronização dos produtos, o que assegura sua qualidade e segurança.

Em debate desde julho de 2014, o texto da NBR 16.421 foi elaborado pelo Comitê Brasileiro de Siderurgia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CB-028), e contou com a participação de fabricantes, consumidores representantes da academia e entidades do setor. (Cichinelli, 2016)

Segundo Nakamura (2018), os principais textos normativos que estabelecem requisitos e ensaios para o *steel deck* são:

- ABNT NBR 16.421:2015 – Telha-fôrma de Aço Colaborante para Laje Mista de Aço e Concreto – Requisitos e Ensaios
- ABNT NBR 6.118:2014 – Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento

- ABNT NBR 14.762 - 2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio
- ABNT NBR 8.800:2008 – Projeto de Execução de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios
- ABNT NBR 10.735:1989 – Chapas de Aço de Alta Resistência Mecânica Zincadas
- ABNT NBR 14.323:1999 – Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio

De acordo com Cichinelli (2016), com a nova norma em vigor, os produtos que apresentarem defeitos e houver contestação por parte do consumidor, servirão de base os requisitos prescritos pelas normas ABNT, reconhecidas nacionalmente. Entre os principais requisitos da nova norma destacam-se espessura mínima, tipo de revestimento, tolerâncias dimensionais, durabilidade e necessidade de comprovação experimental do deck.

4 DIMENSIONAMENTO *STEEL DECK*

O dimensionamento do sistema de lajes mistas será baseado nos parâmetros estabelecidos nas normas brasileiras regulamentadoras ABNT NBR 8.800:2008 – Projeto de Execução de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios e ABNT NBR 14.762 - 2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Manual técnico e tabelas da fabricante Metform também servirão como fundamento para algumas delimitações, como a capacidade de carga de cada fôrma para um vão estabelecido ou o vão máximo admissível para um devido carregamento. Para o dimensionamento da laje, é necessário determinar as situações de projeto em duas etapas. Em um primeiro momento onde as chapas já estão corretamente dispostas na estrutura e devem suportar o peso do concreto fresco. Conforme NBR 8800 (2008, p. 211) “Na fase inicial, ou seja, antes do concreto atingir 75% da resistência à compressão especificada, a fôrma de aço suporta isoladamente as ações permanentes e a sobrecarga de construção” e num segundo momento, que a laje já atingiu a resistência a compressão, onde a fôrma e o concreto atuam como um sistema conjunto, com a devida aderência garantida entre os dois elementos e a fôrma atuando como armadura positiva da laje. As principais situações consideradas para a laje mista se deram com base nas seguintes instruções:

Fôrma de aço em sua fase inicial:

- Durante o processo de execução da laje, onde o concreto está fresco, observar os vãos máximos que a fôrma suporta sem escoramento, caso necessário, o uso de escoras deve ser considerado;
- No processo concretagem observar as cargas máximas atuantes, pois nesta etapa a fôrma serve como plataforma de trabalho.

Fôrma de aço em sua fase final:

- Vãos máximos que o modelo adotado é capaz de suportar, sem armadura de reforço adicionais;
- Sobrecargas máximas que o modelo de adotado é capaz de suportar, em seus maiores vãos, sem armadura de reforço.

4.1 VERIFICAÇÕES E PARÂMETROS

Verificações e parâmetros segundo a NBR 8.800:2008.

4.1.1 Verificação da forma de aço na sua fase inicial

Devem ser verificados os estados-limites últimos e de serviço da fase inicial.

4.1.1.1 Estados-limites últimos

O estado-limite último da estrutura é quando se faz necessário a paralisação do uso da estrutura, devido ao colapso, ou qualquer outra forma de ruína estrutural, seja ela durante a execução ou decorrer da vida útil do projeto.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 212) “A verificação da fôrma de aço na fase inicial deve ser feita com base na ABNT NBR 14762. Deve ser considerado adequadamente o efeito das moças nas resistências de cálculo”.

Na verificação da fôrma de aço, deve ser empregue análise elástica. Quando a fôrma for calculada como contínua, mesmo que aconteça flambagem local em partes comprimidas da seção, os esforços solicitantes podem ser definidos sem consideração de variação de rigidez (NBR 8800, 2008).

4.1.1.2 Estado-limite de serviço

O estado-limite de serviço está relacionado ao conforto para os usuários da edificação, onde os critérios de segurança verificam a durabilidade da estrutura, aparência e condições normais de utilização.

“O deslocamento máximo da fôrma de aço sob seu peso próprio e o peso do concreto fresco (excluindo-se a sobrecarga da construção) não deve exceder $L_f / 180$ ou 20 mm, o que for menor, onde L_f é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras” (NBR 8800, 2008, p. 212).

4.1.2 Verificação da laje na fase final

Devem ser verificados os estados-limites últimos e de serviço da fase final.

4.1.2.1 Estados-limites últimos

A resistência de cálculo das lajes mistas deve ser tal que suporte as solicitações de cálculo de momento fletor, cisalhamento longitudinal, cisalhamento vertical e punção. (NBR 8800, 2018).

4.1.2.1.1 Momento fletor

Na determinação do momento fletor positivo resistente de cálculo, a fôrma de aço deve resistir aos esforços de tração em conjunto com uma armadura adicional, caso exista, colocada na face inferior da laje. Na determinação do momento fletor negativo resistente de cálculo sobre os apoios em lajes contínuas, a contribuição da fôrma de aço aos esforços de compressão somente pode ser levada em conta se for contínua (ABNT NBR 8800, 2018).

Caso a estrutura não solicite armadura adicional, o momento fletor positivo resistente de cálculo deve ser determinado pelas expressões abaixo, para linha neutra acima e abaixo da face superior da fôrma de aço, respectivamente (ver Figuras 23 e 24), conforme a ABNT NBR 8800 (2008).

A expressão que representa o cálculo considerando a linha neutra acima da face superior da fôrma de aço é:

$$M_{rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a) \quad (1)$$

M_{rd} = momento fletor resistente de cálculo;

N_{pa} = força de tração na forma de aço;

d_F = é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

a = é a altura do bloco de compressão do concreto, dada por:

$$\frac{N_{pa}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (2)$$

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto à compressão;

b = é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm.

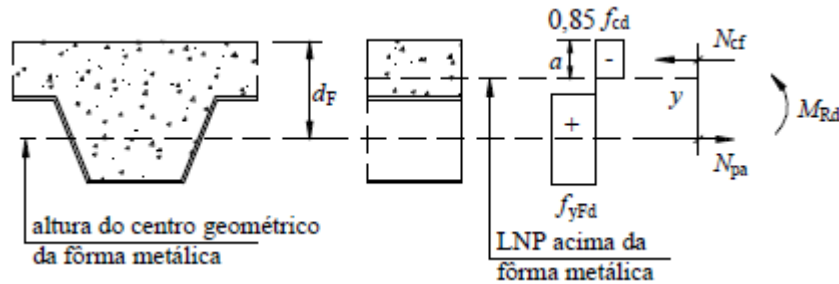
Sendo:

$$N_{pa} = A_{F,ef} \cdot f_{yF} \quad (3)$$

$A_{F,ef}$ = é a área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm), determinada desprezando-se a largura das mossas na seção transversal, a menos que se demonstre por meio de ensaios que uma área maior possa ser utilizada;

f_{yFd} = resistência de cálculo ao escoamento do aço da fôrma.

Figura 23 - Tensões para momento positivo - linha neutra acima da fôrma de aço



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

A expressão que representa o cálculo considerando a linha neutra na face da fôrma de aço é:

$$M_{rd} = N_{cf} \cdot y + M_{pr} \quad (4)$$

N_{cf} = força de compressão no concreto;

Onde:

$$N_{cf} = 0,85 b t_c f_{cd} \quad (5)$$

$$y = h_t - 0,5 \cdot T_c - e_p + \left(e_p - e \right) \cdot \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (6)$$

t_c = é a altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;

h_t = é a altura total da laje, incluindo a fôrma e o concreto;

e = é a distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à sua face inferior;

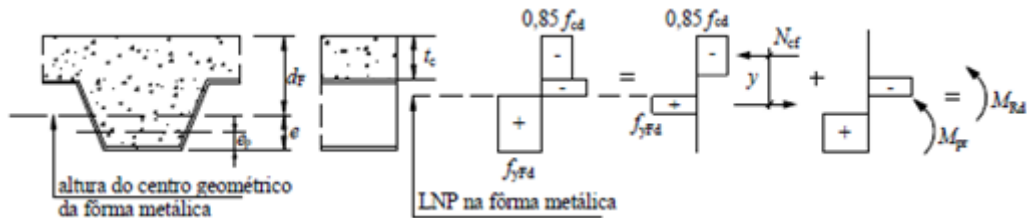
e_p = é a distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior.

M_{pr} = é o momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial, dado por:

$$M_{pr} = 1,25 M_{pa} \cdot \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (7)$$

M_{pa} = é o momento de plastificação da fôrma de aço, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência Y_{al} .

Figura 24 - Tensões para momento positivo - linha neutra na fôrma de aço



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

Caso seja necessário armadura adicional para resistir ao momento fletor positivo, as expressões anteriores, devem ser ajustadas. Para assegurar que não aconteça flambagem local da fôrma de aço preenchida com concreto, a largura de todos os elementos da fôrma (Figura 25), deve atender à seguinte exigência, segundo a NBR 8800 (ABNT,2008):

Quando $\alpha \geq 0,5$:

$$b_F \leq \frac{26,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{(13 \cdot \alpha - 1)} \cdot t_F \quad (8)$$

Quando $\alpha < 0,5$:

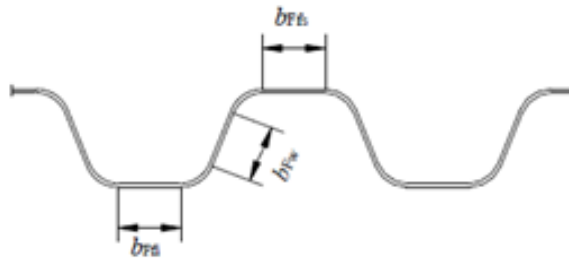
$$b_F \leq \frac{2,40 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{\alpha} \cdot t_F \quad (9)$$

Onde:

α = é a relação entre a largura da parte comprimida e a largura plana do elemento;

t_F = é a espessura da fôrma de aço.

Figura 25 - Largura plana dos elementos da fôrma



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

4.1.2.1.2 Cisalhamento longitudinal

Segundo a NBR 8800 (2008), a força cortante longitudinal resistente de cálculo, $V_{l,rd}$, em newton, relativa à laje com fôrma de aço incorporada de 1000 mm de largura, pode ser calculada pelo método semi-empírico $m-k$, usando a expressão a seguir:

$$V_{l,rd} = \frac{b \cdot d_F \left[\left(\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}} \quad (10)$$

$$L_s = \frac{L_f}{4} \quad (11)$$

Onde:

d_F = distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma (Figura 26), espessa em milímetros (mm); b é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

b = largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

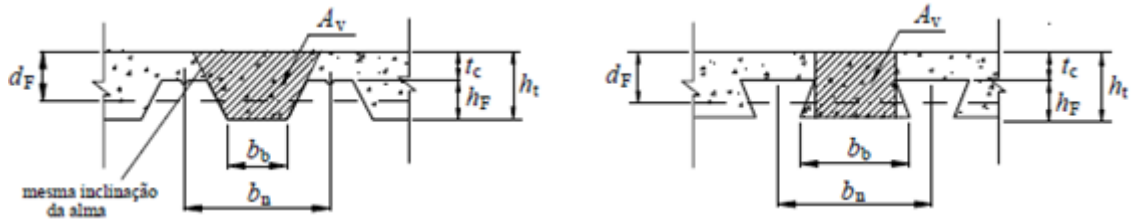
L_s = vão de cisalhamento, expresso em milímetros (mm);

m e k = constantes empíricas, em newton por milímetro quadrado (N/mm²), obtidas por meio de ensaios realizados conforme o Eurocode 4 part 1-1 ou o CSSBI S2 ou o ANSI/ASCE 3, devidamente adaptadas para assegurar o nível de segurança da NBR 8800.

γ_{sl} = é o coeficiente de ponderação da resistência, igual ao determinado pela norma ou especificação nos ensaios, que, conforme a Eurocode 4 Part 1-1 é tomado por 1,25.

$A_{F,ef}$ = área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000mm).

Figura 26 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

O vão de cisalhamento L_s , segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), deve ser tomado como:

- $L_F / 4$ para cargas uniformemente distribuídas, onde L_F é o vão teórico da laje na direção das nervuras;
- a distância entre uma carga aplicada e o apoio mais próximo para duas cargas concentradas simétricas;
- a relação entre o máximo momento e a maior reação de apoio, para outras condições de carregamento, incluindo combinação de carga distribuída ou cargas concentradas assimétricas (pode-se também efetuar uma avaliação com base em resultados de ensaios).

Para lajes mistas projetadas como contínuas, a NBR 8800 permite o uso de um vão simplesmente apoiado equivalente para determinar sua resistência. Podendo ser adotado um vão de tamanho igual a 0,8 do seu tamanho real para vãos internos, e 0,9 vez para vãos de extremidade.

Existe ainda um outro método para se calcular a resistência ao cisalhamento longitudinal citado acima, como por exemplo o método da interação parcial, dado pelo Eurocode 4 part 1-1.

Ainda sobre a resistência ao cisalhamento longitudinal, pode-se ainda ser aumentada com a presença de conectores de cisalhamento nas vigas de apoio das lajes, ou por outros meios que relacionam o concreto e a forma de aço, conforme o Eurocode 4 part 1-1. Serão abordados posteriormente informações relevantes sobre os conectores de cisalhamento citados acima.

4.1.2.1.3 Cisalhamento vertical

A força cortante vertical resistente de cálculo, V_v, Rd , em newton, relativa à 1000mm de largura, deve ser determinada pela seguinte expressão (NBR 8800, 2008):

$$V_{v,Rd} = V_{v,F,Rd} + V_{v,c,Rd} \leq V_{max} \quad (12)$$

Onde:

$V_{v,F,Rd}$ = força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço incorporada, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura, determinada pela NBR 14762;

$V_{v,c,Rd}$ = força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura, determinada logo abaixo;

V_{max} = limite da força cortante, em newton (N), relativo a 1000 mm de largura.

A força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, relativa a 1000 mm de largura, é dada por:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot \tau_{Rd} \cdot K_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot A_v}{b_n} \quad (13)$$

com:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (14)$$

$$k_v = \begin{cases} \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \geq 1,0 & \text{caso haja armadura longitudinal de tração que} \\ & \text{se estenda a não menos que } d + l_{b,nec} \text{ além da seção considerada} \\ 1,0 & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (15)$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} \quad (16)$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta \cdot f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (17)$$

$$f_{ctr,inf} = 0,21 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (18)$$

Sendo:

A_v = área resistente do concreto (ver figura 25), em milímetros quadrados (mm²);

A_s = área da armadura longitudinal de tração, referente à área A_v , em milímetros quadrados (mm²);

d = distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração, em milímetros (mm);

b_n = largura entre duas nervuras consecutivas, em milímetros (mm) (ver figura 25);

$l_{b,nec}$ = comprimento de ancoragem necessário, dado na NBR 6118 para o concreto de densidade normal.

$f_{ctk, inf}$ = resistência à tração direta característica inferior do concreto, segundo a NBR 6118, igual a $0,21 fck \frac{2}{3}$, com $f_{ctk, inf}$ e fck expressas em mega pascal (MPa);

$$\eta = 0,3 + 0,7 (\rho_c/2400) \quad (19)$$

Onde:

ρ_c = massa específica do concreto, em quilogramas por metro cúbico, não podendo ser tomado valor superior a 2400 Kg/m³;

O limite de força cortante para verificação do cisalhamento vertical é expresso em newton (N), relativo a 1000 mm de largura, dado pela expressão abaixo, conforme a NBR 8800 (ABNT,2008).

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{1000 \times 0,28 (fck)^{\frac{1}{2}} A_v}{b_n} \quad (20)$$

4.1.2.1.4 Punção

O último efeito que a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) detalha sobre o dimensionamento correto das lajes mistas é o efeito punção, que consiste em grandes tensões cisalhantes concentradas. A força cortante resistente de cálculo à punção pode ser determinada por:

$$V_{p,Rd} = u_{cr} d_1 \tau_{Rd} \quad (21)$$

com:

$$d_1 = \frac{d_F + t_c}{2} \quad (22)$$

$$\tau_{Rd} = 0,13 \cdot k_p \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \geq 0,30 \cdot f_{ctd} \quad (23)$$

τ_{Rd} e f_{ck} em megapascal (MPa)

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_l}} \leq 2,0 \quad (24)$$

$$\rho = \sqrt{\rho_F \cdot \rho_s} \leq 0,02 \quad (25)$$

com:

u_{cr} = perímetro crítico, expresso em milímetros (mm), conforme figura 26;

d_F = distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma em milímetros (mm);

t_c = altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço, em milímetros (mm);

ρ_F e ρ_s = são as taxas de armadura nas direções longitudinal e transversal à fôrma, dadas por:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{sl}}{d_F \cdot (b_p + 2 \cdot h_r + 3 \cdot d_F)} \quad (26)$$

$$\rho_s = \frac{A_{st}}{t_c \cdot (b_l + 2 \cdot h_r + 3 \cdot d_F)} \quad (27)$$

A_F = área da seção da fôrma de aço, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), em milímetros quadrados;

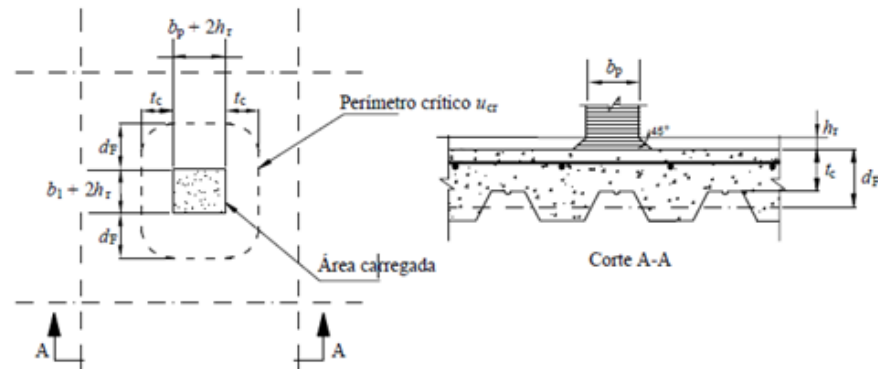
A_{sl} = área da armadura longitudinal, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), em milímetros quadrados;

A_{st} = área da armadura transversal, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), em milímetros quadrados;

h_r = altura do revestimento da laje, em milímetros, se houver;

b_l e b_p = expressas em milímetros conforme Figura 27.

Figura 27 - Perímetro crítico para punção



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

4.1.2.2 Estado-limite de serviço

No estado-limite de serviço da fase final, são feitas as verificações de fissuração do concreto e deslocamento vertical da fôrma.

4.1.2.2.1 Fissuração do concreto

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2008), para concretos de densidade normal, o estado limite de fissuração do concreto em regiões de momento negativo de lajes contínuas, deve ser verificado de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Em casos de ausência de norma brasileira aplicável, deve-se verificar de acordo com o Eurocode 2 Part 1-1, para concreto de baixa densidade. Para lajes simplesmente apoiadas, deve-se colocar armadura para combater efeitos de retração e temperatura com área não menor que 0,1% da área de concreto acima da face superior da fôrma. Essa armadura deve ser colocada preferencialmente a 20 mm abaixo do topo da laje. Para locais onde haja continuidade de elementos estruturais, como, ligações de vigas secundárias com as principais e em relação a pilares, deve ser dada uma atenção especial, verificando anexo N da ABNT NBR 8800:2008.

4.1.2.2.2 Deslocamento vertical

Considerando o efeito, apenas das ações variáveis, o deslocamento vertical de lajes mistas, não pode ser maior que $L_F/350$, sendo L_F o vão teórico da laje na direção das nervuras.

Quanto ao deslocamento do centro do vão da forma, a NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece que “se o deslocamento do centro do vão da fôrma, calculado com o seu peso próprio somado ao do concreto fresco, ultrapassar o valor de $L_F/250$, onde, L_F é o vão teórico da laje na direção das nervuras, o efeito de empoçamento deve ser levado em conta, considerando-se um acréscimo na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.

A flecha pode ser determinada pela Tabela 4, que apresenta os deslocamentos elásticos em vigas, disponibilizada pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, “Tabela de Vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito”.

Tabela 4 - Deslocamentos Elásticos em Vigas

CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		FLECHA	x	
1		$\frac{1}{8} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{24EI} (\alpha^4 - 4\alpha + 3)$
2		$\frac{1}{30} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (\alpha^5 - 5\alpha + 4)$
3		$\frac{11}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (-\alpha^5 + 5\alpha^4 - 15\alpha + 11)$
4		$\frac{1}{3} \frac{P\ell^3}{EI}$	0	$\frac{P\ell^3}{6EI} (\alpha^3 - 3\alpha + 2)$
5		$\frac{1}{2} \frac{M\ell^2}{EI}$	0	$\frac{M\ell^2}{2EI} (1 - \alpha)^2$
6		$\frac{5}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	0,5l	$\frac{p\ell^4\alpha}{24EI} (\alpha^3 - 2\alpha^2 + 1)$
7		$\frac{3}{460} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	0,519l	$\frac{p\ell^4\alpha}{360EI} (3\alpha^4 - 10\alpha^2 + 7)$
8		$\frac{1}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0,5l	$\frac{p\ell^4\alpha}{960EI} (16\alpha^4 - 40\alpha^2 + 25)$ (**)
9		$\frac{1}{48} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5l	$\frac{P\ell^3\alpha}{48EI} (-4\alpha^2 + 3)$ (**)

Fonte: Universidade de São Paulo – USP, 2010.

4.1.3 Ações

As ações devem ser consideradas na fase inicial e final da laje. Também deve ser feita a combinação de todas ações.

4.1.3.1 Fase inicial

De acordo com a NBR 8800 (2008) as ações que devem ser consideradas na verificação resistência da fôrma na fase inicial são:

- Os pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço e da armadura;
- Sobrecarga da construção;
- Efeito de empoçamento, caso o deslocamento no centro do vão da fôrma, ultrapasse o valor de $L_f / 250$, considerando-se assim um acréscimo na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.

A determinação dos esforços solicitantes deve levar em conta a sequência de concretagem e na sobrecarga de construção será analisada a pior situação entre os seguintes valores:

- Carga uniformemente distribuída de 1 kN/m²;
- Carga linear de 2,2 kN/m perpendicular à direção das nervuras da fôrma, na posição desfavorável, somente para verificação do momento fletor.

4.1.3.2 Fase final

Nas lajes mistas de aço e concreto, nos estados-limites últimos, deve-se considerar que todo o carregamento é sustentado pelo sistema misto.

4.1.3.3 Combinação de ações

As combinações de ações devem ser feitas de acordo com o item 4.7 da NBR 8800:2008, considerando-se a combinação de ações no decorrer da construção para o dimensionamento da fôrma de aço na fase inicial. O peso próprio do concreto fresco, nesse caso, deve ser considerado como uma ação variável.

4.1.4 Disposições construtivas

De acordo com a NBR 8800 (2008), algumas disposições construtivas devem ser obedecidas:

- a espessura mínima do concreto sobre a fôrma deve ser de no mínimo 50 mm;
- a dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve exceder 0,40 t_c , onde t_c é a altura da laje de concreto acima da fôrma de aço (ver figura 25), nem $b_0/3$, onde b_0 é a largura média das nervuras para fôrmas trapezoidais e a largura mínima para fôrmas reentrantes (ver figura 25), ou ainda, exceder 30 mm;
- A armadura adicional exigida para a resistência da laje ao momento positivo e a armadura necessária para o momento negativo devem obedecer às prescrições da ABNT NBR 6118 para concreto de densidade normal;
- o comprimento mínimo de apoio necessário, deve ser aquele que evite o enrugamento da alma da fôrma de aço ou esmagamento do apoio. Entretanto deve ser superior a 75 mm para apoio em aço ou concreto, e 100 mm para apoio em outros materiais, podendo ser reduzidos para 50 mm e 70 mm, respectivamente, quando se localizarem nas extremidades da fôrma.

4.1.5 Verificação da laje para cargas concentradas ou lineares

Verificação segundo a NBR 8800, para cargas concentradas ou lineares.

4.1.5.1 Distribuição

Quando cargas concentradas ou lineares paralelas às nervuras da fôrma de aço forem suportadas pela laje, pode-se considerá-las como distribuídas em uma largura b_m , medida imediatamente acima do topo da fôrma”. (NBR 8800, 2008, p. 220). (Ver Figura 28).

$$b_m = b_p + 2(t_c + h_r) \quad (28)$$

Onde:

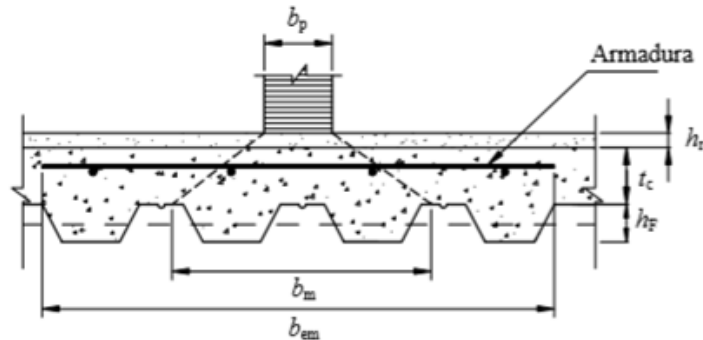
b_p = largura da carga concentrada perpendicular ao vão da laje;

t_c = altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;

h_r = altura do revestimento da laje, se houver.

Para cargas lineares perpendiculares às nervuras, a fórmula representada acima pode ser utilizada, em que a largura b_p deve ser tomada como comprimento da carga linear.

Figura 28 - Distribuição das cargas concentradas ou lineares



Fonte: ABNT NBR 8800, 2018.

4.1.5.2 Largura Efetiva

Para determinação da resistência, necessita-se considerar uma largura efetiva que não exceda os seguintes valores:

- para momento fletor e cisalhamento longitudinal:
 - I. nos casos de vão simples e tramos extremos de lajes contínuas:

$$b_{em} = b_m + 2 L_p \left(1 - \frac{L_p}{L_F} \right) \quad (29)$$

- II. no caso de tramos internos de lajes contínuas:

$$b_{em} = b_m + 1,33 L_p \left(1 - \frac{L_p}{L_F} \right) \quad (30)$$

- para cisalhamento vertical:

$$b_{ev} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L_F} \right) \quad (31)$$

Onde:

L_p = distância do centro da carga ao apoio mais próximo;

L_F = vão teórico da laje na direção das nervuras.

Para os valores de b_{em} e b_{ev} , não podem ser considerados valores superiores a $2700[t_c/(h_F + t_c)]$, em milímetros, onde h_F é a altura da fôrma de aço e t_c é a altura da laje de concreto acima do topo da fôrma (ver Figura 27). Esse limite não se aplica para cargas lineares perpendiculares às nervuras e para qualquer situação quando a armadura de distribuição for igual ou superior a 0,2% da área de concreto acima da fôrma de aço.

4.1.5.3 Armadura de distribuição

Para assegurar a distribuição de cargas concentradas ou lineares, deve-se colocar armadura transversal de distribuição em toda a largura efetiva considerada, devidamente ancorada, seguindo as prescrições da ABNT NBR 6118:2014, ou Eurocode 2 Part 1-1 quando este se fizer necessário pela característica do concreto. Essa armadura, segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), pode ser calculada para o momento transversal dado por (ver Figura 29):

$$M_{d,Rd} = \frac{F_d b_{em}}{15 w} \quad (32)$$

Ou:

$$M_{d,Rd} = \frac{F_d b_{ev}}{15 w} \quad (33)$$

O que for aplicável com:

$$w = \frac{L_F}{2} + b_1 \leq L_F \quad (34)$$

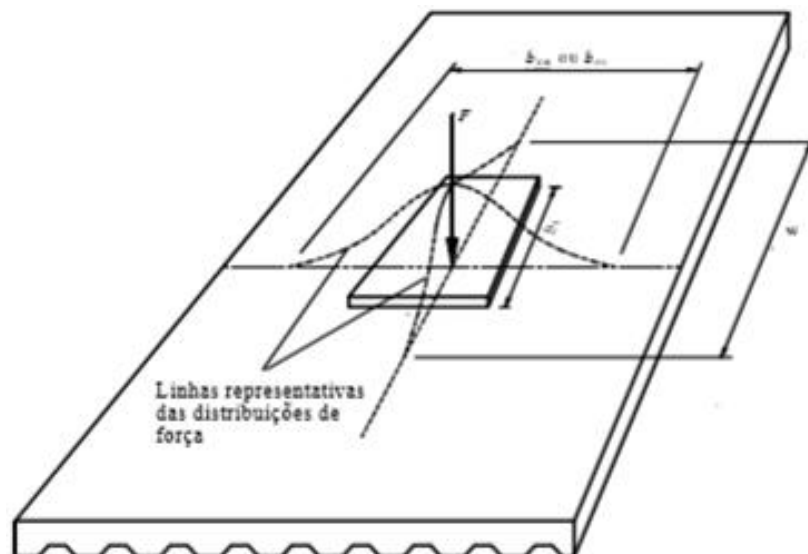
Onde:

F_d = carga concentrada de cálculo;

b_1 = largura da carga concentrada na direção paralela ao vão da laje;

L_F , b_{em} , e b_{ev} são dados no item anterior.

Figura 29 - Armadura de distribuição



Fonte: ABNT NBR 8800, 2008.

Para carga linear paralela ao vão pode-se adotar o mesmo procedimento descrito acima, tomando-se para F_d o valor da carga no menor comprimento, b_1 ou L_F .

Quando não há armadura de distribuição, a largura efetiva deve ser tomada como b_m , exceto no caso de carga linear perpendicular ao vão, onde se pode adotar somente a armadura nominal de 0,1% da área de concreto acima da face superior da fôrma.

4.1.6 Aços utilizados para fôrma e revestimento

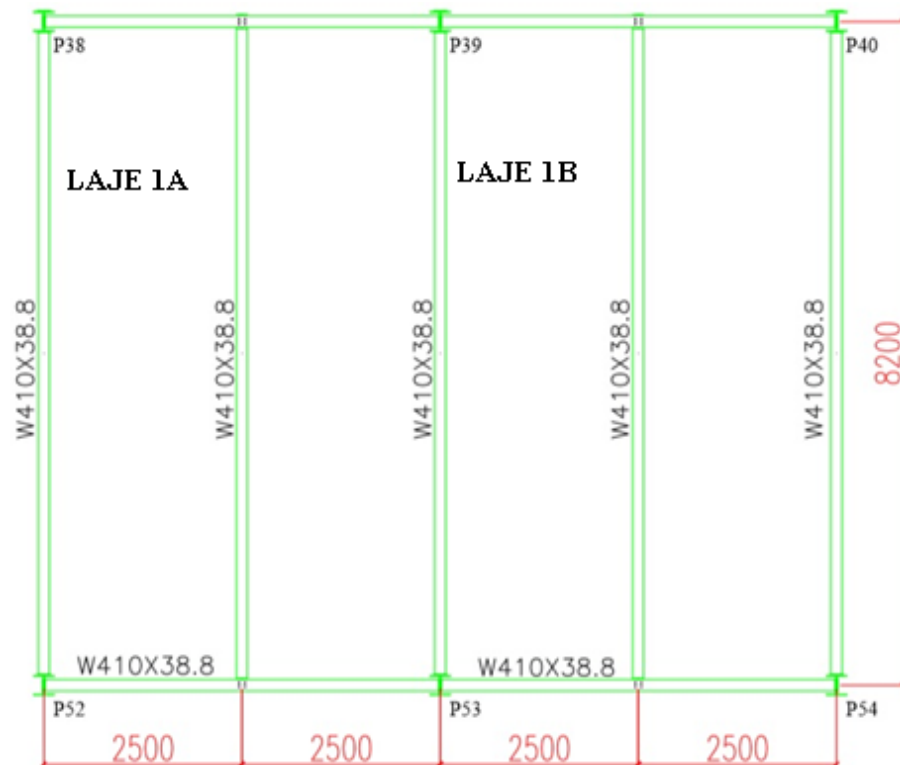
As fôrmas de aço para elaboração das lajes mistas devem ser fabricadas em chapas de aço estrutural que atendam os critérios da ABNT NBR 14762:2010. Conforme a ABNT NBR 8800 (2008), considerando ambientes não agressivos, uma galvanização com massa total de 275 g/m² de zinco nas duas faces da fôrma, é suficiente. Para outros ambientes, pode-se aumentar a massa de zinco ou usar uma pintura apropriada para manter a integridade da fôrma. Qualquer outro tipo de proteção pode ser utilizada, desde que estas, através de demonstrações de estudos, garantam a integridade da fôrma pelo período de tempo desejado.

5 DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA MODELO

Como base para o dimensionamento prático, foi utilizado parte do segundo pavimento do projeto de estruturas metálicas da Biblioteca da UniEvangélica (ver Figura 30), na cidade de Anápolis, estado de Goiás, Brasil. As vigas usadas como apoio para as fôrmas do *steel deck*, são as W 410x38,8 da Gerdau Aço Minas.

Este esquema de painel de lajes será dividido em 2 lajes com mesmas dimensões e propriedades, já que os vão máximos entre as vigas são iguais, 2,5 metros. A laje 1A está disposta entre os pilares P38, P39, P53 e P52, já a laje 1B se encontra diante dos pilares P39, P40, P54 e P53. A laje portanto terá apoios triplos.

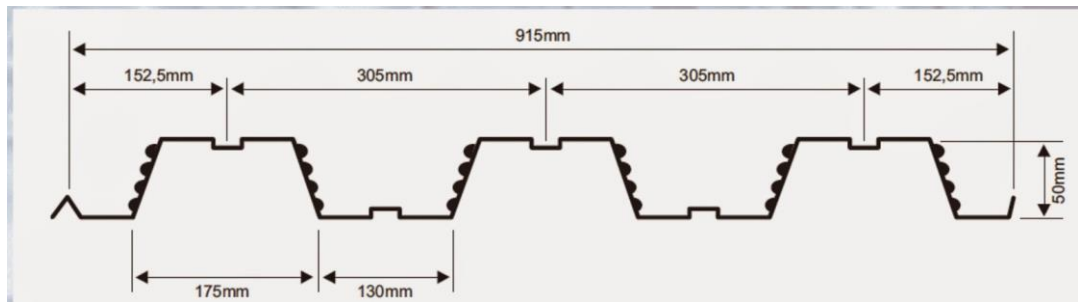
Figura 30 - Pavimento modelo (dimensões em mm)



Fonte: Cardoso, 2019.

O perfil da telha-fôrma será o MF-50, de espessura 1,25mm e com largura útil de 915mm. É uma laje de piso, portanto a altura mínima para este tipo de fôrma, segundo o catálogo da Metform, é de 110mm. Com isso nosso cobrimento terá 60mm, pois a altura da fôrma é de 50mm, como mostra a Figura 31.

Figura 31 - Modelo de fôrma MF-50



Fonte: Metform S.A, 2017.

As cargas permanentes foram encontradas de acordo com a tabela do fabricante e os valores de sobrecarga foram definidos de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 1980). O pavimento em estudo possui corredores e salas de aula, com isso teremos os seguintes valores:

- Peso próprio da laje (P_1): 2,13 kN/m² (dados do fabricante)
- Revestimento (Q_1): 1,00 kN/m² (NBR 6120, pág.01, item 2.1.2)
- Sobrecarga de utilização (Q_2): 3,00 kN/m² (NBR 6120, pág.03, item 13)
- γ : fator de majoração.

Com isso o carregamento total (Q_t) será de:

$$Q_t = (P_1 \cdot \gamma_{P1} + Q_1 \cdot \gamma_{Q1} + Q_2 \cdot \gamma_{Q2})$$

$$Q_t = 2,13 \cdot 1,2 + 1,4 \cdot 1,00 + 1,3 \cdot 3,00$$

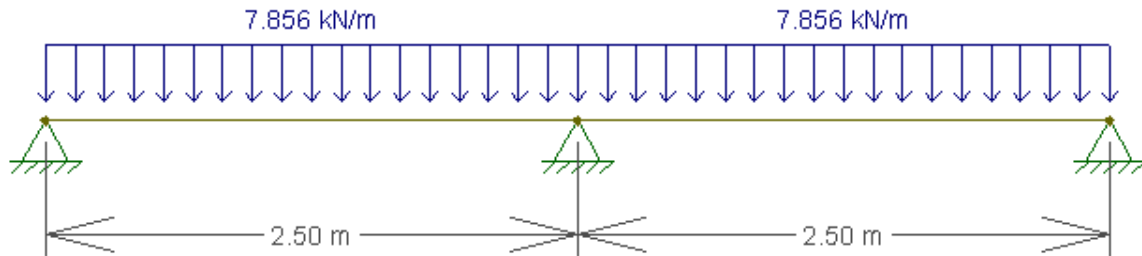
$$Q_t = 7,856 \text{ kN/m}^2$$

De acordo com a tabela de cargas e vãos máximos do Manual Técnico da Metform (2019), temos que, para uma telha-fôrma de aço MF-50 com espessura de 1,25mm, a carga máxima sobreposta (desconta-se o peso próprio) suportada para uma laje com altura de 110mm e um vão de 2500 mm, é de 8,15 kN/m². Como a carga sobreposta na laje será 5,3 kN/m² ($Q_1 \cdot \gamma_{Q1} + Q_2 \cdot \gamma_{Q2}$), a escolha da telha-fôrma está adequada.

A distribuição de cargas para a seção da laje (para a chapa metálica com largura de 1000mm, portanto trechos de 1m) está representada na Figura 32. Para construir o diagrama de esforço cortante e o diagrama de momento fletor, representados respectivamente nas

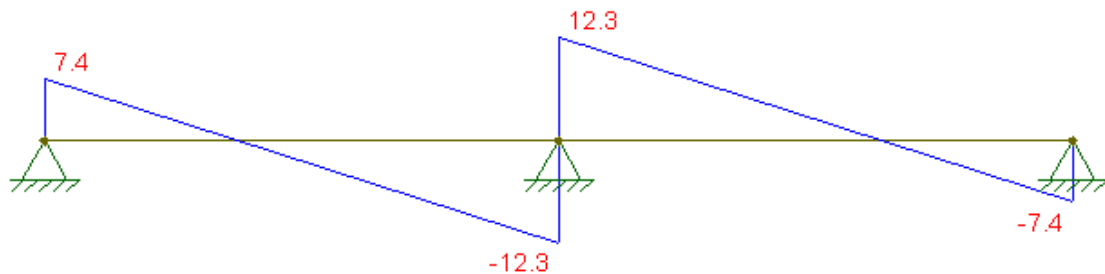
Figuras 33 e 34, foi utilizado o programa Ftool, da PUC-RIO, que mostra o comportamento estrutural da laje.

Figura 32 - Distribuição de cargas



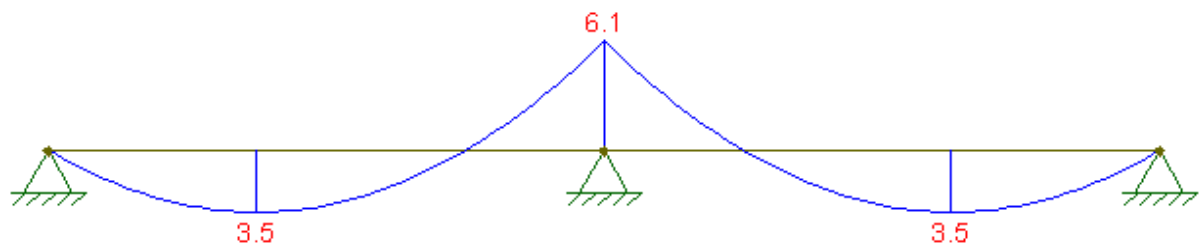
Fonte: Próprios autores, 2019.

Figura 33 - Diagrama esforço cortante (kN)



Fonte: Próprios autores, 2019.

Figura 34- Diagrama momento fletor



Fonte: Próprios autores, 2019.

Como mostra os diagramas acima, temos o esforço cortante máximo de cálculo $V_{sd} = 12,3$ kN e o momento máximo de cálculo $M_{sd} = 6,1$ kN.m,

O perfil da fôrma de aço é o Telha-Fôrma MF-50 com espessura de 0,95 mm, aço ZAR-280 (ATSM A-653 gr.40), galvanização Z-275, limite de escoamento de 280 Mpa (0,28 kN/mm²) e concreto com $f_{ck} = 20$ Mpa (0,02 kN/mm²), como mostra o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Propriedades físicas da fôrma MF-50

Esp. Final (t)	Esp. Projeto	Altura Total (h _t)	Peso	Reações Máximas de Apoio		Módulo de Resistência	Inércia p/ Deformação	Área de Aço	Centro Gravitacional
				Externo	Interno				
mm	mm	mm	kg/m ³ kN	kN	mm	mm ³	Mm ⁴	mm ²	mm
0,80	0,76	52,26	8,39	4,95	14,67	14.599	449.419	997	26,13
0,95	0,91	52,41	9,97	6,51	20,89	18.778	562.372	1.193	26,21
1,25	1,21	52,71	13,11	11,41	35,43	27.791	786.502	1.587	26,36

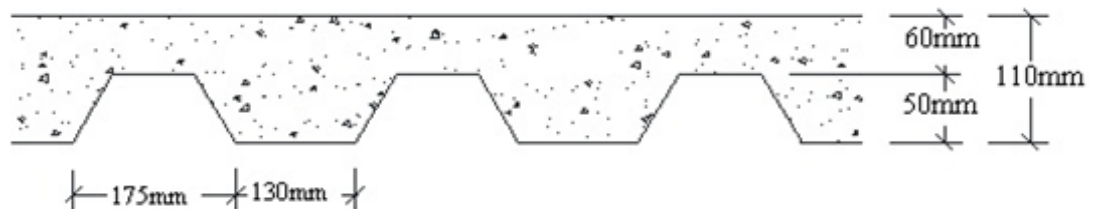
Propriedades para largura de 1.000 mm;
Material: aço **ZAR-280** (ASTM A-653 gr.40), limite de resistência ao escoamento: **280MPa**, galvanização **Z-275**.

Fonte: Metform S.A, 2018.

De acordo com a tabela da Metform ilustrada acima, a reação máxima de apoio externa que a fôrma de espessura 1,25mm suporta é de 11,41 kN e a reação máxima de apoio interno é de 35,43 kN. No diagrama de esforço cortante acima, podemos notar que a força máxima cortante nos apoios externos é de 7,4 kN e nos internos é de 12,3 kN, portanto a fôrma atende as solicitações.

Na Figura 35 é ilustrada as larguras da fôrma e a altura da laje, com 60mm de altura do concreto e 50mm de altura da fôrma metálica.

Figura 35 - Dimensões e propriedades físicas da fôrma MF-50



Fonte: Metform S.A, 2018.

Dados conforme tabela e figura acima:

- $d_F = (60 + 26,36) = 86,36$ mm
- $b = 1000$ mm
- $b_n = 305$ mm
- $t_c = 60$ mm
- $A_{F, ef} = 1587$ mm²

5.1 VERIFICAÇÕES

As verificações foram feitas de acordo com o capítulo anterior, baseado na NBR 8800 (ABNT, 2008).

5.1.1 Momento fletor

O primeiro passo é determinar a posição da linha neutra (a):

$$N_{pa} = A_{F,ef} \cdot f_{yd}$$

$$N_{pa} = 1587 \cdot \frac{0,28}{1,15}$$

$$N_{pa} = 386,4 \text{ kN}$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot b \cdot t_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot \frac{0,02}{1,4}$$

$$N_{cf} = 728,57 \text{ kN}$$

Com isso, temos que, $N_{cf} > N_{pa}$, portanto podemos afirmar que a posição da linha neutra plástica (LNP) encontra-se acima da fôrma de aço e assim podemos determinar momento fletor positivo resistente de cálculo.

$$M_{rd} = N_{pa} \cdot (d_F - 0,5 \cdot a)$$

Onde:

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$a = \frac{386,4}{0,85 \cdot \frac{0,02}{1,4} \cdot 1000}$$

$$a = 31,82 \text{ mm}$$

Portanto:

$$M_{rd} = 386,4 \cdot (86,36 - 0,5 \cdot 31,82) \times 10^{-3}$$

$$M_{rd} = 27,22 \text{ kN.m}$$

$$M_{sd} = 6,1 \text{ kN.m}$$

Logo, $M_{rd} > M_{sd}$, portanto a verificação do momento fletor está OK!

5.1.2 Cisalhamento longitudinal

Na verificação do cisalhamento longitudinal, temos que:

$$V_{L,rd} = \frac{b \cdot d_F \left[\left(\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}}$$

Onde:

$$L_s = \frac{L_F}{4}$$

$$L_s = 0,9 \cdot \frac{2,5}{4}$$

$$L_s = 0,5625 \text{ m}$$

Os valores de m e k são valores atingidos através de ensaios, de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008). Para este trabalho, serão adotados os valores de m e k , obtidos através dos ensaios de Araujo (2008), que são, respectivamente, 33,539 kN/m e 257,89 kN/m² (Tabela 7). Estes valores foram encontrados com base em um modelo com dimensões similares ao modelo dimensionado neste estudo, como mostra o Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Dados dos modelos e resultados dos ensaios

Modelo	t (mm)	B (m)	h _t (m)	d _p (m)	L (m)	L' (m)	P _u (kN)	P _{ue} (kN)	PP _{laje} (kN/m ²)	V _{ut} (kN)
01A	0,80	0,856	0,110	0,080	2,502	0,800	32,170	35,870	2,030	20,109
01B	0,80	0,859	0,110	0,080	2,487	0,794	33,710	37,410	2,030	20,873
01C	0,80	0,857	0,110	0,080	2,500	0,800	32,720	36,420	2,030	20,385
02A	0,80	0,861	0,143	0,113	2,500	0,451	57,170	60,870	2,760	33,405
02B	0,80	0,856	0,145	0,115	2,509	0,452	56,290	59,990	2,760	32,959
02C	0,80	0,858	0,145	0,115	2,499	0,450	63,450	67,150	2,760	36,534
03A	0,95	0,860	0,110	0,080	2,500	0,800	40,430	44,130	2,050	24,269
03B	0,95	0,861	0,115	0,085	2,500	0,800	40,650	44,350	2,050	24,381
03C	0,95	0,858	0,113	0,083	2,500	0,800	38,450	42,150	2,050	23,274
04A	0,95	0,860	0,146	0,116	2,505	0,452	62,856	66,556	2,780	36,272
04B	0,95	0,859	0,143	0,113	2,499	0,451	65,529	69,229	2,780	37,598
04C	0,95	0,858	0,143	0,113	2,500	0,450	67,581	71,281	2,780	38,622

Fonte: Araujo, 2008.

Onde, segundo Araujo (2008), na tabela acima os dados geométricos e os valores de carga apresentados correspondem a:

t = espessura do deck;

B = largura do modelo;

h_t = altura total do modelo;

d_p = altura efetiva do modelo;

L = vão do modelo;

L' = vão de cisalhamento do modelo;

P_u = carga máxima aplicada pelo atuador hidráulico durante o ensaio;

P_{ue} = carga P_u acrescida do peso do aparato de aplicação de carga;

pp_{laje} = peso próprio teórico da laje por unidade de área;

V_{ut} = cisalhamento transversal último total, dado por:

$$V_{ut} = \frac{P_{ue} \cdot L \cdot B \cdot pp_{laje}}{2}$$

Os valores de m e k aparecem no Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 - Determinação dos parâmetros m e k

Modelo	V_{utk} (kN)	$X(m^{-1})$	$Y(kN/m^2)$	Parâmetros
01A				$m = 37,473$ (kN/m)
01B	18,500	1,250	270,157	
01C				
02A				$k = 223,32$ (kN/m ²)
02B	30,144	2,212	306,22	
02C				
03A				$m = 33,539$ (kN/m)
03B	21,351	1,250	299,82	
03C				
04A				$k = 257,89$ (kN/m ²)
04B	33,130	2,212	332,09	
04C				

Fonte: Araujo, 2008.

Sendo assim, temos que:

$$V_{l,rd} = \frac{b \cdot d_F \left[\left(\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}}$$

$$V_{l,rd} = \frac{1 \cdot 0,08636 \left[\left(\frac{33,539 \cdot 0,001587}{1 \cdot 0,5625} \right) + 257,89 \right]}{1,25}$$

$$V_{l,rd} = 17,82 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 12,3 \text{ kN}$$

$V_{l,rd} > V_{sd}$, logo a verificação do cisalhamento longitudinal está OK!

5.1.3 Cisalhamento vertical

Para verificação do cisalhamento vertical, temos:

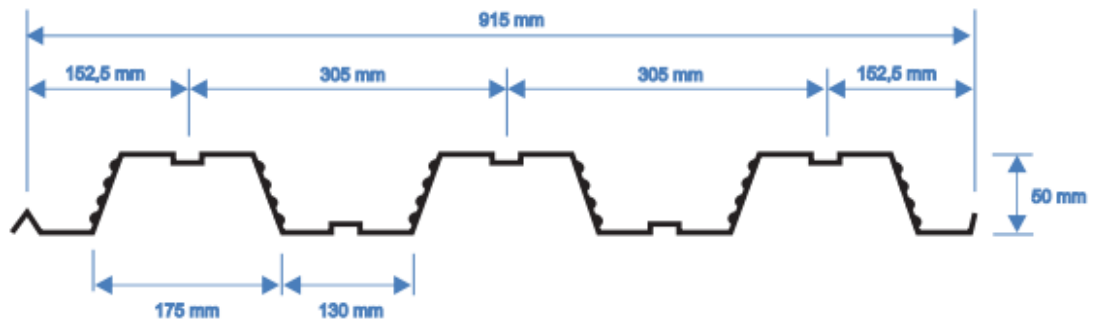
$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot \tau_{Rd} \cdot K_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot A_v}{b_n}$$

Com:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v}$$

As dimensões de A_v e A_s , foram encontradas com base nas dimensões da fôrma MF50, que aparece na Figura 36.

Figura 36 - Dimensões MF-50



Fonte: Metform S.A, 2019.

$$A_s = \left(\sqrt{\left(\left(\frac{175 - 130}{2} \right)^2 + 50^2 \right)} + 130 + \sqrt{\left(\left(\frac{175 - 130}{2} \right)^2 + 50^2 \right)} \right) \cdot 1,25$$

$$A_s = 299,57 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \left(\frac{B + b}{2} \right) \cdot h$$

$$B = (27,011 \cdot 2) + (22,5 \cdot 2) + 130$$

$$B = 229,022 \text{ mm}$$

$$b = 130 \text{ mm}$$

$$A_v = \left(\frac{229,022 + 130}{2} \right) \cdot 110$$

$$A_v = 19746,21 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{299,57}{19746,21} = 0,01517 \leq 0,02$$

$$K_v = 1,0$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd}$$

Com:

$$f_{ctd} = \frac{\eta \cdot f_{ctk, inf}}{\gamma_c}$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 (\rho c / 2400)$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 (2400 / 2400)$$

$$\eta = 1;$$

$$f_{ctr, inf} = 0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctr, inf} = 0,21 \cdot 20^{2/3}$$

$$f_{ctr, inf} = 1,5473 \text{ Mpa}$$

$$f_{ctd} = \frac{1 \cdot 1,5473}{1,25}$$

$$f_{ctd} = 1,23784 \text{ Mpa}$$

Portanto temos:

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot 1,23784$$

$$\tau_{Rd} = 0,31 \text{ Mpa} = 0,00031 \text{ kN/mm}^2$$

Sendo assim:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot 0,00031 \cdot 1,0 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,01517) \cdot 19746,21}{305}$$

$$V_{v,c,Rd} = 36,262 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 12,3 \text{ kN}$$

Com isso temos que $V_{v,c,Rd} > V_{sd}$, verificação do cisalhamento vertical OK!

5.1.4 Deslocamento máximo

Para determinar o deslocamento máximo (δ_{\max}) ou seja, a flecha, utilizaremos a seguinte equação:

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_{cd}}$$

Onde:

$$q = 3 \text{ kN/m}^2 = 3,0 \times 10^{-6} \text{ kN/mm}^2 \text{ (sobrecarga sala de aula)}$$

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$E_c = 200233 \text{ Mpa} = 200,233 \text{ kN/mm}^2$$

$$I_{cd} = 8,19 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$$

Portanto:

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot 3 \times 10^{-6} \cdot 2500^4}{384 \cdot 200,233 \cdot 8,19 \times 10^6}$$

$$\delta_{\max} = 9,305 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,9305 \text{ mm}$$

O deslocamento admissível é:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{350}$$

Com $L = 2500\text{mm}$

Portanto:

$$\delta_{adm} = \frac{2500}{350}$$

$$\delta_{adm} = 7,14 \text{ mm}$$

Logo temos que $\delta_{\max} < \delta_{adm}$, portanto a verificação do deslocamento máximo OK!

Na armadura para combater a fissuração, são utilizadas telas soldadas ou malhas de barras trefiladas, de acordo com o manual técnico da Metform. Ela deverá estar localizada no topo da laje com cobrimento mínimo de 20 mm.

A área de aço mínima deve atender o critério: 0,1% da área de concreto acima da face superior da fôrma, conforme a NBR 8800 (ABNT,2008).

Portanto temos que:

$$A_s \geq 0,1\% (h_c \cdot b)$$

$$A_s \geq 0,1\% (6,0 \cdot 100)$$

$$A_s \geq 0,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos cálculos do capítulo anterior, podemos verificar os valores de cálculo que a laje apresenta de acordo com as solitações. Em resumo, uma laje com 110mm de altura, 1000mm de largura, fôrma metálica com 1,25mm de espessura e um vão-máximo de 2,5m, possui as seguintes verificações ilustradas nas tabelas abaixo.

Tabela 5 - Verificação momento fletor

Momento fletor			
Dimensão da Laje (mm)	M_{rd}	M_{sd}	Verificação
5000x8200	27,22 kNm	6,1 kNm	OK!

Fonte: Próprios autores, 2019.

Como podemos notar na Tabela 5, o momento fletor resistente de cálculo, M_{rd} , é maior que o momento máximo, M_{sd} , portanto a fôrma escolhida para o modelo de esquema estrutural, atende a essa solicitação.

$$M_{rd} > M_{sd}$$

$$27,22 \text{ kNm} > 6,1 \text{ kNm}$$

Tabela 6 - Verificação cisalhamento longitudinal

Cisalhamento longitudinal			
Dimensão da Laje (mm)	V_{lrd}	V_{sd}	Verificação
5000x8200	17,82 kN	12,3 kN	OK!

Fonte: Próprios autores, 2019.

Quanto ao cisalhamento longitudinal, a fôrma também atende a solicitação, pois a força cortante longitudinal resistente de cálculo, $V_{l,rd}$, é maior que o força cortante máxima, V_{sd} , como mostra a Tabela 6.

$$V_{l,rd} > V_{sd}$$

$$17,82 \text{ kN} > 12,3 \text{ kN}$$

Tabela 7 - Verificação cisalhamento vertical

Cisalhamento Vertical			
Dimensão da Laje (mm)	$V_{v,c,Rd}$	V_{sd}	Verificação
5000x8200	36,262 kN	12,3 kN	OK!

Fonte: Próprios autores, 2019.

Em relação ao cisalhamento vertical, a laje também atende a verificação, como mostra a Tabela 7. A força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, $V_{v,c,Rd}$, é maior que o esforço cortante máximo, V_{sd} .

$$V_{v,c,Rd} > V_{sd}$$

$$36,262 \text{ kN} > 12,3 \text{ kN}$$

Tabela 8 - Verificação deslocamento máximo

Deslocamento máximo			
Dimensão da Laje (mm)	δ_{adm}	$\delta_{m\acute{a}x}$	Verificação
5000x8200	7,14 mm	0,9305 mm	OK!

Fonte: Próprios autores, 2019.

Na Tabela 8 podemos verificar que a flecha, ou deslocamento máximo, $\delta_{m\acute{a}x}$, é menor que o deslocamento admissível, δ_{adm} . Portanto a fôrma também atende a esta verificação.

$$\delta_{m\acute{a}x} < \delta_{adm}$$

$$0,9305\text{mm} < 7,14 \text{ mm}$$

7 CONCLUSÃO

O sistema de lajes mistas *steel deck*, em conjunto com estruturas metálicas, proporciona um modelo construtivo de maior agilidade em obras de grande porte, quando comparado a outros métodos convencionais utilizados.

O setor da construção civil no Brasil, carece de sistemas inovadores que buscam maior trabalhabilidade. O método com fôrma colaborante, elimina partes da obra que geralmente geram empecilhos, como o uso de fôrmas e escoramentos dos métodos convencionais. O uso deste sistema, gera um canteiro de obras limpo e sem geração de entulhos, o que contribui para a sustentabilidade da construção.

Não existem grandes complicações para realizar esse tipo de laje, os maiores problemas estão relacionados às questões de logística e alto custo da fôrma, onde a maior parte dos fabricantes se encontram na região Sudeste do país. Uma maior difusão deste sistema, pode gerar uma maior produção e conseqüentemente diminuição do valor da fôrma, com isso um maior incentivo para utilizar este método.

Se trata de um conceito novo, pouco difundido no Brasil, com solicitações e custos ainda desconhecidos por muitos. Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram notados alguns aspectos que talvez sejam responsáveis pela dificuldade de introdução deste sistema no país, como a falta de normas específicas, estudos e a necessidade de uma maior especialização de mão-de-obra.

Este método construtivo é bem disseminado nos países que são potências na construção civil, sendo assim, se torna indispensável a elaboração de novos estudos e normas técnicas específicas no Brasil, para assim poder alcançar uma maior segurança e tecnologia na estruturação deste sistema.

Por fim, serve como sugestão para trabalhos futuros: análise comparativa de custos entre a elaboração do sistema de lajes mistas *steel deck* com outros métodos usuais de execução de lajes, no território brasileiro, para obras de grande porte.

8 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Gabriel Soriano de. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E DA RESISTÊNCIA DE UM SISTEMA DE LAJES MISTAS PELO MÉTODO DA INTERAÇÃO PARCIAL**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/PASA-7RQGLQ/1/214.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BONAFÉ, Gabriel. **Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%**. 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6421>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

CAMPOS, Paulo César de. **Efeito da continuidade no comportamento e na resistência de lajes mistas com fôrma de aço incorporada**. 2001. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/87M.PDF>>. Acesso em: 25 maio 2019.

CBCA. **Vantagens | Construção em Aço**. 2019. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **A fabricação e a montagem da estrutura metálica**. 2015. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7150>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

CICHINELLI, Gisele. **Construção rápida**: Sistema misto que dispensa parcial ou totalmente o escoramento, o steel deck agiliza a execução e reduz custos. 2011. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo287917-2.aspx>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CICHINELLI, Gisele. **Lajes em steel deck**. 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>>. Acesso em: 23 abr. 2019

CICHENELLI, Giseli. **Norma padroniza sistema para Steel Deck**. 2016. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7228>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

COSTA, Fábio Gomes da. **Importância dos Projetos nas obras em Estruturas Metálicas**. 2013. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=859>. Acesso em: 15 abr. 2019.

FALEIROS, João Paulo Martin; TEIXEIRA JUNIOR, Job Rodrigues; SANTANA, Bruno Marques. **O crescimento da indústria brasileira de estruturas metálicas e o boom da construção civil: um panorama do período 2001-2010**. 2012. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3502.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

INABA, Roberto; COELHO, Catia Mac Cord Simões. A Evolução da Construção em Aço no Brasil. 2015. Página 58. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-revistas.php?codDestaque=101339>>. Acesso em: 20 out. 2019.

MARGARIDO, Aluizio Fontana. **Perfis Metálicos: Métodos de Obtenção e Padronização**. 2014. Disponível em: <<http://www.cursoscbca.com.br/moodle/arquivos/pdfs/DimensionamentoEstruturaAco/cap03.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

METFORM. **Têlha-forma**. 2015. Disponível em: <<http://www.metform.com.br/wordpress/?project=telha-forma>>. Acesso em: 26 maio 2019.

METFORM. **Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem**. Betim: Metform, 2017.

NAKAMURA, Juliana. **Montagem e concretagem de steel deck exigem cuidados especiais**. 2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/montagem-e-concretagem-de-steel-deck-exigem-cuidados-especiais_17427_10_0>. Acesso em: 30 maio 2019.

PEREIRA, Caio. Estrutura Metálica: **Processo executivo, vantagens e desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/estrutura-metalica/>>. Acesso em: 11 de abril de 2019.

PFEIL, Walter. **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHO, Mauro Ottoboni. **Manual Transporte e Montagem**. 2005. Disponível em: <http://mkestruturasmetalicas.com.br/mk-manuais/Manual_Transporte_Montagem.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019

PORTAL METÁLICA - CONSTRUÇÃO CIVIL. **Construção de Edificações Multiandares em Aço**. 2017. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcao-de-edificacoes-multiandares-em-aco>>. Acesso em: 20 maio 2019.

SILVA, Graziela. **Com dupla função, steel deck racionaliza e acelera a obra**. 2014. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/com-dupla-funcao-steel-deck-racionaliza-e-acelera-a-obra_8558_10_0>. Acesso em: 10 maio 2019.

SPUTO, Thomas. **Development of Composite Steel Deck**. 2012. Disponível em: <<https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/D-CodeUpdates-Sputo-Aug121.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

ANEXO A

Tabela 9 - Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas METFORM MF 50

TELHA-FÓRMA MF-50

Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas (kN/m²)Aço ZAR-280 - $f_y = 280$ MPa

Espes- Sura (tr) (mm)	Vãos Máximos Sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m)	Momento Inércia (10 ⁸ mm ⁴)	Vãos da Laje Mista com Telha-fórma MF-50 (mm)															
	Simplex	Duplo	Triplô	Balanço			1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
Carga Sobreposta Máxima (kN/m²)																						
100																						
0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,19	3,77	3,38
110																						
0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
120																						
0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
130																						
0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19
0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06
1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79
140																						
0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41
0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,67	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36
1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26
150																						
0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63
0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,66	4,13	3,66
1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72
160																						
0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84
0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96
1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19
170																						
0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06
0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26
1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66

Fonte: Metform, 2017.