

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GLEDSON TIAGO DIAS
WESLEY DE SÁ ABREU

LAJES STEEL DECK

ANÁPOLIS / GO

2018

**GLEDSON TIAGO DIAS
WESLEY DE SÁ ABREU**

LAJES STEEL DECK

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

ORIENTADOR: ROGÉRIO SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

DIAS, GLEDSON TIAGO/ABREU, WESLEY DE SÁ

Lajes Steel Deck

69P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Lajes Steel Deck

2. Estruturas mistas de aço e concreto

3. Dimensionamento

I. CARDOSO, Rogério Santos

II. Lajes Steel Deck

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DIAS, Gledson Tiago; ABREU, Wesley de Sá. Lajes steel deck. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 69p. 2018

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gledson Tiago Dias

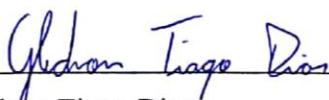
Wesley de Sá Abreu

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Lajes Steel Deck

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

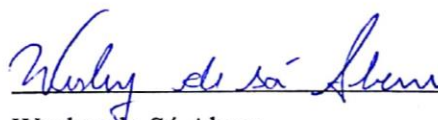
ANO: 2018

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.



Gledson Tiago Dias

E-mail: gledsontiadodias@live.com



Wesley de Sá Abreu

E-mail: abreuerizia@gmail.com

**GLEDSON TIAGO DIAS
WESLEY DE SÁ ABREU**

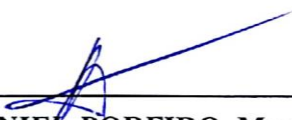
LAJES STEEL DECK

**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)**



**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**CARLOS EDUARDO FERNANDES, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 07 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me dar forças e a graça de levantar todos os dias, com saúde e disposto a enfrentar um dia inteiro de trabalho, e depois continuar a jornada na faculdade, durante esses anos.

Agradeço aos meus pais por todo apoio que foi me dado até aqui, me incentivando, me cobrando, me ajudando no que fosse preciso.

Agradeço a Deus pela minha filha, Ana Laura Dias, minha maior riqueza. Foi por ela, e continua sendo a minha motivação de todos os dias, para nunca desistir das dificuldades enfrentadas nesses últimos anos.

Agradeço o carinho dos meus familiares em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu orientador Rogério Santos Cardoso e aos professores da UniEvangélica, por terem demonstrado dedicação e total apoio por todos esses anos.

Gledson Tiago Dias

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por mais esse trabalho concluído.

Ao professor Rogério Santos Cardoso pela sabedoria e determinação que me orientou durante a realização desse trabalho.

Wesley de Sá Abreu

RESUMO

As lajes steel deck surgiu na década de 1950 nos Estados Unidos e passou a ser empregado largamente desde então. No Brasil o steel deck começou a ser difundido na década de 1970. Desde então esse tipo de sistema vem sendo estudado e cada vez mais difundido, com surgimento de novas empresas e com aprimoramento das técnicas construtivas existentes. As lajes mistas (steel deck) ou lajes com fôrma colaborante, são lajes compostas por uma telha de aço galvanizado combinado com o concreto. São utilizadas telhas trapezoidais que servem de fôrma para o concreto até sua cura e após a secagem ela passa a trabalhar como armadura positiva para as cargas de serviço. O steel deck se destaca por ser um sistema de construção rápida e de fácil instalação, possui uma alta qualidade no acabamento da laje e reduz gastos com o desperdício de material, funcionam ainda como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalham em andares inferiores. Esse sistema possui diversas vantagens em relação a outros. O steel deck não possui uma norma técnica exclusiva para dimensionamento e verificação, sendo assim, projetistas utilizam-se das normas ABNT NBR 8800:2008, ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 14323:2013, além de requisitos do Eurocode 4 Part 1-1, no CSSBI S2, ou na ANSI/ASCE 3-91.

PALAVRAS-CHAVE: Lajes mistas. Steel deck. Fôrma colaborante. Dimensionamento. Verificação.

ABSTRACT

The steel deck slabs emerged in the 1950s in the United States and have since become widely used. In Brazil the steel deck began to be diffused in the 1970s. Since then this type of system has been studied and increasingly widespread, with the emergence of new companies and with improvement of existing construction techniques. The steel slabs or cooperating slabs are slabs composed of a galvanized steel tile combined with concrete. Trapezoidal tiles are used that serve as a mold for the concrete until its cure and after drying it starts to work as a positive reinforcement for the service loads. The steel deck stands out because it is a quick and easy installation system, it has a high quality finish in the slab and reduces waste with material waste, it also serves as a service platform and protection for workers working on lower floors. This system has several advantages over others. The steel deck does not have a unique technical standard for sizing and verification, therefore, designers are using the standards ABNT NBR 8800: 2008, ABNT NBR 6118: 2014, ABNT NBR 14762: 2010 and ABNT NBR 14323: 2013, as well as requirements of Eurocode 4 Part 1-1, in CSSBI S2, or in ANSI / ASCE 3-91.

KEYWORDS: Mixed slabs. Steel deck. Collaborating form. Sizing. Verification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação de steel deck em edifício de múltiplos andares	19
Figura 2 – Lajes mistas de aço e concreto	20
Figura 3 - Face inferior das formas pintadas, para garantir maior durabilidade	22
Figura 4 - Instalações aparentes.....	22
Figura 5 - Conectores stud bold fazem a solidarização da laje com a estrutura metálica	23
Figura 6 – Geometria do deck metálico.....	25
Figura 7 – Ensaio de modelos da laje mista após a cura do concreto.....	26
Figura 8 – Disposição da armadura adicional	30
Figura 9 – Dimensões telha-fôrma MF-75	31
Figura 10 – Conectores tipo U.....	33
Figura 11 – Conector tipo pino com cabeça	33
Figura 12 – Determinação de e_{mh}	37
Figura 13 - Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço.....	41
Figura 14 - Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica na fôrma de aço.....	41
Figura 15 - Largura plana dos elementos da fôrma	42
Figura 16 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto	43
Figura 17 - Perímetro crítico para punção	47
Figura 18 - Distribuição das cargas concentradas ou lineares.....	50
Figura 19 - Armadura de distribuição.....	52
Figura 20 – Pavimento tipo (dimensões em mm).....	54
Figura 21 – Dimensões telha-forma MF-75	54
Figura 22 – Distribuição de cargas	55
Figura 23 – Diagrama de momento fletor (kN.m).....	56
Figura 24 – Diagrama de esforço cortante (kN).....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagens máximas de elementos adicionais	27
Tabela 2 – Teor de carbono	28
Tabela 3 – Propriedades Mecânicas de Aços-carbono	28
Tabela 4 – Propriedades mecânicas de aços de baixa liga	29
Tabela 5 - Propriedades físicas telha-fôrma MF-75	31
Tabela 6 – Consumo de concreto/Armadura para retração	31
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos aços de conectores	34

ANEXO A

Tabela A 1 - Composição química de alguns aços fabricados no Brasil.....	62
Tabela A 2 - Constantes físicas dos aços (faixa normal de temperaturas atmosféricas).....	63
Tabela A 3 – Propriedades mecânicas dos aços estruturais padrão ABNT (NBR 8800:2008)	64
Tabela A 4 – Propriedades mecânicas de alguns aços estruturais padrão ASTM (American Society for Testing Materials) (NBR 8800:2008).....	66

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
ANSI	American National Standards Institute
SDI	Steel Deck Institute
AISI	American Iron and Steel Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
CSSBI	Canadian Sheet Steel Building Institute

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA	16
2 LAJES STEEL DECK.....	17
2.1 HISTÓRICO	17
2.2 DEFINIÇÃO	19
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO STEEL DECK	20
2.4 USO E LIMITAÇÕES	21
2.5 CARACTERÍSTICAS E CUIDADOS ESPECIAIS	22
2.6 NORMAS TÉCNICAS	23
2.6.1 Padronização	24
2.6.2 Requisitos	24
3 MATERIAIS	27
3.1 AÇO	27
3.1.1 Tipos de aço estrutural	27
3.1.1.1 Aços-carbono	27
3.1.1.2 Aços de baixa liga	28
3.1.1.3 Aços com tratamento térmico	29
3.1.1.4 Propriedades mecânicas e físicas	29
3.2 TELHA-FÔRMA DE AÇO	30
4 CONECTORES DE CISALHAMENTO.....	33
4.1 TIPOS DE CONECTORES DE CISALHAMENTO	33
4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO DE CONECTORES.....	34
4.3 VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO DE CONECTORES	34
4.3.1 Módulo de elasticidade do concreto	34
4.3.2 Força resistente de cálculo	35
4.3.2.1 Pinos com cabeça.....	35
4.3.2.2 Perfil U laminado ou formado a frio.....	37
5 DIMENSIONAMENTO	38

5.1	GENERALIDADES	38
5.2	VERIFICAÇÕES DA LAJE MISTA.....	38
5.2.1	Verificação da fôrma de aço na fase inicial.....	38
5.2.1.1	Estados-limites últimos	38
5.2.1.2	Estado Limite de serviço.....	39
5.2.2	Verificação da laje na fase final	39
5.2.2.1	Estados-limites últimos	39
5.2.2.1.1	Momento fletor.....	39
5.2.2.1.2	Cisalhamento longitudinal.....	42
5.2.2.1.3	Cisalhamento vertical	44
5.2.2.1.4	Punção	45
5.2.2.2	Estado-limite de serviço.....	47
5.2.2.2.1	Fissuração do concreto	47
5.2.2.2.2	Deslocamento vertical	47
5.2.3	Ações a serem consideradas	48
5.2.3.1	Fase inicial	48
5.2.3.2	Fase final.....	48
5.2.3.3	Combinações de ações	49
5.2.4	Disposições construtivas	49
5.2.5	Verificação da laje para carcas concentradas ou lineares.....	49
5.2.5.1	Distribuição.....	49
5.2.5.2	Largura efetiva	50
5.2.5.3	Armadura de distribuição.....	51
5.2.6	Aços utilizados para fôrma e revestimento	53
6	DIMENSIONAMENTO PRÁTICO DE UM PAINEL DE LAJES	54
6.1	VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR	56
6.2	VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO LONGITUDINAL E VERTICAL	57
7	CONCLUSÃO.....	61
8	ANEXO A	62
9	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil é o ramo da engenharia que engloba desde a concepção de um projeto, até a manutenção de todos os tipos de infraestrutura que são necessários ao bem-estar e desenvolvimento da sociedade. Desde o início dos tempos o homem construía seus próprios abrigos, utilizando recursos naturais disponíveis ao seu redor. Posteriormente as estruturas adquiriram características cada vez mais complexas, reflexo da evolução das técnicas construtivas e materiais, dentre os quais podemos destacar: o Aço e o Concreto.

As estruturas de aço e de concreto veem sendo intensivamente utilizadas na construção civil em todo mundo há cerca de 150 e 100 anos, respectivamente. A partir da década de 60, os sistemas mistos aço-concreto ganham corpo, com o desenvolvimento de métodos e disposições construtivas que garantem o funcionamento conjunto desses dois materiais, ampliando de forma considerável as opções de projeto e construção. (QUEIROZ, PIMENTA e MARTINS, 2012, p.10)

Tendo em vista a importância desses dois materiais para a construção civil, e sua larga escala de aplicação, é que aprofundaremos nossos estudos em um tipo de estrutura mista, as lajes steel deck também conhecida por laje com fôrma colaborante.

“Denomina-se sistema misto aço-concreto àquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto (geralmente armado), formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista.” (QUEIROZ, PIMENTA e MARTINS, 2012, p.10)

Segundo Cichinelli (2014), a laje mista (steel deck) ou laje de forma colaborante surgiu na década de 1950 nos Estados Unidos e passou a ser largamente empregado desde então, mais presentes em edificações metálicas de múltiplos andares. Ainda segundo Cichinelli (2014) , “...no Brasil, o steel deck começou a ser difundido na década de 1970, pela empresa Robtek (associação entre a americana Robertson e a brasileira Tekno)” . A partir de então, diversas empresas, fabricantes da telha-fôrma metálica para o steel deck, passaram a surgir, passando a disputar um mercado ainda restrito, mas promissor.

Até o final de 2014 e metade de 2015 as lajes steel deck não contavam com normas técnicas nacionais. As normas que serviam de referência para os projetistas eram as NBR 6118:2014 - Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento, NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios e NBR 14323:2013 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios em Situação de Incêndio, além de normas internacionais como a ASTM (American Society for Testing and Materials). Em 27 de outubro de 2015 foi publicada a ABNT NBR 16421:2015 – Telha-fôrma

de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e ensaios. Esta norma é inédita no Brasil e tem como objetivo estabelecer os requisitos e os ensaios aos quais devem atender a telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto.

1.1 JUSTIFICATIVA

O sistema de lajes mistas (steel deck) é recente no Brasil. Com a praticidade deste tipo de sistema, os custos envolvidos e suas diversas aplicações justificam um estudo sobre o assunto. Na atualidade em que vivemos, onde se exige construções sustentáveis, rápidas, práticas e limpas, nada mais vantajoso do que buscar informações sobre novas tecnologias e aprimorar as já existentes, tendo a laje steel deck como excelente opção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar um levantamento sobre o uso do sistema de lajes mistas, o steel deck, de acordo com a literatura vigente.

1.2.2 Objetivos específicos

Analisar o sistema steel deck, mostrando suas vantagens e desvantagens, limitações, empregabilidade, peculiaridades, dimensionamento, procedimento executivo e etapas construtivas.

1.3 METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho de conclusão de curso baseia-se no levantamento da literatura técnica pertinente, da atual situação do mercado da construção em relação ao emprego do sistema de laje mista. Foram consultados vários recursos literários disponíveis, como normas técnicas, livros específicos e técnicos, artigos, catálogos e manuais de empresas do ramo, e também profissionais da área.

Para o dimensionamento utilizou-se tabelas técnicas disponibilizadas pelos principais fornecedores das chapas metálicas que compõe a laje mista.

E ainda, realizou-se um estudo de caso apresentando a aplicação desse tipo de sistemas, além de comparações com outros sistemas estruturais mais utilizados. Um exemplo de dimensionamento da laje mista também é apresentado nesta pesquisa.

1.4 ESTRUTURA

A estrutura deste trabalho se dará nos seguintes capítulos.

No capítulo 1 apresenta-se a introdução, a justificativa, o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como a metodologia definida para elaboração deste trabalho. O capítulo 2 abordará todas as definições pertinentes sobre o que são sistemas de lajes mistas (steel deck), bem como seu histórico de estudos, além de vantagens e desvantagens do steel deck, usos e limitações, características e cuidados especiais e as normas técnicas vigentes. No capítulo 3 trataremos do material aço, bem como seus tipos, propriedades físicas, mecânicas e químicas. Descreverá também um tipo de telha forma utilizado no mercado, e que será usado como exemplo para dimensionamento prático no capítulo 6. O capítulo 4 trata basicamente dos conectores de cisalhamento utilizados em projetos com laje steel deck, desde suas características básicas, até suas verificações de cálculo. No capítulo 5 será abordado as verificações de cálculo de lajes steel deck, ou lajes mistas, como é tratada pela NBR 8800:2008, além de descrever critérios de verificação para situações correntes de projeto deste tipo de laje, com telha-fôrma colaborante. Já o capítulo 6 abordará a verificação prática de um painel de laje steel deck. E o capítulo 7 apresentará a conclusão do trabalho, abordando tópicos importantes obtidos durante a pesquisa e estudos sobre o uso do steel deck.

2 LAJES STEEL DECK

2.1 HISTÓRICO

Segundo uma publicação feita em agosto de 2012 em uma revista da Uniform Evaluation Services, por Thomas Sputo, diretor técnico do Steel Deck Institute, as estruturas mistas, vem sendo desenvolvidas e discutidas desde a década de 1920. Em 1926 foi patenteada, os sistema steel deck, por Loucks e Giller. No primeiro momento a telha-fôrma de aço possui resistência suficiente para funcionar como plataforma de trabalho para o operário. O concreto foi adicionado ao sistema para fornecer uma superfície utilizável e resistente ao fogo, se tornando um atrativo aos construtores.

As primeiras lajes mistas de concreto com telha-fôrma de aço colaborante apareceram na década de 1950, nos Estados Unidos. O primeiro produto foi produzido pela Granco Steel Products Company, uma fôrma de seção trapezoidal com fios formados a frio (fios T) soldados transversalmente na telha-fôrma. A laje foi analisada como uma laje de concreto armado tradicional e obteve resultados satisfatórios entre as cargas permanentes e acidentais.

Conforme Sputo (2012), em meados 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. Segundo Sputo, como resultado da natureza competitiva dos produtos, criaram-se situações caras, trazendo um efeito adverso na construção de lajes steel deck.

Segundo Sputo (2012), reconhecendo a necessidade de um padrão de projeto, o instituto americano de ferro e aço (AISI) iniciou um projeto de pesquisa em 1967, na Universidade Estadual de Iowa, sob a direção do falecido professor Carl Ekberg, para desenvolver uma base para os critérios de projeto relacionado à lajes mistas (steel deck). Pesquisas extensas dos professores Carl Ekberg e Max Porter no estado de Iowa, e outros pesquisadores da Universidade de Waterloo, da Universidade Lehigh, do Instituto Politécnico de Virgínia e da Universidade Estadual da Virgínia Ocidental, e da Universidade de Washington, resultaram em um conjunto de conhecimentos de domínio público em telha-fôrma de aço. Os esforços de pesquisa resultaram na Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) desenvolvendo ASCE 3-84 Especificações para o projeto e

Construção de Lajes Compostas pela plataforma de aço com o Comitê de Concreto Padrão sob a liderança do professor Porter. Este documento foi revisado em 1991. Tanto os documentos de 1984 com os de 1991 foram reconhecidos pelos códigos de construção modelo como um padrão aceitável para projeto de lajes mistas. Ter um padrão de projeto reconhecido no código de construção simplificou o processo de aceitação do steel deck e resultou no crescimento do mercado para este produto.

De acordo com Sposito (2012), o primeiro manual de projeto feito 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.

Conforme Sposito (2012), ao longo dos últimos 80 anos, o projeto de lajes steel deck tem evoluído de, um projeto empírico baseado em testes, em um produto com comportamento compreendido e projetos padrões maduros, que são reconhecidos pelos códigos de construção. Esta evolução levou a um sistema de lajes mais eficiente e econômico. A praticidade, e a velocidade na execução de lajes mistas, bem como seu custo-benefício, ajudam no seu crescimento no Brasil e no mundo. No Brasil as lajes mistas são utilizadas em shoppings, terminais de aeroporto, edifícios de garagem, hospitais, passarelas, edificações comerciais e industriais, e outros diversos empreendimentos, uma vez que não possuem limites de área para aplicação do mesmo.

Figura 1 - Aplicação de steel deck em edifício de múltiplos andares



Fonte: Revista Técnica, 2014.

2.2 DEFINIÇÃO

Segundo o Portal Metálica Construção Civil (2017), a laje steel deck é uma “laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto. O aço, excelente material para trabalhar a tração, é utilizado no formato de uma telha trapezoidal que serve como fôrma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço”.

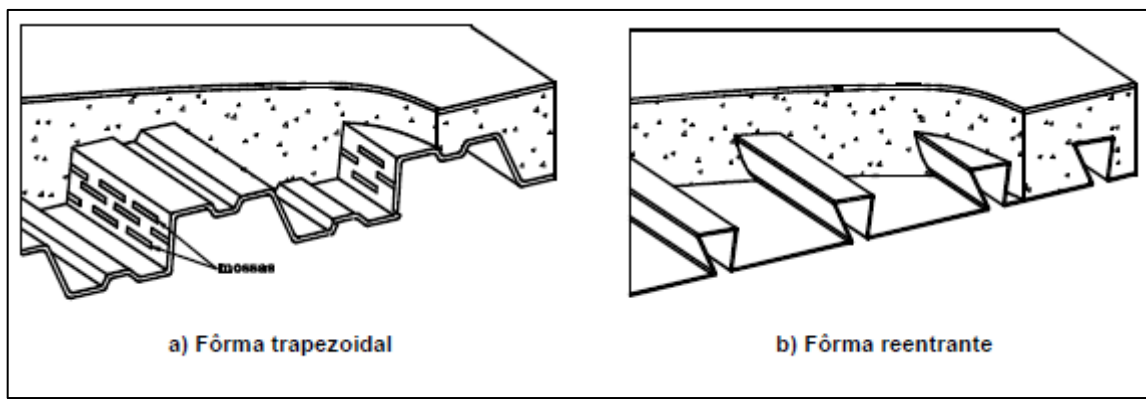
O sistema de lajes steel deck ainda possui uma malha de tela soldada, que previne a aparição de trincas na superfície da laje. Suporta sobrecargas de até 2 t/m², para vãos de 2 a 4 m, sem necessidade de escoramento ou armadura adicional de tração.

Segundo anexo Q da NBR 8800 (ABNT, 2008), uma das normas utilizadas para o dimensionamento do steel deck, que será comentada mais adiante, as lajes mistas de aço e concreto, conhecidas também como laje com fôrma de aço incorporada, são aquelas em que o concreto atua em conjunto com a telha-fôrma de aço, que atuara como armadura positiva de tração da laje. Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), “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 sobrecarga de construção”.

Ainda segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), nas lajes mistas, a fôrma de aço deve ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal entre o aço e o concreto. A aderência entre concreto e aço deve ser garantido por: ligação mecânica por meio de mossa nas fôrmas de aço trapezoidais e ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes (Figura 2).

Figura 2 – Lajes mistas de aço e concreto



Fonte: NBR 8800 (ABNT 2008).

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO STEEL DECK

“ A utilização de sistemas mistos amplia consideravelmente a gama de soluções em concreto armado e em aço [...]. Nas lajes mistas, dispensa-se a etapa de desfôrma e reduz-se a quantidade de armadura.” (QUEIROZ, PIMENTA e MARTINS, 2012, p.10)

Conforme Cichinelli (2011), “o sistema de lajes steel deck, permite diminuir em até 40% o custo com mão de obra e executar até dois mil m² em aproximadamente três dias”. Além disso, em alguns casos, pode-se dispensar por completo o uso de escoramento.

As vantagens são diversas, entre elas: alta qualidade de acabamento, funcionar como plataforma de serviço, facilidade na instalação, maior rapidez construtiva, fôrma para o concreto fresco e permanecendo por definitivo no local eliminando os custos com a desforma, leve e fácil de ser manuseado e posicionado. Devido à sua forma nervurada consiste em um sistema mais leve de laje, a dispensa de escoramento traz redução no gasto com desperdícios de material, facilidade na passagem de dutos e fixação de forros, e ainda, o steel deck é aproveitado como armadura positiva da laje.

Do ponto de vista estrutural, de acordo com Campos (2001), o sistema trabalha conjuntamente, aproveitando suas melhores características mecânicas. Sendo possível projetar lajes simplesmente apoiadas, mesmo em situações com múltiplos vãos, em função da resistência das lajes.

Segundo Cichinelli (2011), há uma desvantagem pela fôrma steel deck ser metálica, e com ela uma preocupação muito grande em se achar soluções contra incêndios. Sem nenhuma proteção contra incêndios, a fôrma pode entrar em colapso trazendo prejuízos enormes para toda a estrutura. Por isso, é necessário um revestimento na parte inferior da fôrma para esta finalidade, como por exemplo: argamassa cimentícia projetada. Outra possibilidade é o uso de uma armadura passiva colocada entre o Steel Deck e o concreto, para evitar a fissuração do concreto.

Costa (2009) cita também desvantagens, como o fato de haver uma maior quantidade de vigas secundárias, caso não se utilize o sistema escorado.

Há uma desvantagem ainda por ser um método novo aqui no Brasil, com agravante em se tratar de um produto industrializado, o que remete a alto custo em logística (transporte de capitais com grandes centros industriais até o canteiro).

2.4 USO E LIMITAÇÕES

De acordo com Cichinelli (2014), o uso das lajes com fôrmas de aço colaborantes, “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”. Podem ser utilizadas em estruturas metálicas e de concreto.

O sistema permite executar lajes com peso inferior ao de sistemas convencionais e com prazo de execução reduzido. Em obras industriais e em algumas obras comerciais é possível aproveitar a própria fôrma metálica como acabamento de forro e suportes para fixação de tubulações e luminárias.

Figura 3 - Face inferior das formas pintadas, para garantir maior durabilidade



Fonte: Revista Técnica, 2014.

Figura 4 - Instalações aparentes



Fonte: Revista Técnica, 2014.

Segundo Cichinelli (2014) o steel deck não é indicado para ambientes corrosivos e cuidados especiais devem ser tomados quando as sobrecargas sejam superiores a 3 t/m^2 . Para viabilizar a solução nessa situação, devem ser dimensionadas armaduras complementares para atingir a sobrecarga do projeto.

Em lajes steel deck com aberturas, devem ser seguidas algumas recomendações.

“As aberturas até 20 cm dispensam reforço estrutural; aberturas entre 20 cm e 60 cm devem receber reforço estrutural ao seu redor e, por fim, para aberturas superiores a 60 cm, devem ser previstas vigas de apoio ao seu redor.” (CICHINELLI, 2014)

2.5 CARACTERÍSTICAS E CUIDADOS ESPECIAIS

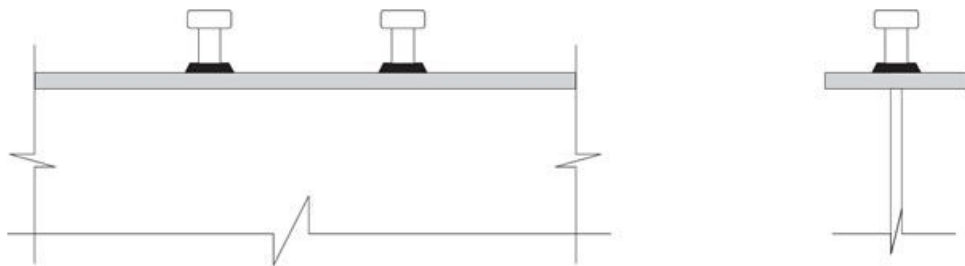
O sistema de laje steel deck, é formado pela telha-fôrma colaborante, o concreto e uma tela de aço soldado que funciona como armadura antifissuração. Em alguns casos, o conjunto pode ser completado por uma armadura negativa para absorver os momentos negativos da laje,

sobretudo quando esse elemento tiver continuidade e a tela aço não for dimensionada para absorver estes esforços.

O mercado brasileiro disponibiliza o steel deck com três espessuras de chapa – 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm – e comprimentos que variam de acordo com o projeto, chegando a 12 m, limite máximo de transporte por carreta, assim afirma Cichinelli (2014). Comprimentos maiores necessitariam de transportes especiais, aumentando o custo desse tipo de sistema.

Em projetos que consideram o sistema de viga mista no dimensionamento da estrutura metálica, devem ser usados pinos metálicos, conhecidos como conectores stud bolt, para garantir a solidarização da laje com a estrutura metálica e reduzir o peso da mesma, gerando economia no consumo de aço (figura 5).

Figura 5 - Conectores stud bolt fazem a solidarização da laje com a estrutura metálica



Fonte: Revista Técnica, 2014.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT,2008), as propriedades do concreto de densidade normal devem obedecer à ABNT NBR 6118:2014. Sendo assim, a resistência característica à compressão desse tipo de concreto, deve ser de no mínimo 20 MPa.

Não é recomendável o uso de aditivos à base de cloretos, que podem agredir a galvanização da chapa. O dimensionamento do steel deck normalmente pode ser realizado a partir de tabelas fornecidas pelos próprios fabricantes de telha-fôrma.

O projeto executivo de uma laje steel deck, deve ser o mais detalhado possível, com posição de chapas, necessidade de armaduras complementares, e demais condições especiais que possam ter durante a execução da laje. Cabe ao calculista verificar todas as condições com base nas normas vigentes, incluindo o anexo C da NBR 14323: 2013, além das NBR 8800:2008 e NBR 6118:2014, dependendo de cada caso.

2.6 NORMAS TÉCNICAS

O sistema steel deck, até o final de 2015, não contava com normas técnicas nacionais exclusivas a ele. Os textos normativos que servem de referência aos projetistas são as normas ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento, ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios e ABNT NBR 14323:2013 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios em Situação de Incêndio. Outras normas internacionais, como as da American Society for Testing and Materials (ASTM), também servem de referência.

Em outubro de 2015, foi publicada a ABNT NBR 16.421 (Telha-Fôrma de Aço Colaborante para Laje Mista de Aço e Concreto - Requisitos e Ensaios) que 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, conforme a revista Finestra (2016). Com isso, pode-se esperar produtos de melhor qualidade, e que passarão por análises técnicas mais criteriosas, seguindo as prescrições da nova norma.

Segundo a revista Finestra (2016), a ABNT NBR 16421:2015 foi ela elaborada pelo Comitê Brasileiro de Siderurgia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CB-028), e teve participação de diversas entidades interessadas nesse sistema.

2.6.1 Padronização

Anterior à publicação da NBR 16421:2015, tanto fabricantes, quanto consumidores e projetistas, embasavam-se em normas internacionais, o que trazia dificuldade à aplicação adequada do sistema. Com a nova norma tem-se a criação de produtos padronizados e seguros.

A norma atual busca alterar o cenário do surgimento de novas empresas fabricantes da telha-fôrma de aço, para o steel deck, com especificações duvidosas.

2.6.2 Requisitos

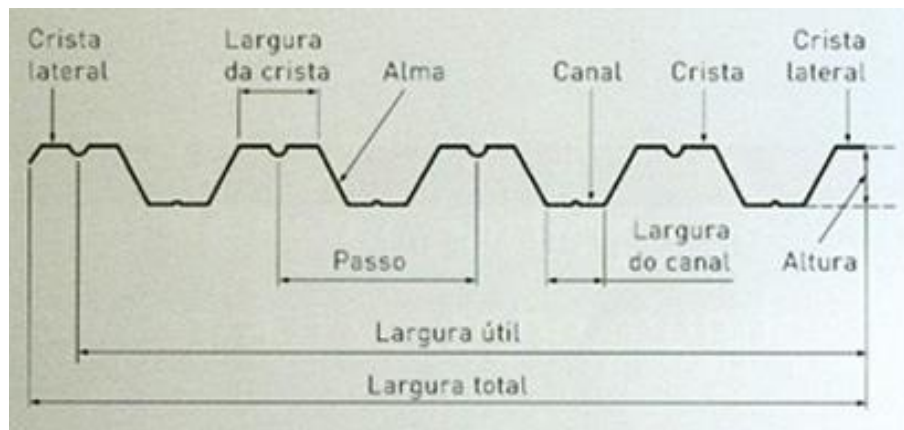
Segundo a revista Finestra (2016), entre os principais requisitos da nova norma destacam-se espessura mínima, tipo de revestimento, tolerâncias dimensionais, durabilidade e necessidade de comprovação experimental do deck. A norma não descreve ensaios aos quais o sistema steel deck deve ser submetido, mas torna obrigatório os ensaios que vão caracterizar o

comportamento estrutural da laje steel deck. Para isso deve-se seguir metodologias apresentadas pelas normas internacionais.

A revista finestra (2016), ainda traz uma sequência de análise da laje steel deck, construída com uma telha-fôrma trapezoidal de aço, o concreto e a tela metálica que evita fissuração na superfície do concreto:

1. Definição da geometria do deck metálico;

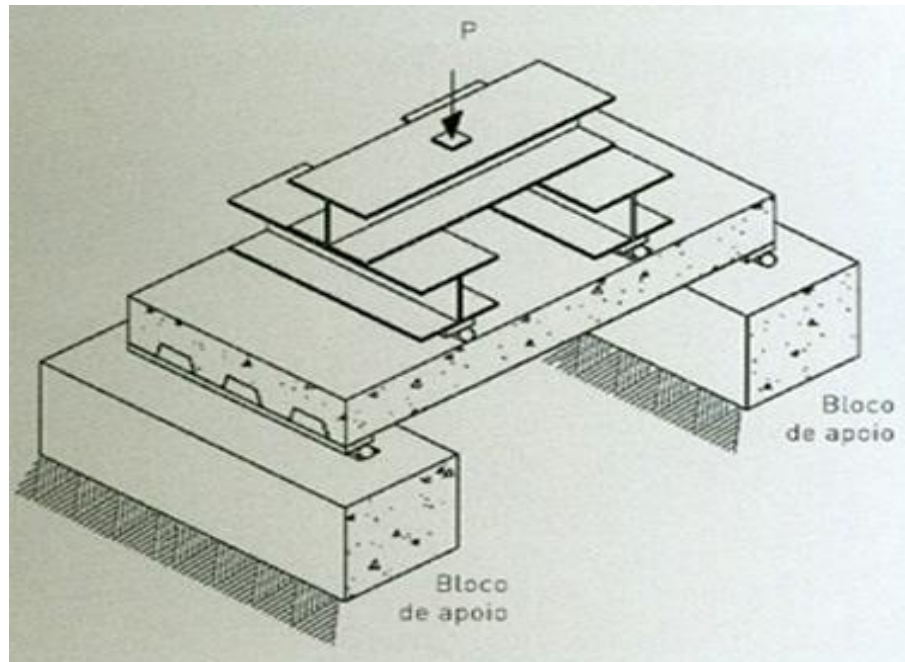
Figura 6 – Geometria do deck metálico



Fonte: Revista Finestra (2016)

2. Estudo da resistência da fôrma metálica antes da cura do concreto;
3. Ensaio de amostras do deck antes da cura do concreto;
4. Ensaio de modelos de laje mista após a cura do concreto:
 - Colapso por flexão;
 - Colapso por cisalhamento transversal ou vertical;
 - Colapso por cisalhamento longitudinal.

Figura 7 – Ensaio de modelos da laje mista após a cura do concreto



Fonte: Revista Finestra (2016)

5. Emissão de relatório final.

Com a necessidade de ensaios referentes às lajes steel deck, a falta de uma norma brasileira aplicável às lajes steel deck, faz-se necessário seguir as recomendações previstas no Eurocode 4 Part 1-1, no CSSBI S2 (Canadian Sheet Steel Building Institute) ou o ANSI/ASCE 3, com o intuito de atingir o nível de segurança exigido pela NBR 8800:2008 (Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto para Edifícios).

3 MATERIAIS

3.1 AÇO

Em sistemas estruturais metálicos o aço é, atualmente, o mais importante dentre todos os materiais metálicos. “O aço é a liga ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11%.” (PFEIL e PFEIL, 2009, p.1).

Segundo Pfeil (2009), a resistência do aço é aumentada com a presença do carbono, porém a presença deste o torna mais frágil. Aços com baixo teor de carbono tem menor resistência à tração, porém mais dúcteis.

3.1.1 Tipos de aço estrutural

Ainda segundo Pfeil (2009), os aços são classificados em aços-carbono e aços-liga, de acordo com sua composição química, em que o primeiro apresenta teor normal de elementos residuais e o segundo apresenta altos teores de elementos residuais ou acrescidos de elementos de liga.

No item a seguir abordaremos, brevemente, sobre os dois tipos de aços existentes. São eles: aços-carbono e aços de baixa liga. Ambos podem ser tratados termicamente com o a finalidade de modificar suas propriedades mecânicas.

3.1.1.1 Aços-carbono

Segundo Pfeil (2009), os aços-carbono são os mais usados, e que, com a adição de carbono e manganês, sua resistência é aumentada em relação do ferro puro.

Tabela 1 - Porcentagens máximas de elementos adicionais

carbono	2,0%	manganês	1,65%
silício	0,60%	cobre	0,35%

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009)

Com relação ao teor de carbono, tem-se:

Tabela 2 – Teor de carbono

Baixo carbono	$C < 0,29\%$
Medio carbono	$0,30 \% < C < 0,59\%$
Alto carbono	$0,60\% < C < 2,0\%$

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009)

O percentual de teor de carbono no aço pode trazer consigo duas vertentes, pois segundo Pfeil (2009), com aumento desse teor de carbono a resistência do aço aumenta, porém diminui a sua ductibilidade, que é a sua capacidade para se deformar, o que acarreta problemas na soldagem, enquanto aços com baixo teor de carbono podem ser soldados sem precauções especiais.

Abaixo temos uma tabela que, segundo Pfeil (2009), apresenta as propriedades mecânicas de aços-carbono, segundo padrões da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), da ASTM (American Society for Testing and Materials) e das normas europeias EN.

Tabela 3 – Propriedades Mecânicas de Aços-carbono

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento f_y (Mpa)	Resistência à ruptura f_u (Mpa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7		240	370 – 500
ASTM A36*	0,25 – 0,29	250 (36 ksi)	400 – 500
ASTM A307** (parafuso)	baixo	-	415
ASTM A325** (parafuso)	médio	635 (min)	825 (min)
EN S235	baixo	235	360

* O tipo A36 substituiu o A7, que foi o aço mais utilizado nos Estados Unidos até 1960. (PFEIL e PFEIL, 2009)

** Os aços ASTM A307 e A325 são utilizados em parafusos comuns e de alta resistência, respectivamente. (PFEIL e PFEIL, 2009)

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009)

3.1.1.2 Aços de baixa liga

“Os aços de baixa liga são aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo, cromo, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas propriedades mecânicas.” (PFEIL e PFEIL, 2009, p.10)

Tabela 4 – Propriedades mecânicas de aços de baixa liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento f_y (Mpa)	Resistência à ruptura f_u (Mpa)
ABNT 572 Gr. 50	C < 0,23% Mn < 1,35%	345	450
ASTM A588	C < 0,17% Mn < 1,2% Cu < 0,50%	345	485
ASTM A992	C < 0,23% Mn < 1,5%	345	450

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009)

Segundo Pfeil (2009), muito utilizados no Brasil, são os aços de baixa liga, de alta e média resistência mecânicas, soldáveis e com elevada resistência atmosférica feitos com adição de 0,25% a 0,40% de cobre.

Na tabela A1, do anexo A deste trabalho, retirada do livro de Pfeil (2009), é possível verificar a composição química e as propriedades mecânicas de alguns aços fabricados no Brasil.

3.1.1.3 Aços com tratamento térmico

O tratamento térmico é um procedimento que altera as resistências, tanto de aços-carbono quanto de aços de baixa liga. Trata-se, basicamente, do aquecimento e resfriamento dos aços durante seu processo de fabricação, sob condições controladas de temperatura e tempo.

Embora este tratamento ajude no aumento de resistência do aço, ele traz uma desvantagem com relação a soldagem, pois ela se torna mais difícil, acarretando no pouco uso em estruturas.

3.1.1.4 Propriedades mecânicas e físicas

No anexo A, deste trabalho, serão apresentadas algumas tabelas que constam propriedades mecânicas e físicas de aços estruturais, que seguem os padrões da ABNT NBR 8800:2008 e ASTM (American Society for Testing and Materials).

Todas as tabelas foram retiradas do livro de Pfeil (2009).

3.2 TELHA-FÔRMA DE AÇO

A telha-fôrma de aço colaborante tratada aqui neste item, trata-se da telha utilizada na execução da laje steel deck. Telha essa que funciona como fôrma para o concreto posteriormente lançado, e que após a cura do concreto, trabalhará como armadura positiva para esforços solicitantes de momentos positivos.

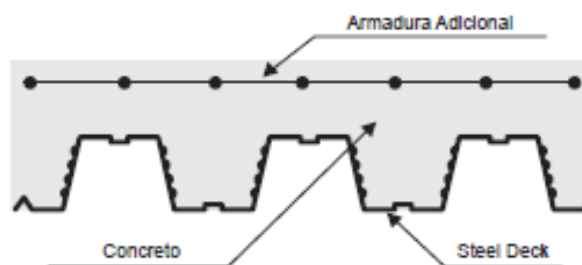
Segundo a NBR 16421 (ABNT, 2015), a telha-fôrma de aço colaborante, é fabricada por um processo de conformação de uma chapa ou bobina de aço, ou seja, é feita a compressão do metal sólido em moldes, podendo ou não ser aquecido com a finalidade de ajudar no processo.

Para o dimensionamento prático que será realizado neste trabalho, utilizaremos a telha-fôrma MF-75, da Metform S/A, empresa fundada em 1990, e que desde 1999 passou a produzir e comercializar telha-fôrma de aço.

A Metform disponibiliza um manual técnico de dimensionamento e utilização do steel deck fabricados por ela, o steel deck MF-50 e MF-75, manual este que será utilizado neste trabalho.

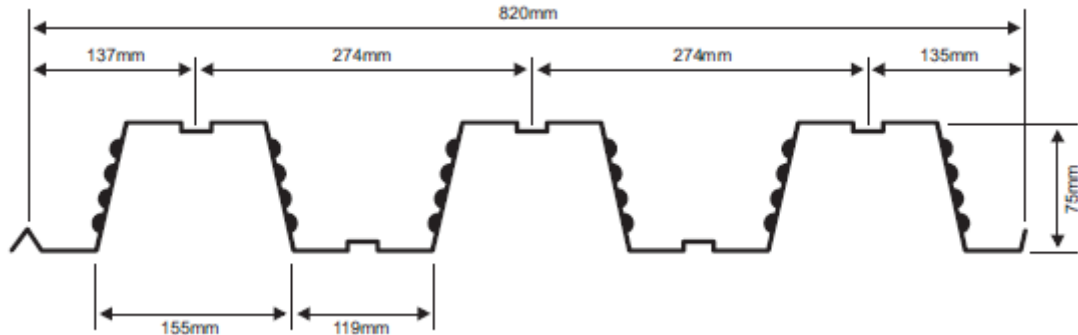
Segundo esse manual, são três os materiais básicos para confecção de lajes steel deck: a telha-forma de aço galvanizado, ASTM A 653 Grau 40 (ZAR-280) tensão de escoamento $f_y = 280$ MPa; o concreto com $f_{ck} = 20$ MPa; e uma armadura de tela soldada com área mínima de 0,1% da área de concreto acima do topo da telha-fôrma, para controle de fissuração.

Figura 8 – Disposição da armadura adicional



Fonte: Manual técnico Metform, 2018.

Abaixo estão representadas as dimensões e propriedades físicas para a telha-forma MF-75 (figura 9 e tabela 5).

Figura 9 – Dimensões telha-fôrma MF-75

Fonte: Manual técnico Metform, 2017.

Tabela 5 - Propriedades físicas telha-fôrma MF-75

Esp. Final (mm)	Esp. Projeto (mm)	Altura total (mm)	Peso (kg/m ²)	Reações máx. de apoio		Módulo de resistência (mm ³)	Inércia para deformação (mm ⁴)	Área de aço (mm ²)	Centro de gravidade (mm)
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	74,98	9,37	6,76	21,01	22.710	1.017.138	1.112	37,49
0,95	0,91	75,13	11,12	8,90	29,70	28.788	1.254.749	1.332	37,57
1,25	1,21	75,43	14,63	14,62	49,53	40.599	1.666.741	1.771	37,72

Propriedades para largura de 1000 mm.

Material: aço ZAR-280 (ASTM A-653 gr.40), limite de resistência ao escoamento: 280 MPa, galvanização Z-275.

Fonte: Manual técnico Metform, 2017.

O Manual técnico da Metform (2017), disponibiliza ainda uma tabela com consumo estimado de concreto e o tipo de armadura para retração em tela soldada, em função da altura da laje para a utilização do MF-75.

Tabela 6 – Consumo de concreto/Armadura para retração

Altura total da laje (mm)	Consumo de concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m ²)
130	0,0925	Q – 75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150x150	1,21
140	0,1025	Q – 75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150x150	1,21
150	0,1125	Q – 75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150x150	1,21
160	0,1225	Q – 92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150x150	1,48
170	0,1325	Q – 113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100x100	1,80
180	0,1425	Q – 113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100x100	1,80
190	0,1525	Q – 138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100x100	2,20

200	0,1625	Q - 138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100x100	2,20
-----	--------	---------	-----------------------	------

Fonte: Manual técnico Metform, 2017.

A metform, apresenta também, através de seu manual técnico, uma tabela de cargas e vãos máximos para cada tipo de telha-fôrma. Sendo que esta tabela deve ser consultada de acordo com a especificidade de cada projeto, e assim será neste trabalho, abordando somente os valores correspondentes às características do pavimento exemplo no capítulo 6.

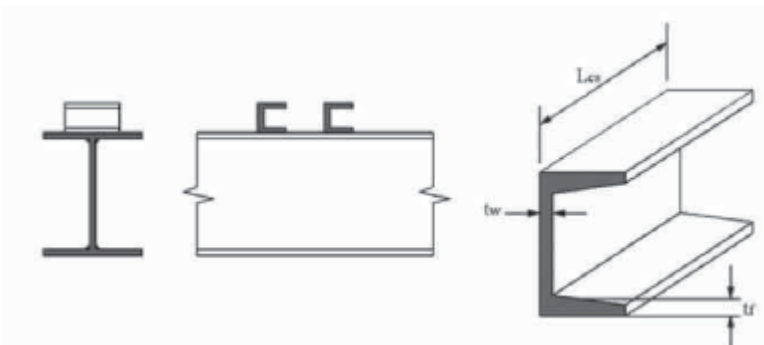
4 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Em estruturas mistas de aço e concreto, como se sabe, o comportamento da estrutura é baseada na ação conjunta desses dois materiais, principalmente em lajes mistas. Para que esses dois materiais trabalhem juntos, é necessário o desenvolvimento de forças longitudinais de cisalhamento, conforme Queiroz *et al.* (2012). Embora a aderência natural desses dois materiais seja alta, elas não são levadas em consideração no dimensionamento, devido sua pouca confiabilidade. Com isso, em lajes mistas, deve ser previsto o uso de conectores de cisalhamento, conforme recomendações da ABNT NBR 8800:2008.

4.1 TIPOS DE CONECTORES DE CISALHAMENTO

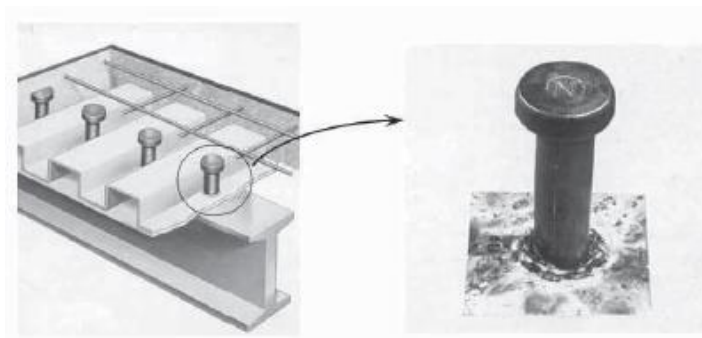
A NBR 8800 (ABNT,2008) prevê apenas dois tipos de conectores de cisalhamento. São eles: os conectores tipo pino com cabeça, e perfil U laminado ou formado a frio com espessura de chapa maior ou igual à 3 mm. Ambos os tipos devem ficar embutidos, por completo no concreto da laje, com cobrimento superior de no mínimo 10 mm.

Figura 10 – Conectores tipo U



Fonte: QUEIROZ et al. (2012)

Figura 11 – Conector tipo pino com cabeça



Fonte: QUEIROZ et al. (2012)

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO DE CONECTORES

Segundo Queiroz *et al.* (2012), “ o aço utilizado na fabricação dos pinos é o ASTM A-108 grau 1020. Deve-se especificá-lo para ser produzido com resistência à tração mínima de 415 MPa e limite de escoamento não inferior a 345 MPa.”

Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos aços de conectores

Resistência à tração	415 MPa
Limite de escoamento (0,2 % offset)	345 MPa
Alongamento (% em 50 mm)	mínimo de 20%
Redução de área	mínimo de 50%

Fonte: QUEIROZ et al. (2012)

4.3 VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO DE CONECTORES

Para determinar a força resistente de cálculo dos conectores de cisalhamento, é necessário saber, além das propriedades mecânicas do aço dos conectores, tratadas no item anterior, o módulo de elasticidade do concreto, que será especificado no item a seguir.

4.3.1 Módulo de elasticidade do concreto

Conforme Queiroz *et al.* (2012), o módulo de elasticidade do concreto pode ser determinado através de fórmulas que se diferem pela densidade do concreto (normal e baixa).

a) Densidade normal:

$$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

b) Baixa densidade:

$$E_{cs} = 40,5 \left(\frac{\rho_c}{100} \right)^{1,5} \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

onde:

- E_{cs} é o módulo de elasticidade secante do concreto, em megapascals;
 f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em megapascal;
 ρ_c é a massa específica do concreto, em quilograma por metro cúbico.

Entretanto, adotaremos E_c para módulo de elasticidade do concreto, ao invés de E_{cs} , módulo secante do concreto, assim como propõe Queitoz *et al.* (2012).

4.3.2 Força resistente de cálculo

4.3.2.1 Pinos com cabeça

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), a força resistente de cálculo de um conector de cisalhamento tipo pino com cabeça, é dado pelo menor valor entre os que se segue:

$$Q_{Rd} = \frac{1}{2} \frac{A_{cs} \sqrt{f_{ck} E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (3)$$

e

$$Q_{Rd} = \frac{R_g R_p A_{cs} f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \quad (4)$$

onde:

γ_{cs} é o coeficiente de ponderação da resistência do conector, igual a 1,25 para combinações últimas de ações normais, especiais ou de construção e igual a 1,10 para combinações excepcionais;

A_{cs} é a área da seção transversal do conector;

f_{ucs} é a resistência à ruptura do aço do conector;

E_c é o módulo de elasticidade do concreto;

R_g é um coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores, que será especificado mais abaixo;

R_p é um coeficiente para consideração da posição do conector, que será especificado mais abaixo.

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), para o coeficiente R_g deve-se tomar os seguintes valores:

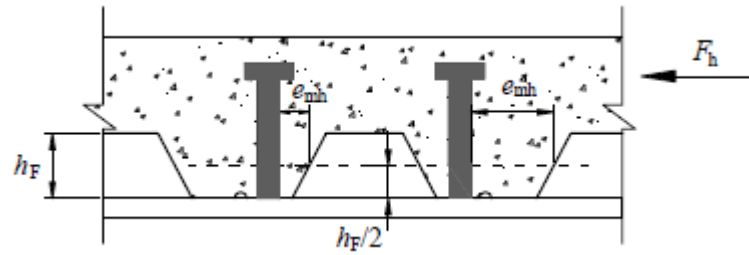
- a) 1,00 para um conector soldado em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço; para qualquer número de conectores em uma linha soldados diretamente no perfil de aço; para qualquer número de conectores em uma linha soldados através de uma fôrma de aço em uma nervura paralela ao perfil de aço e com relação b_F/h_F igual ou superior a 1,5 (b_F e h_F conforme a figura 9 abaixo);
- b) 0,85 para dois conectores soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço; para um conector soldado através de uma fôrma de aço em uma nervura paralela ao perfil de aço e com relação b_F/h_F inferior a 1,5 (b_F e h_F conforme a figura 9 abaixo);
- c) 0,70 para três ou mais conectores soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço.

E para o coeficiente R_p , deve-se tomar os seguintes valores:

- a) 1,00 para conectores soldados diretamente no perfil de aço e, no caso de haver nervuras paralelas a esse perfil, pelo menos 50% da largura da mesa deve estar em contato direto com o concreto;
- b) 0,75 para conectores soldados em uma laje mista com as nervuras perpendiculares ao perfil de aço e e_{mh} igual ou superior a 50 mm; para conectores soldados através de uma fôrma de aço e embutidos em uma laje mista com nervuras paralelas ao perfil de aço;
- c) 0,60 para conectores soldados em uma laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil de aço e e_{mh} inferior a 50 mm.

Na figura abaixo, podemos identificar o que é a medida e_{mh} . Trata-se da distância da borda do corpo do conector à nervura, na metade da altura da nervura da telha-fôrma considerada, medida sempre no sentido da força cortante F_h que atua no conector.

Figura 12 – Determinação de e_{mh}



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

4.3.2.2 Perfil U laminado ou formado a frio

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), a força resistente de cálculo para o conector de cisalhamento em perfil U laminado, é dada pela equação abaixo.

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 (t_{fcs} + 0,5 t_{wcs}) L_{cs} \sqrt{f_{ck} E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (5)$$

onde:

t_{fcs} é a espessura da mesa do conector, tomada a meia distância entre a borda livre e a face adjacente da alma;

t_{wcs} é a espessura da alma do conector;

L_{cs} é o comprimento do perfil U.

Para verificação da força resistente de cálculo do conector de cisalhamento de perfil U formado a frio, deve ser feita adotando a espessura da mesa e da alma iguais a espessura da chapa do conector, conforme determina a NBR 8800 (ABNT,2008).

5 DIMENSIONAMENTO

Segundo a NBR 16421 (ABNT, 2015), que trata dos requisitos e ensaios para telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto, o dimensionamento deste tipo de laje, incluindo a telha-fôrma de aço colaborante, deve ser feita com base na NBR 8800 (ABNT, 2008), juntamente com os requisitos do Eurocode 4 Part 1-1, no CSSBI S2, ou na ANSI/ASCE 3-91, para assegurar o nível de segurança.

5.1 GENERALIDADES

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) as lajes steel deck ou lajes mistas de aço e concreto, também chamadas de lajes com forma de aço incorporada, são aquelas em que a fôrma de aço, antes da cura do concreto servem como sustentação de todas as ações permanentes, cargas e sobrecargas da construção, e depois da cura do concreto funcionam como armadura de tração da laje, toda ou parcialmente.

A forma de aço deve transmitir o cisalhamento longitudinal na interface de aço-concreto por meio de ligação mecânica por mossas nas fôrmas de aço trapezoidais e ligação por atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas com cantos reentrantes (Figura 2), conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008).

O cálculo de lajes mistas, analisam tanto a fôrma trabalhando isoladamente, de modo a sustentar a carga do concreto e sobrecargas de construção, quanto na fase final, em que a resistência do concreto deve ter atingido $0,75f_{ck}$.

O dimensionamento abordado aqui, será de seções de aço formadas a frio de acordo com as prescrições da NBR 17462 (ABNT, 2010).

Geralmente os fabricantes de fôrmas de aço, fornecem, em tabelas, a capacidade de carga de cada fôrma para determinado vão ou o vão máximo admissível para um certo carregamento.

5.2 VERIFICAÇÕES DA LAJE MISTA

5.2.1 Verificação da fôrma de aço na fase inicial

5.2.1.1 Estados-limites últimos

Para verificação na fase inicial, da fôrma de aço, deve ser feita seguindo as prescrições da ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Para isso de ser levado em consideração, adequadamente, o efeito das mossas nas resistências de cálculo.

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2008), na verificação da fôrma de aço deve-se ainda utilizar análise elástica do elemento. Os esforços solicitantes nas fôrmas podem ser determinados sem consideração de variação de rigidez, quando estas são calculada como contínuas, mesmo que em partes comprimidas da seção ocorra flambagem local.

5.2.1.2 Estado Limite de serviço

Seguindo as prescrições da NBR 8800 (ABNT,2008), o deslocamento máximo da fôrma de aço, não deve ultrapassar o limite de $L_F/180$ ou 20 mm, incluindo seu próprio peso e o peso do concreto fresco, adotando sempre o menor, onde L_F é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras. As propriedades geométricas da seção transversal devem ser determinadas seguindo as recomendações da ABNT NBR 14762:2010.

5.2.2 Verificação da laje na fase final

5.2.2.1 Estados-limites últimos

5.2.2.1.1 Momento fletor

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p.212), “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.”

Caso a estrutura não exija armadura adicional, o momento positivo resistente de cálculo dever determinado pelas expressões logo abaixo, para linha neutra acima e abaixo da face superior da fôrma de aço, respectivamente (ver figuras 12 e 13), conforme a NBR 8800 (ABNT,2008).

$$M_{Rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a) \quad (6)$$

$$M_{Rd} = N_{cf} y + M_{pr} \quad (7)$$

onde:

$$N_{pa} = A_{F,ef} f_y F_d \quad (8)$$

em que:

$A_{F,ef}$ área da seção efetiva da fôrma (1000 mm), determinada desprezando a largura das mossas na seção transversal, a menos que uma área maior possa ser utilizada demonstrada através de ensaios;

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:

$$a = \frac{N_{pa}}{0.85 f_{cd} b} \quad (9)$$

b é a largura unitária da laje, igual a 1000 mm;

$$y = h_t - 0,5t_c - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (10)$$

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

$$M_{pr} = 1,25 M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (11)$$

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

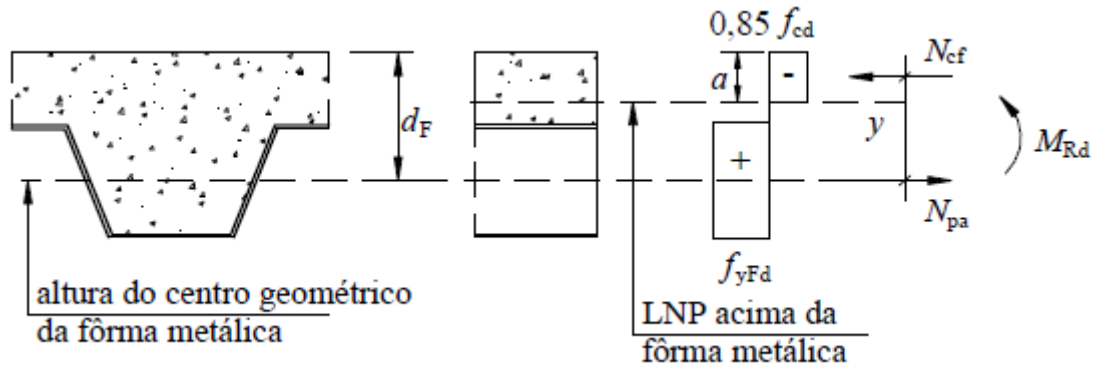
$$N_{cf} = 0,85 b t_c f_{cd} \quad (12)$$

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;

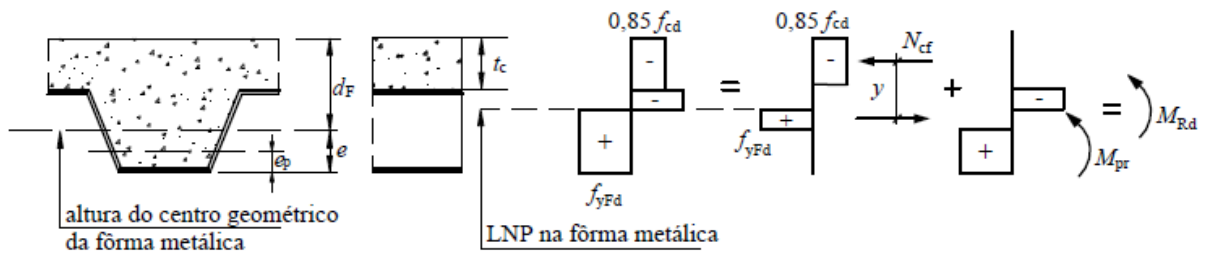
- e é a distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à sua face inferior;
 e_p é a distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior.

Figura 13 - Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Figura 14 - Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica na fôrma de aço



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 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 15), deve atender à seguinte exigência, segundo a NBR 8800 (ABNT,2008):

- Quando $\alpha \geq 0,5$

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

- Quando $\alpha < 0,5$

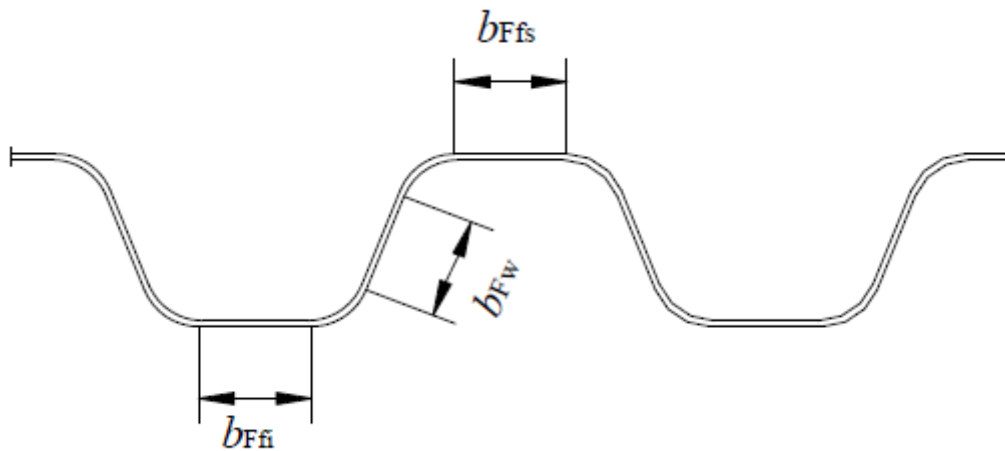
$$b_F \leq \frac{2,40 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{\alpha} t_F \quad (14)$$

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 15 - Largura plana dos elementos da fôrma



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

5.2.2.1.2 Cisalhamento longitudinal

Segundo a NBR 8800 (2008), através do método semi-empírico m-k, podemos calcular a força cortante longitudinal resistente de cálculo, $V_{l,Rd}$, em newton, para lajes com fôrma de aço incorporada, relativa a 1000 mm de largura.

$$V_{l,Rd} = \frac{bd_F \left[\left(\frac{m_{AF,ef}}{bL_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}} \quad (15)$$

Onde:

d_F é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma (Figura 16), expressa em milímetros (mm);

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

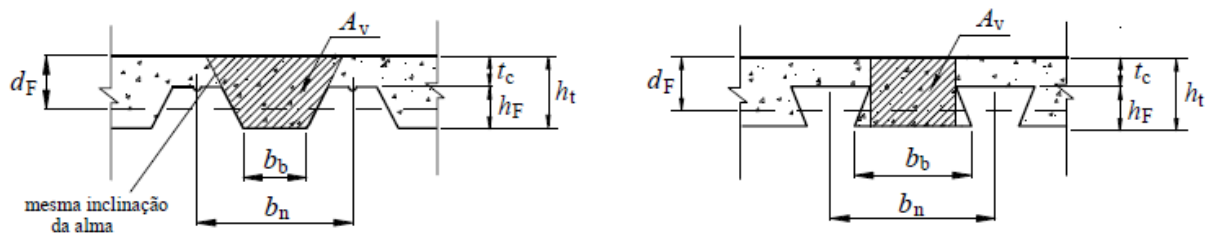
L_s é o vão de cisalhamento, expresso em milímetros (mm);

m e k são 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 utilizada nos ensaios;

$A_{F,ef}$ é a área da seção efetiva da fôrma que corresponde a 1000 mm.

Figura 16 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 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 falando 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 aos conectores de cisalhamento citados acima.

5.2.2.1.3 *Cisalhamento vertical*

A expressão abaixo, descrita pela NBR 8800 (ABNT,2008), determina a força cortante resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço incorporada, relativa a 1000 mm de largura:

$$V_{v,Rd} = V_{v,F,Rd} + V_{v,c,Rd} \leq V_{max} \quad (16)$$

Onde:

$V_{v,F,Rd}$ é a 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;

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

V_{max} é um 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:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000\tau_{Rd}k_v(1,2 + 40\rho)A_v}{b_n} \quad (17)$$

com

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (18)$$

kk_v

$$= \begin{cases} 1,6 - \frac{d}{1000} \geq 1,0 & \text{caso haja nenhuma armadura longitudinal de tração que se} \\ & \text{estenda menos que } d + l_{b,nec} \text{ além da} \\ & \text{seção considerada} \\ 1,0 & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (19)$$

$$\tau_{Rd} = 0,25f_{ctd} \quad (20)$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (21)$$

onde:

A_v é a área resistente do concreto (ver figura 16), em milímetros quadrados (mm²);

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

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

b_n é a largura entre duas nervuras consecutivas, em milímetros (mm) (ver figura 16);

$l_{b,nec}$ o comprimento de ancoragem necessário, dado na NBR 6118 para o concreto de densidade normal ou, na ausência de Norma Brasileira aplicável, no Eurocode 2 Part 1-1 para o concreto de baixa densidade;

η é $0,3+0,7(\rho_c/2400)$, sendo ρ_c a massa específica do concreto, em quilogramas por metro cúbico, não podendo ser tomado valor superior a 2400 Kg/m³;

$f_{ctk,inf}$ é a resistência à tração direta característica inferior do concreto, segundo a NBR 6118, igual a $0,21f_{ck}^{2/3}$, com $f_{ctk,inf}$ e f_{ck} expressas em megapascal (MPa).

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).

$$V_{max} = \frac{1000 \times 0,28 (f_{ck})^{1/2} A_v}{b_n} \quad (22)$$

5.2.2.1.4 Punção

Uma carga concentrada, provoca uma força cortante resistente de cálculo à punção, $V_{Rd,p}$, expressa em newton (N), e determinada pela expressão:

$$V_{p,Rd} = u_{cr} d_I \tau_{Rd} \quad (23)$$

com:

$$d_I = (d_F + t_c)/2 \quad (24)$$

$$\tau_{Rd} = 0,13k_p(100\rho fck)^{\frac{1}{3}} \geq 0,30f_{ctd} \quad (\tau_{Rd} \text{ e } fck \text{ expressas em megapascal (MPa)}) \quad (25)$$

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1}} \leq 2,0 \quad (26)$$

$$\rho = \sqrt{\rho_F \rho_S} \leq 0,02 \quad (27)$$

onde:

u_{cr} é o perímetro crítico, expresso em milímetros (mm), conforme figura 17;

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

t_c é a 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:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{sl}}{d_F (b_1 + 2h_r + 3d_F)} \quad (28)$$

$$\rho_S = \frac{A_{st}}{t_c (b_1 + 2h_r + 3d_F)} \quad (29)$$

A_F é a área da seção da fôrma de aço, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), expressa em milímetros quadrados (mm²);

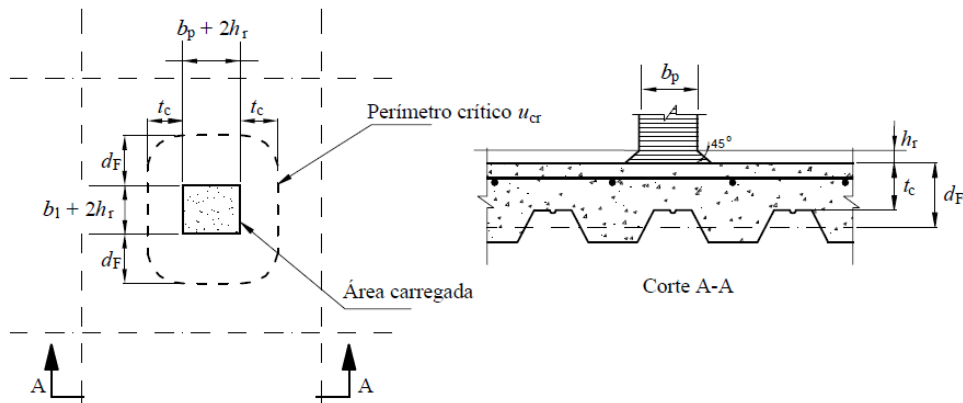
A_{sl} é a área da armadura longitudinal, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), expressa em milímetros quadrados (mm²);

A_{st} é a área da armadura transversal, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3d_F$), expressa em milímetros quadrados (mm²);

b_1 e b_p ver figura 17, em milímetros (mm);

h_r é a altura do revestimento da laje, expressa em milímetros (mm), se houver.

Figura 17 - Perímetro crítico para punção



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

5.2.2.2 Estado-limite de serviço

5.2.2.2.1 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.

5.2.2.2.2 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.

Para análise do deslocamento máximo, pode ser utilizado a tabela de deslocamentos máximos disponibilizada pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São

Paulo através do trabalho com título de “Tabelas de Vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito”, finalizado em fevereiro de 2010.

Neste trabalho, utilizaremos o caso 6, da tabela 3.1a do trabalho mencionado acima, partindo do pressuposto que será feita a análise de uma laje bi apoiada com carga uniformemente distribuída.

$$W_{máx} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E_c \cdot I} \quad (30)$$

onde:

q = sobrecarga;

l = comprimento do vão da viga;

E_c = módulo de elasticidade do concreto;

I = momento de inércia da seção

5.2.3 Ações a serem consideradas

5.2.3.1 Fase inicial

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), para determinação da resistência da fôrma de aço na fase inicial, deve-se levar em conta o peso próprio dos materiais utilizados, incluindo o próprio peso da fôrma, além do concreto fresco e da armadura utilizada, sobrecarga de construção, e efeito de empoçamento, caso haja um deslocamento acima do permitido. Se o deslocamento do vão da fôrma, ultrapassar o valor de $L_F/250$, onde L_F é o vão teórico da laje na direção das nervuras, deve-se acrescentar na espessura nominal do concreto, 70% do valor do deslocamento.

Ainda de acordo com a NBR 8800 (ABTN,2008), a determinação dos esforços solicitantes deve levar em consideração a sequência de concreteagem. A sobrecarga de construção, deve ser levada como a mais desfavorável entre os valores de 1kN/m², para carga uniformemente deistribuída ou carga linear de 2,2 kN/m perpendicular à direção das nervuras da fôrma, na posição mais desfavorável, somente para verificação do momento fletor.

5.2.3.2 Fase final

Nos estados-limite últimos de lajes mistas de aço e concreto, deve-se considerar que todo carregamento é sustentado pelo sistema misto de aço e concreto.

5.2.3.3 Combinações de ações

Considerando a combinação de ações durante a construção, para o dimensionamento da fôrma de aço na fase inicial, o peso próprio do concreto fresco deve ser considerado ação variável.

5.2.4 Disposições construtivas

Segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), algumas disposições construtivas devem ser obedecidas:

- espessura mínima do concreto sobre a fôrma deve ser de no mínimo 50 mm;
- a dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve exceder $0,40t_c$, onde t_c é a altura da laje de concreto acima da fôrma de aço (ver figura 16), nem $b_o/3$, onde b_o é a largura média das nervuras para fôrmas trapezoidais e a largura mínima para fôrmas reentrantes (ver figura 16), ou ainda, exceder 30 mm.
- 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.

5.2.5 Verificação da laje para cargas concentradas ou lineares

5.2.5.1 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”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2008). (ver figura 18)

$$b_m = b_p + 2(t_c + h_r) \quad (31)$$

onde:

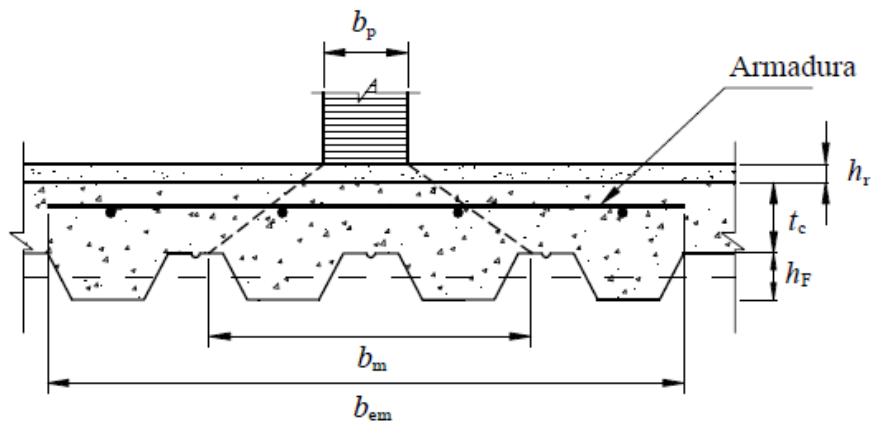
b_p é a largura da carga concentrada perpendicular ao vão da laje;

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

h_r é a 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 18 - Distribuição das cargas concentradas ou lineares



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

5.2.5.2 Largura efetiva

Para cálculos de resistência da estrutura mista de aço e concreto, deve-se considerar uma largura, que não seja superior ao descrito abaixo, conforme a NBR 8800 (ABNT,2008), chamada de largura efetiva:

- Para momento fletor e cisalhamento longitudinal:
 - casos de vãos simples e tramos extremos de lajes contínuas

$$b_{em} = b_m + 2L_p \left(1 - \frac{L_p}{L_F}\right) \quad (32)$$

- casos de tramos internos de lajes contínuas

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

- Para cisalhamento vertical:

$$b_{ev} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L_F}\right) \quad (34)$$

Onde:

L_p é a distância do centro da carga ao apoio mais próximo;

L_F é o 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 18). 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.

5.2.5.3 Armadura de distribuição

Para a garantir 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 19):

$$M_{d,Rd} = \frac{F_d b_{em}}{15w} \quad (35)$$

Ou

$$M_{d,Rd} = \frac{F_d b_{ev}}{15w} \quad (36)$$

O que for aplicável, com

$$w = \frac{L_F}{2} + b_1 \leq L_F \quad (37)$$

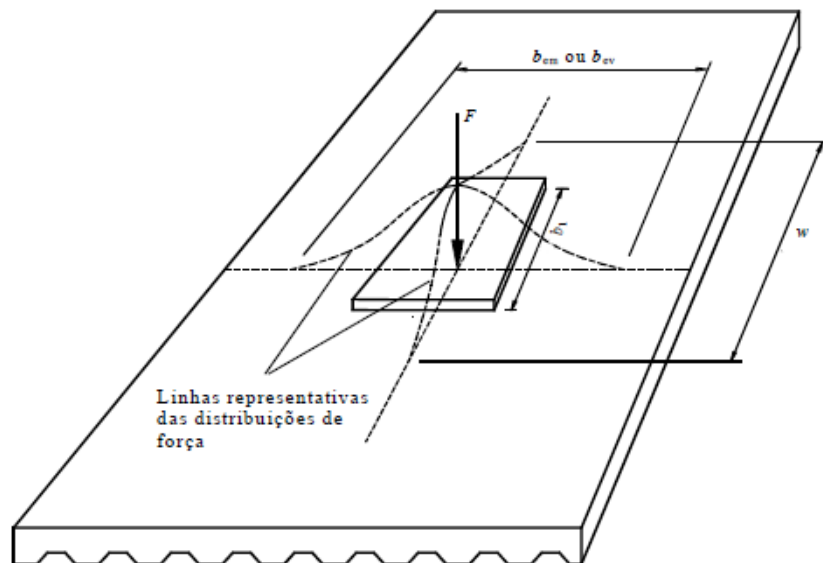
Onde:

F_d é a carga concentrada de cálculo;

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

L_F , b_m e b_{ev} descritos no item anterior.

Figura 19 - Armadura de distribuição



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 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.

5.2.6 Aços utilizados para fôrma e revestimento

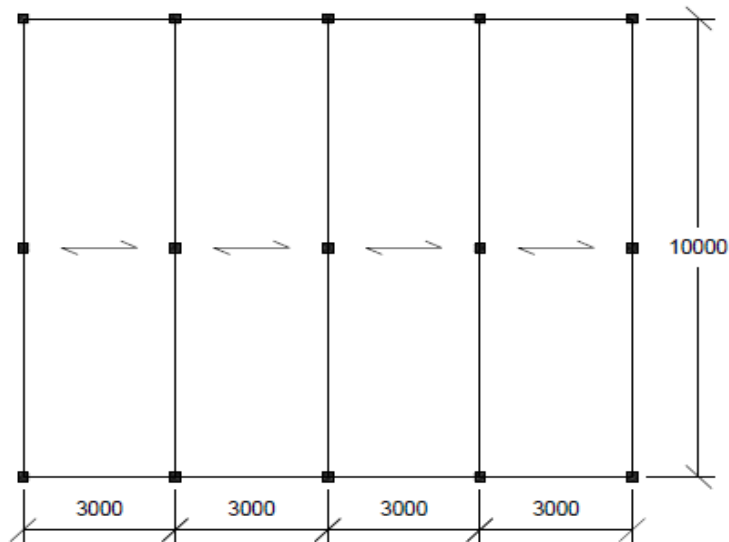
As fôrmas de aço para execução das lajes mistas devem ser fabricadas em chapas de aço estrutural que atendam os requisitos da ABNT NBR 14762:2010.

Segundo a NBR 8800 (ABNT,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.

6 DIMENSIONAMENTO PRÁTICO DE UM PAINEL DE LAJES

Para o dimensionamento prático foi adotado o pavimento tipo, representado na figura 20.

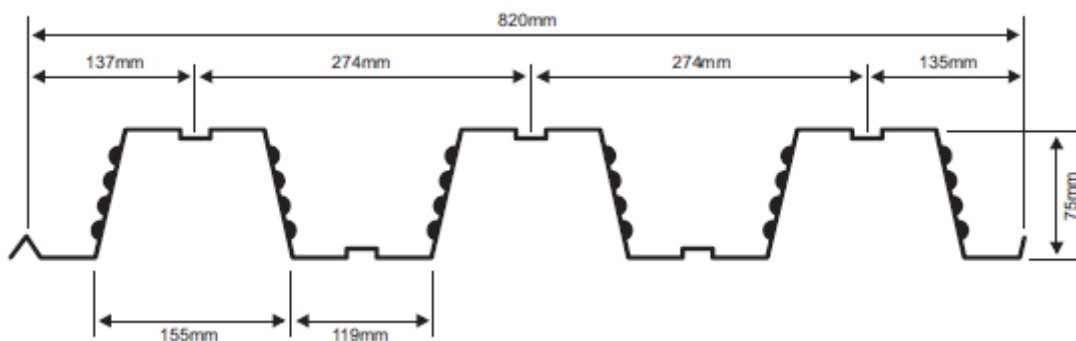
Figura 20 – Pavimento tipo (dimensões em mm)



Fonte: Próprios autores, 2018.

O perfil da telha-fôrma escolhido é a MF-75 com espessura de 1,25 mm, e altura da laje de 150 mm, e concreto com $f_{ck} = 20$ MPa.

Figura 21 – Dimensões telha-forma MF-75



Fonte: Manual técnico metform, 2017.

Dados do fabricante:

- $d_F = 112,28$ mm
- $b = 1000$ mm

- $b_n = 274 \text{ mm}$
- $t_c = 75 \text{ mm}$
- $A_{F,ef} = 1771 \text{ mm}^2$

Os carregamentos pré determinados, foram adotados segundo dados de fabricantes, e a NBR 6120 (ABNT,1980), supondo cargas para um pavimento com finalidade para uma galeria de lojas. São eles:

- Peso próprio da laje (pp): $2,79 \text{ kN/m}^2$ (dados do fabricante);
- Carga permanente (revestimento) (q): 1 kN/m^2 (ABNT NBR 6120:1980);
- Sobrecarga de utilização (q1): 3 kN/m^2 (ABNT NBR 6120:1980);

Para cálculo da carga total (Q_T) no pavimento, utilizaremos o coeficiente de majoração $\gamma = 1,4$, com isso teremos:

$$Q_T = (pp + q + q1) \cdot \gamma$$

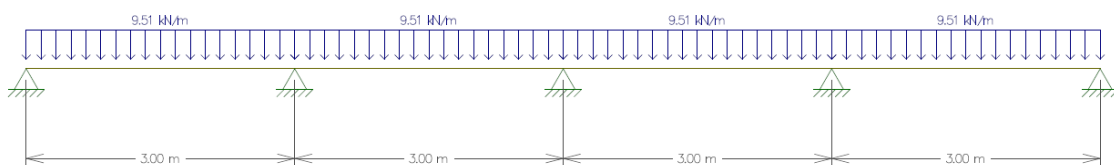
$$Q_T = (2,79 + 1 + 3) \cdot 1,4$$

$$Q_T = 9,51 \text{ kN/m}^2$$

De acordo com a tabela do manual técnico da metform, temos que, para uma telha-forma de aço MF-75, a carga máxima sobreposta suportada para um vão de 3000 mm, é de $9,13 \text{ kN/m}^2$, como a carga sobreposta na laje será $5,6 \text{ kN/m}^2$ ($(q + q1) \cdot \gamma$), a escolha da telha-forma está adequada.

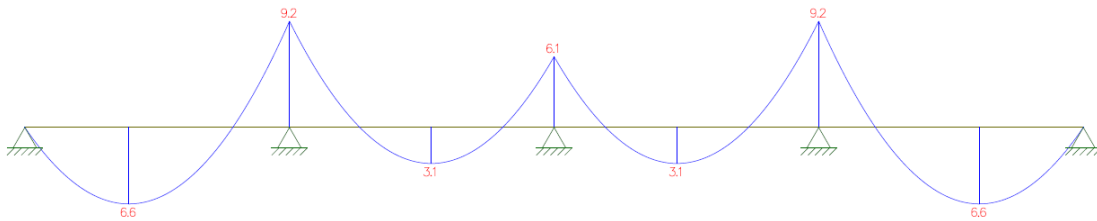
Nas figuras abaixo estão representadas o esquema de cargas da seção analisada, o diagrama de momento fletor, e o diagrama de esforço cortante.

Figura 22 – Distribuição de cargas



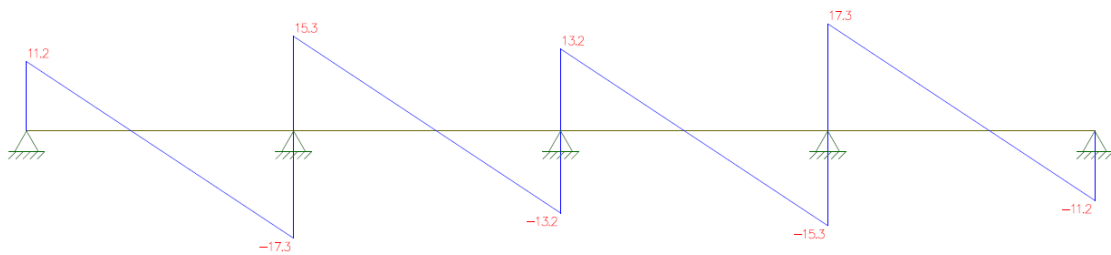
Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 23 – Diagrama de momento fletor (kN.m)



Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 24 – Diagrama de esforço cortante (kN)



Fonte: Próprios autores, 2018.

Através dos diagramas acima, temos momento máximo de cálculo $M_{sd} = 9,2 \text{ kN.m}$, e esforço cortante máximo $V_{sd} = 17,3 \text{ kN}$.

6.1 VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR

Primeiro será necessário a determinação da posição da linha neutra, descritas neste trabalho, de acordo com a NBR 8800 (ABNT,2008).

$$\begin{aligned}
 N_{pa} &= A_{F,ef} f_{yd} \\
 N_{pa} &= 17,71 \cdot \frac{28}{1,15} \\
 N_{pa} &= 431,20 \text{ kN} \\
 \\
 N_{cf} &= 0,85 b t_c f_{cd} \\
 N_{cf} &= 0,85 \cdot 100 \cdot 7,5 \cdot \frac{20}{1,4} \\
 N_{cf} &= 910,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sendo assim, temos que, $N_{cf} > N_{pa}$, logo podemos afirmar que a posição da linha neutra plástica (LNP) encontra-se acima da forma de aço, com isso podemos determinar momento fletor resistente de cálculo.

$$M_{Rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a)$$

Onde:

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

$$a = \frac{431,20}{0,85 \cdot \frac{20}{1,4} \cdot 1}$$

$$a = 35,51 \text{ mm}$$

Com isso temos:

$$M_{Rd} = 431,20 (112,28 - 0,5 \cdot 35,51) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Rd} = 40,76 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 9,2 \text{ kNm}$$

Logo, $M_{Rd} > M_{sd}$, portanto a verificação ao momento fletor está ok.

6.2 VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO LONGITUDINAL E VERTICAL

Para verificação do cisalhamento longitudinal, temos:

$$V_{l,Rd} = \frac{bd_F \left[\left(\frac{m_{A_{F,ef}}}{bL_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}}$$

onde:

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

$$L_s = 0,9 \cdot \frac{3}{4}$$

$$L_s = 0,675 \text{ m}$$

Os valores de m e k são valores obtidos 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 experimentos de Ferraz (1999), respectivamente, 208,63 kN/m e 0,039194 kN/mm.m.

Sendo assim:

$$V_{l,Rd} = \frac{100 \cdot 1,1228 \left[\left(\frac{208,63 \cdot 1771}{1000 \cdot 675} \right) + 0,039194 \right]}{1,25}$$

$$V_{l,Rd} = 52,68 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 17,3 \text{ kN}$$

Logo, $V_{l,Rd} > V_{sd}$, portanto a verificação ao cisalhamento longitudinal está ok.

Para verificação do cisalhamento vertical, temos:

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

onde:

$$K_v = 1,0$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02;$$

$$A_s = (18 + 77,13 + 119 + 77,13 + 18) \cdot 0,95 = 293,80 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \frac{(191 + 119) \cdot 150}{2} = 23250 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{293,80}{23250} = 0,0126 < 0,02, \text{ portanto } \rho = 0,0126$$

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

onde:

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

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

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

$$\eta = 1;$$

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

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

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

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

$$f_{ctd} = 1,2378 \text{ MPa};$$

Logo, temos:

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot 1,2378$$

$$\tau_{Rd} = 0,31 \text{ MPa}$$

Sendo assim:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot 0,31 \cdot 1,0 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0126) \cdot 23250}{274}$$

$$V_{v,c,Rd} = 44,82 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 17,3 \text{ kN}$$

Com isso temos que $V_{v,c,Rd} > V_{sd}$. Verificação ok.

Para determinar o deslocamento máximo, temos:

$$W_{máx} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E_c \cdot I}$$

onde:

$$q = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$l = 3000 \text{ mm}$$

$$E_c = 21287,4 \text{ Mpa}$$

$$I = 19,05 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Portanto:

$$W_{máx} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 3000^4}{384 \cdot 21287,4 \cdot 10^6 \cdot 19,05 \cdot 10^6}$$

$$W_{m\acute{a}x} = 7,80 \times 10^{-3} \text{ m} = 7,80 \text{ mm}$$

O deslocamento admissível é:

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

onde:

$$L = 3000 \text{ mm}$$

Portanto:

$$W_{adm} = \frac{3000}{350}$$

$$W_{adm} = 8,57 \text{ mm}$$

Logo, temos que $W_{m\acute{a}x} < W_{adm}$. Verificação ok.

Para armadura de fissuração, conforme manual técnico da metform são utilizadas telas soldadas ou malhas de barras trefiladas, e deverá estar localizada no topo da laje com cobertura mínimo de 20 mm.

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

Portanto temos que:

$$A_s \geq 0,1\% (7,5.100)$$

$$A_s \geq 0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

7 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos esperados, as lajes steel deck aparece em um momento em que um custo mais baixo na execução de um empreendimento, o torna bastante atrativo. Aliado à sua praticidade e rapidez construtiva, traz retornos financeiros ao empreendimento, em um menor tempo.

Na construção de uma laje convencional, como se sabe, perde-se muito tempo com a confecção de fôrmas para concretagem, e também na desforma, além de deixar o pavimento inferior à concretagem, inutilizável por causa de escoras utilizadas. O steel deck acaba com todos esses “contratempos”.

Outro ponto que se pode destacar é a construção limpa e sustentável que o steel deck proporciona, pois evita o desperdício de material em uma obra de médio a grande porte.

Como todo novo produto que surge no mercado, a tendência é que com o passar dos anos novas tecnologias vão surgindo, e com esse avanço pode-se obter um produto ainda mais vantajoso em relação aos outros sistemas já existentes.

Discussões e estudos sobre as estruturas mistas, inclusive o steel deck, devem ser constantes, buscando sua disseminação no Brasil como uma alternativa atrativa para a construção civil. Um ponto relevante de pesquisas, seria a busca de novas tecnologias ou materiais que tragam um maior desempenho à estrutura e uma maior aplicação na construção civil, com menos restrições construtivas.

8 ANEXO A

Tabela A 1 - Composição química de alguns aços fabricados no Brasil

Nomenclatura	Composição Química (%)							Limite de Escoamento (MPa)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Alongamento (% em 200 mm)
	C _{máx}	Si _{máx}	Mn _{máx}	P _{máx}	S _{máx}	Cu _{máx}	Outros			
1-ASTM A36	0,26	0,40		0,04	0,05			250	400 (min)	18
2-ASTM A242 Gr.1	0,15	-	1,00	0,15	0,05	0,20		345	485	18
ASTM A242 Gr.2	0,20	-	1,35	0,04	0,05	0,20		345	485	18
3-ASTM A572 Gr.50	0,23	0,40	1,35	0,04	0,05	-	Nb 0,005-0,05	345	450	18
4-USI – SAC – 300 (Antigo 41)	0,20	0,50 – 1,50	1,50	0,060	0,020	0,05-0,40	Cr 0,60	300	400 a 550	5 – 12,7
5-USI – SAC – 350 (Antigo 50)	0,25	0,50 – 1,50	1,50	0,060	0,020	0,05-0,40	Cr 0,60	350	500 a 650	5 – 12,7

Notas: 1 – Aço-carbono

3 – aço de baixa liga e alta resistência mecânica

4 – aço de baixa liga e média resistência mecânica, resistente à corrosão atmosférica

2,5 – aços de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica

4,5 – aços fabricados pela Usiminas para chapas grossas e tiras a quente (catálogo Usiminas)

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009, p. 308)

Tabela A 2 - Constantes físicas dos aços (faixa normal de temperaturas atmosféricas)

Constante Física	Valor
Módulo de deformação longitudinal, E	200.000 – 210.000* MPa
Coefficiente de poisson, ν	0,3
Coefficiente de dilatação térmica, β	12 x 10 ⁻⁶ por °C
Massa específica, ρ	7850 kg/m ³

* Faixa de variação dos valores médios de E: valor adotado pela NBR8800 = 200.000 MPa.

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009, p. 307)

Tabela A 3 – Propriedades mecânicas dos aços estruturais padrão ABNT (NBR 8800:2008)

Descrição	Classe/grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)
1 – Aços para perfis laminados para uso estrutural NBR 7007	MR250	250	400-560
	AR350	350	450
	AR415	415	520
	AR350-COR	350	485
2 – Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural NBR 6648	CG-26	255	410
	CG-28	275	440
3 – Chapas finas de aço-carbono para aço estrutural (a frio/ a quente) NBR 6649/ NBR 6650	CF-26	260/260	400/410
	CF-28	280/280	440/440
	CF-30	- /300	- /490
4 – Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR 5000	G-30	300	415
	G-35	345	450
	G-42	415	520
	G-45	450	550
5 – Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR 5004	F-32/Q-32	310	410
	F-35/Q-35	340	450
	Q-40	380	480
	Q-45	450	550

6 – Chapas grossas de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais NBR 5008	CGR 400	250	380
	CGR 500 e CGR 500A	370	490
7 – Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais (a frio/ a quente) NBR 5920/ NBR 5921	CFR 400	- /250	- /380
	CFR 500	310/370	450/490
8 – Perfil tubular de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular, para usos estruturais NBR 8261	B – seção circular	290	400
	B – seção retangular	317	400
	C – seção circular	317	427
	C – seção retangular	345	427

f_y = Tensão de escoamento

f_u = Tensão de ruptura

Fonte: PFEIL; PFEIL (2009, p. 309)

Tabela A 4 – Propriedades mecânicas de alguns aços estruturais padrão ASTM (American Society for Testing Materials) (NBR 8800:2008)

Classificação	Denominação	Produto	Grupo/grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)	
Aços- Carbono	A-36	Perfis	1,2 e 3	250	400 a 550	
		Chapas e barras	$t < 200$ mm			
	A-500	Perfis	Grupo 4	Grau A	230	310
				Grau B	290	400
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A - 572	Perfis	Grupos 1,2 e 3	Grau 42	290	415
				Grau 50	345	450
		Chapas e Barras	Grau 42 ($t \leq 150$ mm)		290	415
			Grau 50 ($t \leq 100$ mm)		345	450
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A-242	Perfi	Grupo 1	345	485	
			Grupo 2	315	460	
		Chapas e Barras	$t < 19$ mm		345	480
			$19 \text{ mm} < t < 37,5$ mm		315	460
			$37,5 \text{ mm} < t < 100$ mm		290	435
	A-588	Perfis	Grupos 1 e 2		345	485
		Chapas e Barras	$t \leq 100$ mm		345	480

Notas:

- a) Grupamento de perfis laminados para efeito de propriedades mecânicas:
 - Grupo 1: perfis com espessura de mesa igual ou inferior a 37,5 mm;
 - Grupo 2: perfis com espessura de mesa superior a 37,5 e inferior ou igual a 50 mm;
 - Grupo 3: perfis com espessura de mesa superior a 50 mm;
 - Grupo 4: perfis tubulares.
- b) Para efeito das propriedades mecânicas de barras, a espessura t corresponde à menor dimensão da seção transversal da barra.

9 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10520: Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, p. 7. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, p. 24. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6028: Informação e documentação - Resumo - Apresentação**. Rio de Janeiro, p. 2. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, p. 237. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, p. 87. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, p. 66. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16421: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - Requisitos e ensaios**. Rio de Janeiro, p. 10. 2015.
- CICHINELLI, G. Construção Rápida: Sistema misto que dispensa parcial ou totalmente o escoramento, o steel deck agiliza a execução e reduz custos. **Téchne**, 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/179/construcao-rapida-sistema-misto-que-dispensa-parcial-ou-totalmente-287917-1.aspx>>. Acesso em: 11 Outubro 2017.
- CICHINELLI, G. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Lajes em steel deck**, 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- FERRAZ, C. B. **Análise do Comportamento e da resistência do sistema de lajes mistas**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 168. 1999.

- METFORM S/A. **Telha-Fôma (Steel Deck) Metform - Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem**. Betim, p. 80. 2017.
- NARDIN, S. D. et al. **Estruturas Mistas Aço-Concreto: Origem, Desenvolvimento e Perspectivas**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 16. 2005.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- PORTAL METÁLICA CONSTRUÇÃO CIVIL. Portal Metálica Construção Civil. **Lajes Steel Deck**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/lajes-steel-deck>>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, v. 1, 2012.
- REVISTA FINESTRA. Norma padroniza sistema para o steel deck. **Centro Brasileiro da Construção em Aço**, 2016. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7228>>. Acesso em: 11 Outubro 2017.
- SPUTO, T. STRUCTURE MAGAZINE. **Development of Composite Steel Deck**, 2012. Disponível em: <<http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/D-CodeUpdates-Sputo-Aug121.pdf>>. Acesso em: 10 Outubro 2017.