

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO MARCOS MIGUEL HEINZ  
JOÃO SILVIO ZAMBIAZZI BENETTI

**ANÁLISE DE CUSTOS DIRETOS DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E  
COMPARATIVO DE CUSTOS COM LAJES PRÉ-MOLDADAS COM  
VIGOTAS TRELIÇADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

JOÃO MARCOS MIGUEL HEINZ  
JOÃO SILVIO ZAMBIAZZI BENETTI

**ANÁLISE DE CUSTOS DIRETOS DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E  
COMPARATIVO DE CUSTOS COM LAJES PRÉ-MOLDADAS COM  
VIGOTAS TRELIÇADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Jairo Trombetta

Co-orientador: Prof. Dra. Elizângela  
Marcelo Siliprandi

PATO BRANCO

2016



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE DE CUSTOS DIRETOS DE LAJES MISTAS STEEL DECK E COMPARATIVO DE CUSTOS COM LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

**JOÃO MARCOS MIGUEL HEINZ  
JOÃO SILVIO ZAMBIAZZI BENETTI**

No dia 22 de junho de 2016, às 08h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº10-TCC/2016.

Orientador: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ELIZÂNGELA M. SILIPRANDI

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. LUIZ ANTÔNIO MIOTTI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC/UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos ilumina em todos os dias de nossas vidas e nos motiva a buscar cada vez mais. Agradecemos também a nossas famílias, pelo apoio em todos os momentos e por serem nosso exemplo de vida. Da mesma forma, agradecemos a nossos amigos e colegas por serem nossos companheiros durante estes anos de muito estudo, dedicação e amizade, e por todo o auxílio na produção deste trabalho. Também não podemos esquecer de todos os professores e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná por nos mostrarem o caminho para que chegássemos até aqui.

Menção especial deve ser feita a algumas pessoas: ao Prof. Msc. Cleovir José Milani, ao Prof. Msc. Jairo Trombetta e à Prof. Dra. Elizângela Marcelo Siliprandi, por toda a orientação durante a produção deste trabalho e aos professores Dr. Volmir Sabbi e Msc Luiz Antônio Miotti, pela participação na banca avaliadora. Agradecemos também às empresas entrevistadas que nos ajudaram no maior entendimento do assunto e, por último mas não menos importante, à Ana Paula, por toda a ajuda na produção e revisão deste trabalho.

## RESUMO

HEINZ, João M. M.; BENETTI, João S. Z. **Análise de custos diretos de lajes mistas *steel deck* e comparativo de custos com lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.** 2016. 134 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco., 2016

Este estudo traz informações com relação ao sistema de lajes mistas *steel deck* e um comparativo de custos com lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas. Partindo do surgimento do sistema *steel deck*, as vantagens e desvantagens desse sistema, uma análise das normas nacionais e internacionais vigentes, os materiais utilizados para a execução, o modo como a execução é feita, um estudo sobre o comportamento estrutural e o dimensionamento detalhado de forma didática de acordo com as normas brasileiras. Da mesma forma, são apresentadas informações sobre o sistema de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas. São feitas então, análises e composições de custo unitário tanto para o sistema de lajes mistas *steel deck* quanto para o sistema de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas. Após o estudo, foi possível observar que a fôrma metálica é responsável pela maior parcela do custo das lajes mistas *steel deck*. Ainda, após a análise de ambas as composições, foi observado que as lajes mistas *steel deck* se mostraram mais caras que as pré-moldadas com vigotas treliçadas em todas as situações de projeto.

**Palavras-chave:** Comparativo. Lajes. *Steel deck*. Concreto pré-moldado.

## ABSTRACT

This study brings information about the steel deck composite slab and a cost comparative with pre-cast slabs with trussed joists. Starting from the history of steel deck, vantages and disadvantages, an analysis of the current national and international technical standards, materials, construction process, study about the structural behavior and a detailed design walkthrough following the Brazilian standard. Likewise, information about pre-cast slabs with trussed joists are shown. After that, analysis and unitary cost composition for both systems are presented. During the study, it is possible to notice that the steel deck element is responsible for the majority of the costs of the steel deck composite slab. In conclusion, the steel deck composite slab has shown to be costlier than the pre-cast slabs with trussed joists in all studied cases.

**Keywords:** Comparison. Slabs. Steel deck. pre-cast concrete.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Situações de projeto consideradas para o dimensionamento das lajes mistas <i>steel deck</i> .....	75
Tabela 2 - Situações de projeto consideradas para o dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas .....	75
Tabela 3 - Resumo das composições base para lajes mistas <i>steel deck</i> – unidade: m <sup>2</sup> .....	77
Tabela 4 - Resumo da composição base de escoramento metálico para lajes – unidade: m <sup>2</sup> .....	77
Tabela 5 - Resumo das composições base para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas – unidade: m <sup>2</sup> .....	78
Tabela 6 – Dimensionamento das lajes mistas <i>steel deck</i> para as situações de projeto consideradas .....	80
Tabela 7 – Dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas .....	80
Tabela 8 – Quantidades de madeira e de escoras por m <sup>2</sup> de laje calculados em função das situações de projeto consideradas.....	83
Tabela 9 – Resumo das composições próprias para lajes mistas <i>steel deck</i> – unidade: m <sup>2</sup> .....	84
Tabela 10 – Resumo da composição própria de escoramento metálico para lajes – unidade: m <sup>2</sup> .....	85
Tabela 11 – Resumo das composições próprias para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliças do tipo TR08644 – unidade: m <sup>2</sup> .....	86
Tabela 12 - Resumo das composições para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliças do tipo TR12645 – unidade: m <sup>2</sup> .....	87
Tabela 13 – Preços dos insumos utilizados nas composições de lajes mistas <i>steel deck</i> .....	88
Tabela 14 – Preços dos insumos utilizados nas composições de escoramento metálico para lajes .....	88
Tabela 15 – Preços dos insumos utilizados nas composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas .....	89
Tabela 16 - Composição própria de laje mista <i>steel deck</i> com altura total de 13 cm .....	91
Tabela 17 - Composição própria de laje mista <i>steel deck</i> com altura total de 15 cm .....	92
Tabela 18 – Composição própria de laje mista <i>steel deck</i> com altura total de 18 cm .....	93
Tabela 19 – Composição própria de laje mista <i>steel deck</i> com altura total de 20 cm .....	94
Tabela 20 – Diferença de custo entre as lajes mistas <i>steel deck</i> e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas .....	104

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custos unitários das lajes mistas <i>steel deck</i> com 13 cm de espessura total .....	95
Gráfico 2 – Custos unitários das lajes mistas <i>steel deck</i> com 15 cm de espessura total .....	96
Gráfico 3 – Custos unitários das lajes mistas <i>steel deck</i> com 18 cm de espessura total .....	96
Gráfico 4 - Custos unitários das lajes mistas <i>steel deck</i> com 20 cm de espessura total .....	97
Gráfico 5 – Resumos dos custos unitários das lajes mistas <i>steel deck</i> , de acordo com suas dimensões.....	97
Gráfico 6 – Proporção média de custos por insumos das lajes mistas <i>steel deck</i> ....	98
Gráfico 7 – Resumo dos custos dos escoramentos metálicos para lajes.....	99
Gráfico 8 – Resumo de custos das lajes mistas <i>steel deck</i> para vãos livres de 2 m .....	100
Gráfico 9 – Resumo de custos das lajes mistas <i>steel deck</i> para vãos livres de 3 m .....	100
Gráfico 10 – Resumo de custos das lajes mistas <i>steel deck</i> para vãos livres de 4 m .....	101
Gráfico 11 – Resumo dos custos das lajes mistas <i>steel deck</i> de acordo com as situações de projeto consideradas .....	102
Gráfico 12 – Resumo dos custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas de acordo com as situações de projeto consideradas.....	103
Gráfico 13 – Comparativo de custos entre as lajes mistas <i>steel deck</i> e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas nas situações de projeto consideradas .....	104
Gráfico 14 – Diferença de custo, em %, entre as lajes mistas <i>steel deck</i> e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas....	105



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Determinação da força de tração na fôrma de aço ( $N_{pa}$ ) .....	49
Equação 2 – Determinação da altura da região de compressão do concreto ( $a$ ).....	50
Equação 3 – Determinação do momento fletor resistente.....	50
Equação 4 – Determinação da força de compressão no concreto ( $N_{cf}$ ) .....	51
Equação 5 – Determinação da distância $y$ .....	51
Equação 6 – Determinação do momento de plastificação da fôrma de aço reduzido pela força axial ( $M_{pr}$ ) .....	51
Equação 7 – Determinação do momento resistente de cálculo ( $M_{Rd}$ ).....	52
Equação 8 – Verificação da relação entre a área resistente de aço e a área de concreto ( $\rho$ ) .....	52
Equação 9 – Cálculo do valor ( $\eta$ ) .....	52
Equação 10 – Cálculo do valor da resistência característica do concreto ( $f_{ctk,inf}$ ) ...	52
Equação 11 – Cálculo do valor da resistência de cálculo do concreto ( $f_{ctd}$ ).....	52
Equação 12 – Determinação do valor de ( $\tau_{Rd}$ ) .....	53
Equação 13 – Análise do parâmetro ( $k_v$ ).....	53
Equação 14 – Determinação da força cortante vertical de cálculo do concreto ( $V_{v,c,Rd}$ ).....	53
Equação 15 – Determinação do limite da força cortante ( $V_{máx}$ ) .....	53
Equação 16 – Análise final da força cortante vertical.....	54
Equação 17 – Cálculo da taxa de armadura longitudinal ( $\rho_F$ ).....	54
Equação 18 – Cálculo da taxa de armadura transversal ( $\rho_S$ ).....	54
Equação 19 – Determinação do parâmetro ( $\rho$ ).....	55
Equação 20 – Determinação da distância ( $d_1$ ) .....	55
Equação 21 – Verificação do parâmetro ( $k_p$ ).....	55
Equação 22 – Verificação do parâmetro ( $\tau_{Rd}$ ) .....	55
Equação 23 – Força cortante resistente de cálculo à punção provocada por uma carga concentrada ( $V_{Rd,p}$ ).....	55
Equação 24 – Determinação de ( $N_{ps}$ ).....	58
Equação 25 – Determinação de ( $y'$ ).....	59
Equação 26 – Momento resistente de cálculo $M_{Rd}$ .....	59
Equação 27 – Determinação das larguras de distribuição do aço ( $b_m$ ).....	60
Equação 28 – Determinação da largura de distribuição do aço ( $b_{em}$ ).....	60
Equação 29 – Determinação da largura de distribuição do aço ( $b_{ev}$ ).....	60
Equação 30 – Determinação do comprimento de distribuição da força ( $w$ ) .....	61
Equação 31 – Cálculo do momento atuante ( $M_d$ ).....	61
Equação 32 – Verificação da altura de concreto comprimido ( $a$ ).....	62
Equação 33 – Momento fletor resistente ( $M_{Rd}$ ) .....	62
Equação 34 – Verificação final do momento .....	62
Equação 35 – Cálculo da área total da armadura longitudinal ( $A_{st}$ ) .....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos das lajes mistas com fôrma de aço incorporada .....	16
Figura 2 - Tipos de lajes mistas com fôrma de aço incorporada .....	17
Figura 3 - Fluxo de cisalhamento em vigas mistas.....	22
Figura 4- Armadura antifissuração .....	25
Figura 5- Formatos de <i>steel deck</i> .....	29
Figura 6- Situações onde são necessários arremates .....	30
Figura 7 - Arremate periférico recomendado pela Metform.....	31
Figura 8- Arremate periférico sugerido pela Canam.....	31
Figura 9 - Arremate de topo recomendado pela Metform.....	32
Figura 10 - Arremate de topo utilizado juntamente com um arremate periférico .....	33
Figura 11 - Arremate de topo recomendado pela Canam .....	33
Figura 12 - Fechamento das nervuras da fôrma com neoprene.....	34
Figura 13 - Complemento de <i>steel deck</i> sugerido pela Metform .....	35
Figura 14 - Complemento de <i>steel deck</i> sugerido pela Canam.....	35
Figura 15 - Tipos de conectores de cisalhamento.....	36
Figura 16 - Lçamento das fôrmas.....	38
Figura 17 - Recobrimento das fôrmas de <i>steel deck</i> .....	40
Figura 18 - Recomendação de comprimentos mínimos sobre apoios.....	41
Figura 19 - Aberturas em lajes mistas <i>steel deck</i> .....	45
Figura 20 – Diagrama de tensões – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço ...	50
Figura 21 - Diagrama de tensões – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço....	51
Figura 22 - Perímetro crítico de punção .....	55
Figura 23 – Exemplo de tabela para dimensionamento de lajes mistas <i>steel deck</i> ...	57
Figura 24 – Distribuição das cargas concentradas ou lineares .....	60
Figura 25 – Armadura de distribuição .....	61
Figura 26- Posicionamento da armadura adicional em abertura .....	63
Figura 27 - Tipos de vigotas pré-moldadas .....	64
Figura 28 - Elementos das vigotas treliçadas.....	65
Figura 29 - Escoramento em madeira .....	68
Figura 30 - Detalhe do apoio das vigotas.....	69
Figura 31 – Diagrama da metodologia utilizada .....	73

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i> .....	16
2.1.1 Vantagens e desvantagens .....	17
2.1.2 História .....	19
2.1.3 Normas.....	20
2.1.4 Comportamento estrutural.....	21
2.1.5 Materiais utilizados .....	23
2.1.6 Processo construtivo .....	37
2.1.7 Dimensionamento .....	48
2.2 LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS .....	64
2.2.1 Vantagens e desvantagens .....	65
2.2.2 Comportamento estrutural.....	66
2.2.3 Processo construtivo .....	66
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>72</b>
3.1 REFERENCIAL TEÓRICO E PESQUISAS COM FABRICANTES.....	73
3.2 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES .....	74
3.2.1 Determinação das situações de projeto .....	74
3.2.2 Dimensionamento das lajes mistas <i>steel deck</i> .....	75
3.2.3 Dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas .....	76
3.3 COMPOSIÇÕES DE CUSTOS UNITÁRIOS .....	76
3.3.1 Composições.....	76
3.3.2 Custos dos insumos .....	78
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>79</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES .....	79
4.2 CRIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DE CUSTO UNITÁRIO PRÓPRIAS.....	81
4.2.1 Criação das composições de lajes mistas <i>steel deck</i> .....	81
4.2.2 Criação das composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas .....	85
4.2.3 Levantamento de preços .....	87
4.2.4 Composições de custo unitário próprias.....	90
4.3 ANÁLISES E COMPARATIVOS.....	95

4.3.1 Custos das lajes mistas <i>steel deck</i> de acordo com suas espessuras .....	95
4.3.2 Custos dos escoramentos metálicos para lajes .....	98
4.3.3 Custos das lajes mistas <i>steel deck</i> de acordo com as situações de projeto consideradas .....	99
4.3.4 Custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas .....	102
4.3.5 Comparativos entre as lajes mistas <i>steel deck</i> e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.....	103
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da indústria da construção civil no Brasil, qualidade e eficiência se tornaram fatores mais importantes durante a fase de execução da obra, onde estes, por sua vez, geram um maior retorno quanto aos recursos investidos. Ainda, cabe ressaltar que o interesse em se produzir com menor custo e maior eficiência, sem perder a qualidade do produto final, gera espaços para a utilização de métodos construtivos diferenciados e ainda não introduzidos de forma consistente no Brasil.

Em geral, a construção civil brasileira ainda se desenvolve sem muita preocupação com a produtividade, considerando que os materiais e métodos construtivos mais difundidos no país não sofreram grandes modificações nos últimos anos. Exemplos disso são as lajes maciça e pré-moldada com vigotas treliçadas, que continuam sendo as mais utilizadas.

Assim, buscando contribuir com a melhoria de qualidade e de produtividade na construção civil apresenta-se o conceito das lajes mistas, as quais vêm a contribuir com estes dois fatores. Desta forma, as lajes mistas de concreto com fôrma de aço incorporada podem ser definidas como sendo aquelas compostas basicamente de dois elementos: fôrma metálica e concreto e, são aquelas em que após o concreto atingir sua resistência de projeto, as fôrmas atuam em conjunto com o primeiro para resistir à flexão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). A laje mista *steel deck* é um tipo de laje mista com a fôrma incorporada, a qual geralmente tem um formato trapezoidal ou ondulado, projetada para garantir uma maior estabilidade da estrutura tanto durante a construção quanto após a cura do concreto.

No início da década de 1920 nos Estados Unidos, inicialmente criado apenas como uma fôrma lisa de metal para substituir as de madeira compensada, o *steel deck* rapidamente passou a ter outras funções na construção (ROSS, 2002). No Brasil, começou a ser difundido a partir de 1970 pela empresa Robtek. Uma década depois, a empresa Tekno apresentou o seu modelo ao mercado na mesma época em que a Metform (CICHINELLI, 2014). Estas empresas atualmente são algumas das poucas presentes no Brasil capazes de oferecer produtos e serviços relacionados as lajes mistas *steel deck*. De acordo com pesquisa publicada em 2015 pela ABCEM e pelo CBCA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. CENTRO

BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2014), o material metálico produzido em 2014 para execução de lajes mistas foi de apenas 15.180 toneladas, valor muito pequeno se comparado às 349.522 toneladas de aço produzidas para telhas metálicas.

O *steel deck* tem muitas vantagens, sendo a principal delas o aumento da velocidade de execução. Além disso, quando utilizado juntamente com estruturas de aço, podem ser utilizados conectores de cisalhamento para fazer com que o concreto acima da viga de aço trabalhe em conjunto com a mesma. Se utilizado corretamente, o *steel deck* aumenta a segurança na construção, uma vez que esta mesma plataforma de metal que servirá como fôrma durante a concretagem, em uma etapa prévia, serve também como plataforma de serviços e proteção aos operários trabalhando em níveis inferiores. De acordo com Metform (2007), o *steel deck* possui facilidade para passagem de tubulações e fixação de forro, além de, de acordo com o vão e a sobrecarga atuante, dispensar escoramento.

Atualmente, no Brasil, o *steel deck* não possui muito material científico a seu respeito. Entretanto, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) possui um anexo específico quanto ao seu dimensionamento e construção. Este mesmo documento, em alguns momentos, também cita algumas normas estrangeiras.

Sendo assim, surge a questão problema proposta, quais são os custos diretos envolvidos na construção de lajes mistas *steel deck* e qual a diferença de custo com relação às lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas?

Desta forma, a produção deste trabalho de conclusão de curso se dará em uma série de etapas: (i) pesquisa bibliográfica sobre os sistemas estruturais em estudo; (ii) pesquisa com fabricantes e construtores de lajes mistas *steel deck* brasileiros acerca do seu processo construtivo; (iii) apresentação do roteiro de cálculo das lajes mistas *steel deck*; (iv) dimensionamento de lajes mistas *steel deck* e de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para algumas combinações de vão livre e carga sobreposta; (v) levantamento de custos de cada um dos sistemas com foco principal nas lajes mistas *steel deck*; e por fim (vi) considerações finais.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e quantificar os custos diretos de produção das lajes mistas *steel deck* e compará-los com os custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico acerca das lajes mistas *steel deck* tanto em fontes brasileiras quanto estrangeiras;
- Identificar como são construídas as lajes mistas *steel deck*;
- Descrever os métodos de dimensionamento das lajes mistas *steel deck*;
- Produzir composições de custo unitário para lajes mistas *steel deck*;
- Desenvolver um comparativo de custos entre lajes mistas *steel deck* e lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Após um início de século conturbado, o Brasil retoma seu crescimento nos últimos anos. De acordo com o IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA, 2013), o crescimento médio real anual descontada a inflação nos últimos dez anos foi de 3,97%, totalizando em 2014 R\$ 5,5 trilhões. Ainda, junto com esse crescimento veio a demanda por mais moradias, bem como por obras de infraestrutura em geral.

A construção civil brasileira acompanhou este avanço em quantidade como observado na Pesquisa Anual da Indústria da Construção (INSTITUTO..., 2013), onde,

entre 2007 e 2012 ocorreu um aumento de investimento médio anual na ordem de R\$ 107,7 bilhões de reais. Entretanto, ainda há um alto desperdício de materiais e de mão de obra devido aos métodos construtivos empregados no Brasil hoje ainda serem em sua maioria os mesmos utilizados no passado.

Neste contexto, visando a melhoria no setor da construção civil e a inovação dos materiais e dos métodos construtivos utilizados, a cada dia têm-se incorporado ao mercado novos materiais e novos métodos construtivos, bem como a produção de novos trabalhos acadêmicos, os quais demonstram as vantagens, as desvantagens e a importância que o emprego destes novos materiais e procedimentos pode gerar aos seus usuários, ou seja, ao setor da construção civil.

Desta forma, este trabalho tem sua importância centrada na busca pelos custos diretos envolvidos na construção de lajes mistas *steel deck*, uma vez que, este é um sistema amplamente utilizado em países desenvolvidos, mas que não é conhecido pelo setor da construção civil brasileira em geral.

Ainda, quanto a viabilidade de pesquisa, o trabalho desenvolvido tornou-se viável por não necessitar de observações de campo, algo que seria difícil de ser alcançado por conta da falta desse tipo de obra na região. Já quanto a pesquisa bibliográfica, a mesma pode ser feita através da internet, em pesquisas científicas sobre o assunto e também a partir de entrevistas realizadas com construtores e pesquisadores por meio de ligações telefônicas e contato via correio eletrônico.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 LAJES MISTAS *STEEL DECK*

Uma laje mista é, basicamente, a combinação estrutural de dois elementos: a fôrma metálica, também chamada de *steel deck*, e o concreto. A ideia principal desse sistema é que os materiais trabalhem em conjunto, aproveitando o melhor de suas características. Durante a etapa de construção, a fôrma metálica deve resistir às cargas geradas durante esta fase, como, por exemplo, peso do concreto, dos operários e dos equipamentos e, após a cura do concreto, a fôrma deve servir total ou parcialmente como armadura de tração da laje (CAMPOS, 2001). A Figura 1 mostra os elementos componentes das lajes mistas com fôrma de aço incorporada.

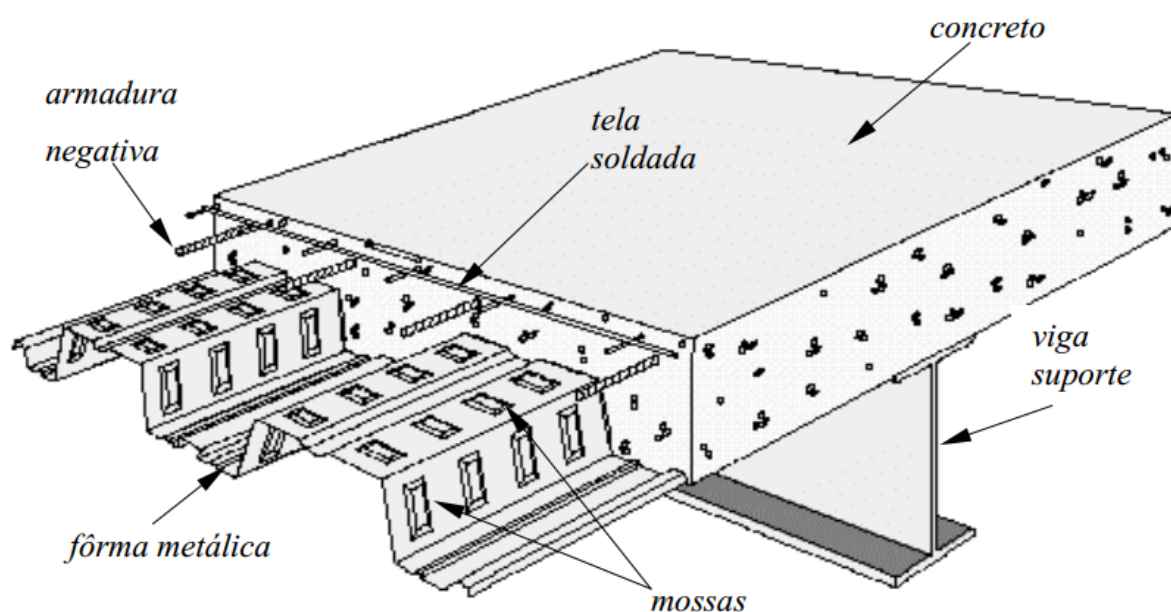


Figura 1 - Elementos das lajes mistas com fôrma de aço incorporada  
Fonte: Campos (2001).

A definição de laje mista, de acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008 p. 211), é a seguinte:

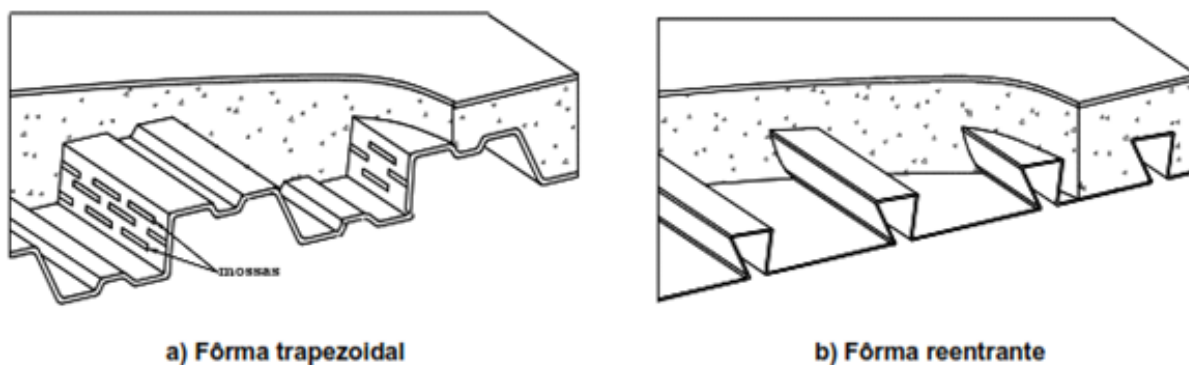
Laje mista de aço e concreto, também chamada de laje com fôrma de aço incorporada, é aquela em que, na fase final, o concreto atua estruturalmente em conjunto com a fôrma de aço, funcionando como parte ou como toda a

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.

As lajes mistas com fôrma de aço incorporada vêm sendo utilizadas no exterior desde o início do século XX, quando engenheiros estadunidenses perceberam que as chapas de aço poderiam substituir as fôrmas de madeira, as quais utilizavam uma quantidade maior de escoras. O modelo atual, no qual considera-se a laje mista trabalhando como um combinado de aço e concreto, foi uma ideia difundida em meados da década de 1940 (GOMES, 2001).

Ainda, conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), nas lajes mistas com fôrma de aço incorporada a transmissão dos esforços pode ocorrer de duas formas:

- Ligação mecânica por meio de mossas nas fôrmas de aço trapezoidais (Figura 2-a);
- Ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes (Figura 2-b).



**Figura 2 - Tipos de lajes mistas com fôrma de aço incorporada**  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

### 2.1.1 Vantagens e desvantagens

De acordo com Gomes (2001) e Reis (2012), as vantagens da utilização das lajes mistas com fôrma de aço incorporada são:

- Servir como fôrma para o concreto, não sendo necessária a remoção da mesma, eliminando assim custos com desforma;
- Utilização das fôrmas como plataforma de trabalho, suportando as cargas da construção;
- Redução ou eliminação de apoios temporários (escoras), devido a maior resistência das chapas de aço comparadas as fôrmas de madeira;
- As chapas de aço agem como armadura positiva para a laje após o endurecimento do concreto e podem atuar reduzindo o efeito do cisalhamento no plano horizontal;
- Redução ou eliminação das armaduras de tração nas regiões de momentos fletores positivos;
- Facilidade no manejo das fôrmas durante a etapa de montagem, devido a seu peso reduzido;
- Redução da seção de concreto e conseqüente diminuição do peso da laje como um todo devido a sua forma nervurada;
- Facilidade para a instalação de dutos na parte inferior da laje, devido a seu formato trapezoidal.

Apesar das vantagens das lajes *steel deck*, existem poucos tipos de fôrmas comercializadas no mercado brasileiro e sua utilização também é reduzida. Já no mercado internacional (América do Norte, Europa e Japão) a laje mista possui grande utilização (REIS, 2012). Desta forma, a não disponibilidade do material acaba tornando a utilização das lajes mistas uma desvantagem no Brasil. Aliado a isso, as poucas empresas que possuem a tecnologia para produção não possuem uma concorrência na determinação dos valores das chapas metálicas (BRAGANÇA, 2000).

Outra desvantagem é a necessidade de verificação para situações de incêndio quanto à adição de armaduras passivas, instalação de forro de proteção e aplicação de tintas especiais. Entretanto, na maioria dos casos, é dispensada qualquer medida adicional de prevenção. Além disso, caso existam cargas dinâmicas consideráveis, são necessárias armaduras de reforço, pois estas cargas podem prejudicar a união entre a chapa de aço e o concreto (BRAGANÇA, 2000).

### 2.1.2 História

As lajes mistas *steel deck* foram descritas pela primeira vez na década de 1920 por Loucks e Giller, em um pedido de patente no ano de 1926. Inicialmente, o *steel deck* era apenas uma chapa de aço lisa com fios de aço soldados entre elas, onde, estes fios eram responsáveis por providenciar toda a resistência estrutural necessária. Já o concreto era responsável por gerar um aumento da resistência ao fogo, bem como uma superfície mais homogênea para o tráfego (SPUTO, 2012).

Na década de 1950, começaram a ser criados sistemas que, comprovadamente, possuíam qualidade e resistência comparáveis ao concreto armado. Foi também nesta época que ocorreu o crescimento da indústria do *steel deck* (ROSS, 2002).

Em 1961, a *Inland-Ryerson Company* produziu uma chapa metálica com formato trapezoidal e ranhuras nas laterais com o intuito de obter uma melhor transmissão de esforços. Conhecido como *Hi-Bond*, este perfil foi o precursor dos demais perfis existentes no mercado atual. Durante a década de 1960, começaram a surgir diversas empresas que validavam seus protótipos de *steel deck* e mantinham pesquisas próprias sobre o sistema. Em pouco tempo, os testes de validação realizados pelas empresas começaram a ser insuficientes. Então, reconhecendo a necessidade de um padrão de *design*, em 1967, a *American Iron and Steel Institute* (AISI – Instituto Americano de Ferro e Aço) reuniu um grupo de pesquisadores de universidades estadunidenses, os quais produziram a primeira norma para projeto e construção de lajes mistas *steel deck*, a ASCE 3-84 (American Society of Civil Engineers) – *Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs* (Especificações para o Projeto e Construção de Lajes Mistas) (SPUTO, 2012).

No Brasil, o *steel deck* entrou no mercado na década de 1970, fruto de uma parceria entre a empresa estadunidense Robertson e a empresa brasileira Tekno, formando assim a Robtek. Durante a mesma época a empresa Metform lançava um modelo de fôrma no mercado brasileiro (CICHINELLI, 2014).

### 2.1.3 Normas

Atualmente no Brasil existe pouco material técnico a respeito do dimensionamento e construção de lajes mistas *steel deck*, uma vez que trata-se de um sistema construtivo pouco difundido no país. Entretanto, para o correto dimensionamento e construção deste tipo de estrutura, existem algumas normas que devem ser levadas em consideração.

A principal norma brasileira que trata do dimensionamento deste tipo de estrutura é a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), a qual em seu Anexo Q – Lajes mistas de aço e concreto – explica de forma geral as bases para o dimensionamento de lajes mistas. Ainda, de acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), para o dimensionamento do *steel deck* durante sua fase inicial, na qual suas únicas funções são a de plataforma de serviço e fôrma para a concretagem, deve ser feito o dimensionamento conforme a NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010). Além disso, por se tratar de uma estrutura que envolve a utilização de concreto armado, algumas prescrições da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014) devem ser obedecidas.

Outra norma que deve ser levada em consideração é a NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) que fixa os requisitos de projeto para estruturas em situação de incêndio das edificações regulamentadas pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) e pela NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), de acordo com a legislação brasileira vigente.

Em alguns casos as normas brasileiras, por serem relativamente novas e tratarem de um sistema construtivo pouco difundido no país, se remetem a algumas normas internacionais, tendo como exemplo as seguintes:

- A estadunidense ANSI/ASCE 3 (1994) – *Standard for the structural design of composite slabs* (Critérios para o projeto estrutural de lajes mistas), elaborada pelo *American National Standards Institute* (Instituto Nacional de Padronização) e pela *American Society of Civil Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros Civis);
- A europeia Eurocode 4 (2004): *Design of composite steel and steel structures* (Projeto de lajes mistas e estruturas metálicas) – *Part 1-1: General rules and rules for building* (Parte 1-1: Regras gerais e regras para construção), elaborada pela União Europeia;

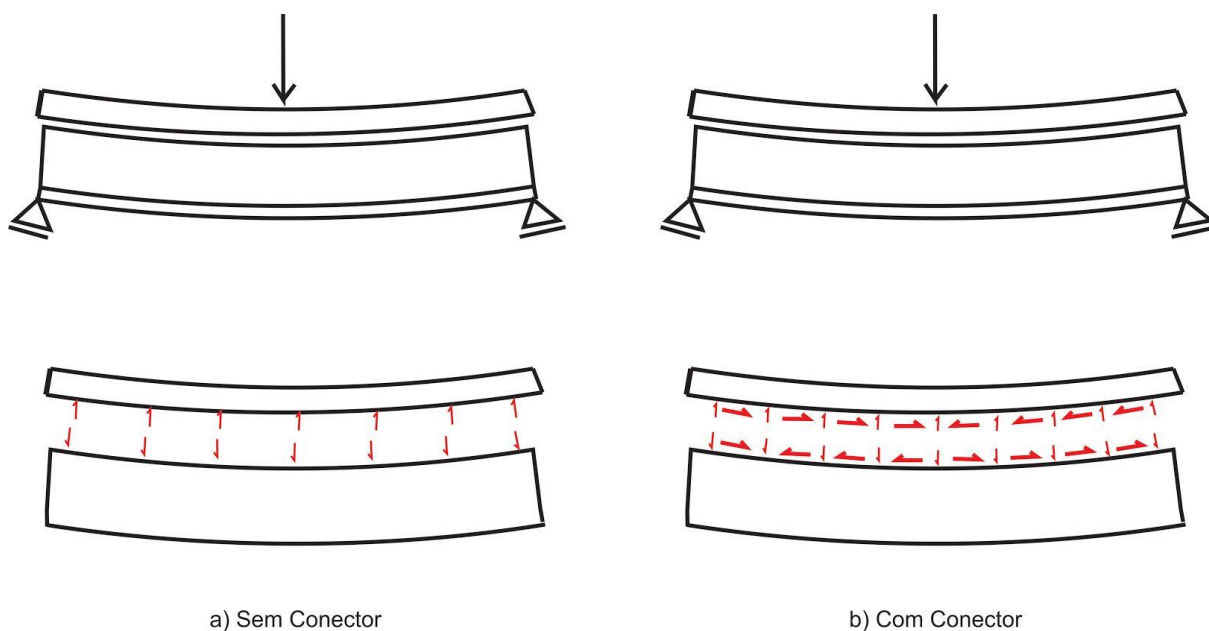
- A canadense CSSBI S2 (2008) – *Criteria for the testing of composite slabs* (Critérios para teste de lajes mistas), elaborada pela *Canadian Sheet Steel Building Institute* (Instituto Canadense de Construção com Chapas de Aço).

#### 2.1.4 Comportamento estrutural

##### 2.1.4.1 Estruturas mistas

A partir do conceito de que o aço resiste bem a tração e o concreto resiste bem a compressão é feito o desenvolvimento das estruturas mistas de concreto e aço. De Nardin (1999) cita que é necessário que se garanta o comportamento conjunto entre ambos os materiais para que juntos sejam capazes de resistir aos esforços solicitantes, ou seja, os dois materiais devem se deformar como um único elemento. Sendo assim é necessário que exista um elemento que transfira os esforços de cisalhamento entre ambos os materiais.

É possível observar na Figura 3 o comportamento de uma estrutura mista. Na Figura 3 (a), sabendo que o concreto e o aço possuem módulos de elasticidade diferentes, ao se aplicar uma carga no meio do vão, ocorre então uma deformação distinta entre aço e concreto, gerando assim um fluxo de cisalhamento nessa região. Como não há a presença de um dispositivo mecânico para absorver esse fluxo, surgem duas linhas neutras, uma no concreto e outra no aço. Já na Figura 3 (b), utilizando conectores de cisalhamento, o cisalhamento é absorvido por estes dispositivos, surgindo apenas uma linha neutra que pode se localizar na interface entre os materiais, no concreto ou no perfil metálico.



**Figura 3 - Fluxo de cisalhamento em vigas mistas**  
**Fonte: De Nardin (1999).**

De Nardin (1999) afirma que para fôrmas metálicas das lajes, os dispositivos mecânicos mais comuns são as mossas. De Nardin (1999) divide a absorção de esforços pelos elementos entre absorção parcial ou total. Quando parcial, os conectores de cisalhamento são dimensionados para absorver parcialmente o fluxo de cisalhamento, permite-se a ocorrência de um deslizamento relativo na interface entre os dois materiais.

#### 2.1.4.2 Lajes mistas steel deck

As lajes mistas são usualmente consideradas como sendo simplesmente apoiadas, mesmo nas situações onde existem múltiplos vãos. Isto se deve ao fato de existirem extensos estudos teóricos e práticos com relação ao comportamento e resistência deste modelo estrutural de laje, buscando assim uma simplificação do cálculo estrutural (CAMPOS, 2001).

Stark e Brekelmans (1990) fizeram análises de seções transversais localizadas no meio do vão e nas regiões de apoios internos, e concluíram que o dimensionamento deve se dar com relação a três fatores: posição, percentual de

armadura e continuidade. Sendo, o principal ponto a ser observado é a questão de continuidade da laje.

Campos (2001) cita duas conclusões com relação ao comportamento e resistência de lajes mistas *steel deck*:

- A presença de armadura sobre os apoios internos reduz consideravelmente a flecha no meio do vão;
- A presença de armadura sobre os apoios internos permite grande redistribuição de momentos.

A transmissão dos esforços das lajes para as vigas pode ser feita com a utilização de conectores de cisalhamento que tem como principal função transferir os esforços de cisalhamento e impedir a separação vertical dos elementos (*uplift*) (TRISTÃO, 2005). Entretanto, após entrevistas com empresas da área, as empresas A, B e H afirmaram que existe a possibilidade de não utilização de conectores de cisalhamento, simplesmente apoiando as fôrmas sobre as vigas, sem que ocorram transtornos.

De acordo com Silva (1999), vigas de concreto armado nas extremidades da laje mista enrijecem o sistema após a fissuração da laje, quando comparados a ensaios em estruturas metálicas. A ancoragem presente na ligação tem comportamento eficiente na transferência dos esforços. Desta forma, é possível analisar que a ruptura por cisalhamento longitudinal ocorre da mesma forma que ocorreria com elementos metálicos, viabilizando assim a utilização em estruturas de concreto armado.

#### 2.1.5 Materiais utilizados

Nesta seção são exibidos os materiais utilizados na produção de lajes mistas *steel deck*. Além disso, também são mostradas algumas particularidades de cada um dos materiais, bem como prescrições e recomendações de manuais técnicos de fabricantes e de normas brasileiras e internacionais. Dessa forma, nesta seção não é explicado nenhum procedimento de dimensionamento.



### 2.1.5.1 Concreto

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), o concreto utilizado em estruturas mistas deve obedecer às prescrições da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014), ou seja, deve ter sua resistência a compressão situada na faixa entre 20 e 50 MPa. Além disso, esta mesma NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), também especifica a dimensão máxima do agregado graúdo para este tipo de laje como sendo o menor valor entre:

- $0,40t_c$ , sendo  $t_c$  a altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;
- $b_0/3$ , sendo  $b_0$  a largura média das nervuras para fôrmas trapezoidais e a largura mínima das nervuras para fôrmas reentrantes;
- 30 mm.

Ainda, quanto as lajes mistas com fôrma de aço incorporada, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) estabelece que o cobrimento de concreto acima da fôrma não seja menor do que 50 mm. Já quanto ao cobrimento de concreto das armaduras, produção, dosagem e controle de recebimento do concreto utilizado em lajes mistas com fôrma de aço incorporada, devem ser atendidas as prescrições da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014) e da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO..., 2015).

Além disso, segundo Metform (2007), aditivos a base de cloretos não devem ser utilizados no concreto neste tipo de estrutura, uma vez que estes compostos agredem a galvanização da fôrma.

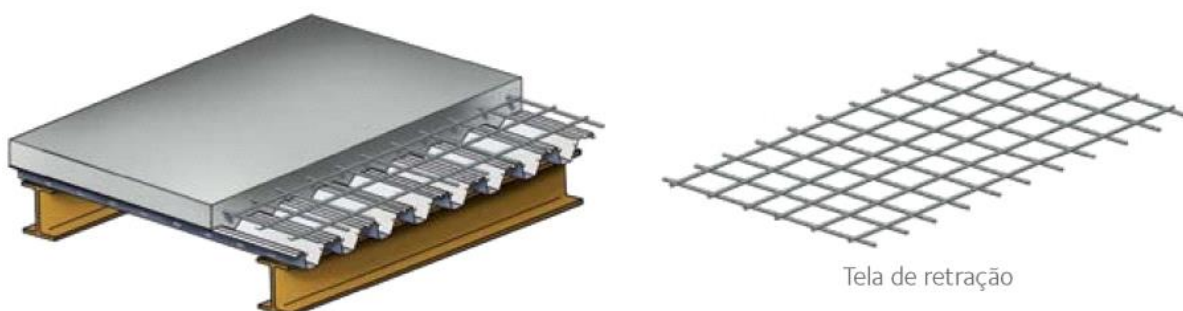
### 2.1.5.2 Armaduras

Como já foi explicado anteriormente, em lajes mistas *steel deck* as fôrmas de aço trabalham também como armadura positiva da laje após a cura do concreto. Entretanto, este tipo de laje não dispensa totalmente a utilização de armaduras. Neste tópico são explicadas as funções e recomendações de utilização destas armaduras, de acordo com catálogos técnicos de fabricantes brasileiros de *steel deck*.

➤ Armadura antifissuração

A função desta armadura, também chamada de tela de retração, é a de evitar fissuras devidas à retração e à variação térmica do concreto, devendo estar localizada no capeamento da laje, com o cobrimento recomendado pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014). Também de acordo com a NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), a armadura antifissuração deve possuir uma área mínima de 0,1% da seção transversal da capa de concreto acima do *steel deck*. Usualmente, para esta armadura são utilizadas telas soldadas ou malhas trefiladas de aço com limite de escoamento de 500 ou 600 MPa (METFORM, 2007).

É importante destacar que a armadura antifissuração também pode ser considerada para outros casos, como a verificação de balanços, cargas concentradas, além de suportar todo o carregamento de serviço da laje em eventuais situações de incêndio, de acordo com a NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO..., 2013).



**Figura 4- Armadura antifissuração**  
Fonte: Perfilor (2015).

➤ Armaduras de reforço

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, 2007).

Também, de acordo com Metform (2007, p. 54), para a verificação de lajes em situação de incêndio:

Para tempos mínimos de resistência ao fogo superiores a 30 minutos (60, 90 ou 120 minutos) deverão ser realizadas verificações adicionais em situação de incêndio. Nestas verificações toda seção analisada (momentos positivos e/ou negativos) deverá ter resistência garantida exclusivamente pelas armaduras adicionais e pelo concreto (com resistências minoradas devido ao efeito de temperatura elevada).

É importante destacar que o dimensionamento das fôrmas para *steel deck* oferecidas pelas empresas MBP (20--), Metform (2007) e Perfilor (2015), segundo seus catálogos técnicos, é feito baseando-se tanto na NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010) quanto na NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), com o objetivo de garantir um tempo mínimo de resistência ao fogo que dispense armaduras adicionais. A Metform (2007), por exemplo, diz em seu manual que para tempos mínimos de resistência ao fogo menores que 30 minutos, não são necessárias armaduras adicionais em seu *steel deck*.

➤ Armaduras de distribuição ou de continuidade

Outra recomendação de manuais técnicos da MBP (20--), Metform (2007) e da Perfilor (2015), é a de que, tanto nos apoios intermediários das lajes mistas *steel deck* quanto nos arredores de pilares, deverá ser considerada a tendência de continuidade da laje, mesmo se a situação de projeto da mesma for simplesmente apoiada. A partir disso, deverá ser determinada uma armadura adicional para garantir a estabilidade da mesma. Além disso, nos casos em que a armadura de continuidade for a única armadura da seção transversal, recomenda-se considerar os critérios de armadura mínima da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

➤ Armaduras em aberturas

De acordo com Metform (2007), nas ocasiões de aberturas em que as dimensões estejam entre 20 e 60 cm, deverão ser previstas armaduras de reforço tanto no sentido longitudinal quanto no sentido transversal do corte. Em aberturas maiores devem ser dimensionadas vigas auxiliares.

### 2.1.5.3 Fôrmas

➤ Tipos de aço

De acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), os tipos de aço a serem utilizados para a produção do *steel deck* são aqueles que atendam aos requisitos estabelecidos na NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010). Estes requisitos são:

- Relação entre a resistência à ruptura e resistência ao escoamento maior ou igual a 1,08;
- Alongamento após a ruptura não menor que 10% para base de medida igual a 50 mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referência os ensaios de tração conforme a ASTM *International*, ASTM A370 – *Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products* (Testes e Métodos Padrões para o Teste Mecânico de Produtos de Aço).

A mesma NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010) também diz que a utilização de aços sem qualificação estrutural é tolerada desde que, o aço possua as características mecânicas necessárias para o trabalho a frio. Entretanto, nestes casos, não devem ser adotados valores superiores a 180 MPa e 300 MPa para as resistências de escoamento e de ruptura do aço, respectivamente.

➤ Tratamento contra corrosão

Quanto ao tratamento contra a corrosão, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) diz que uma galvanização com massa total de 275 g/m<sup>2</sup> de zinco, considerando-se ambas as faces, normalmente é suficiente para ambientes não agressivos. Já em ambientes de maior agressividade, pode-se aumentar a massa de zinco ou utilizar-se, adicionalmente à galvanização, uma pintura apropriada.

Dentre os diversos tipos de aços e tratamentos disponíveis, destaca-se o ZAR-280 galvanizado com 275 g/m<sup>2</sup> de zinco em ambas as faces, com limite de escoamento de 280 MPa e limite de ruptura de 380 MPa, que é utilizado nos produtos fornecidos pela Metform (2007), pela MBP (20--) e pela Braços (2016), todos fabricantes brasileiros de *steel deck*.

➤ Formatos

As possibilidades para formatos das seções transversais de fôrmas em *steel deck* são variadas. Entretanto, se comparado com o mercado internacional, no Brasil as opções são escassas. Exemplo disso, é o fato de os principais fabricantes de *steel deck* no Brasil oferecerem no máximo dois formatos de seção transversal. Já no exterior, diversos formatos podem ser encontrados, como ilustra a imagem abaixo.

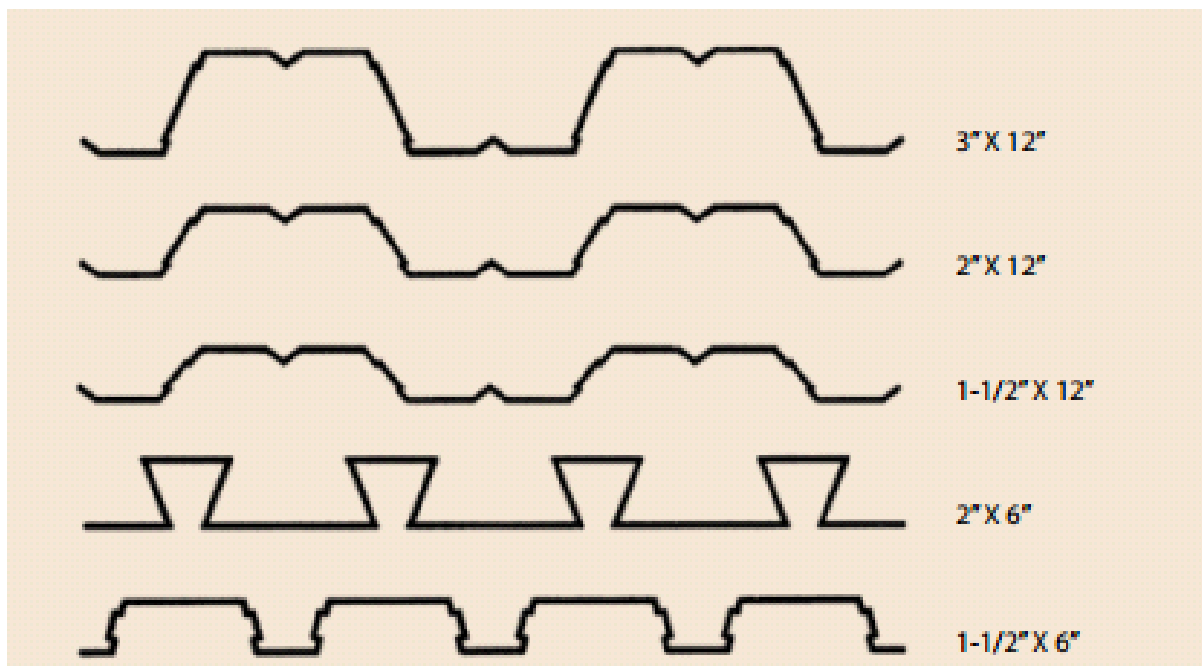
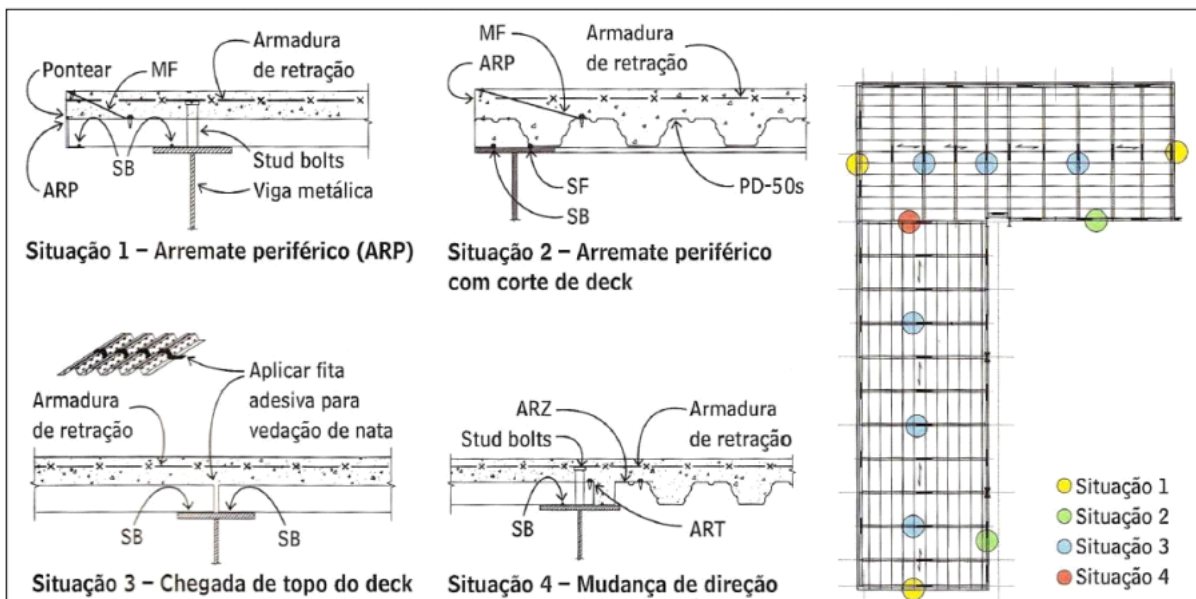


Figura 5- Formatos de *steel deck*  
Fonte: *Steel Deck Institute* (2006).

#### 2.1.5.4 Arremates

Para a correta instalação do *steel deck* sobre a estrutura, são necessárias algumas peças adicionais com o objetivo de garantir que a laje fique com o formato e o acabamento desejado. A geometria e a nomenclatura destas peças, chamadas arremates, varia de acordo com o fabricante. Em entrevistas realizadas com fabricantes e construtoras que trabalham com *steel deck*, ficou claro que cada empresa trabalha com o seu próprio sistema. A Figura 6 abaixo mostra os locais onde estas peças são necessárias e a seguir são apresentadas as soluções de alguns fabricantes para cada uma destas situações.



**Figura 6- Situações onde são necessários arremates**  
**Fonte: Silva (2010).**

### ➤ Arremate periférico

A função do arremate periférico é dar um bom acabamento à laje, além de evitar o vazamento de concreto pelas laterais da mesma. Além disso, o arremate periférico pode ser usado para produzir um balanço na laje, contanto que obedeça às limitações de resistência do perfil. Nas Figuras 7 e 8 abaixo é possível observar a solução recomendada pela Metform (2007) e também a solução recomendada pela Canam (2006).

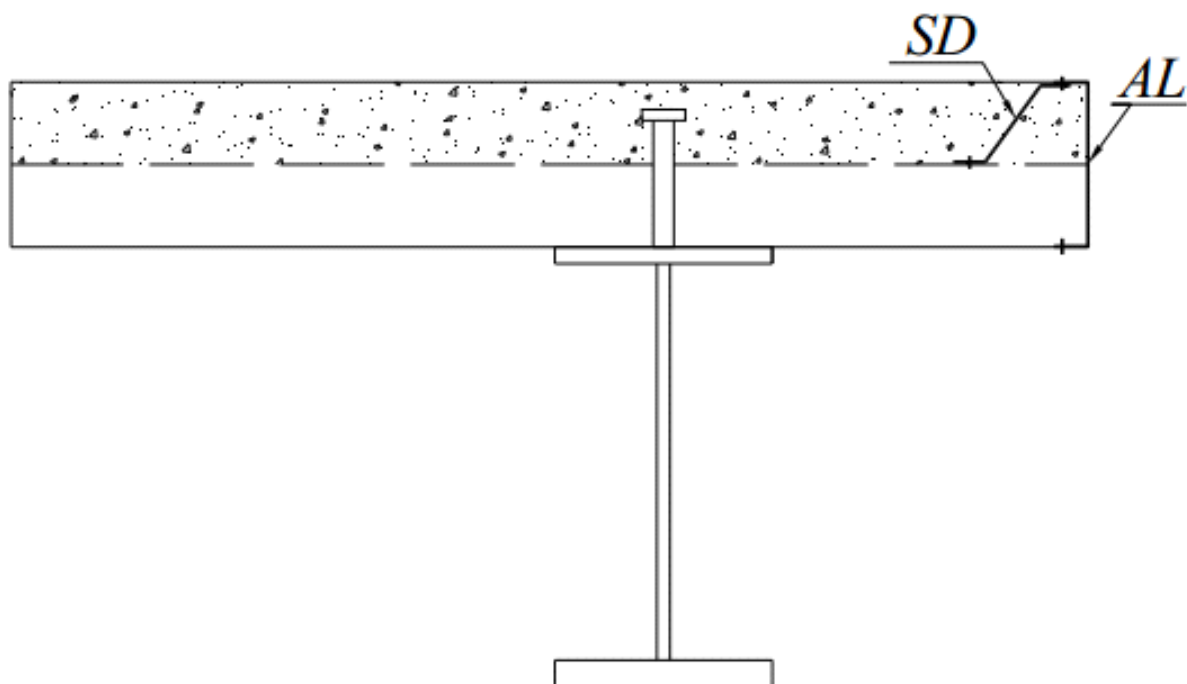


Figura 7 - Arremate periférico recomendado pela Metform  
Fonte: Metform (2007).

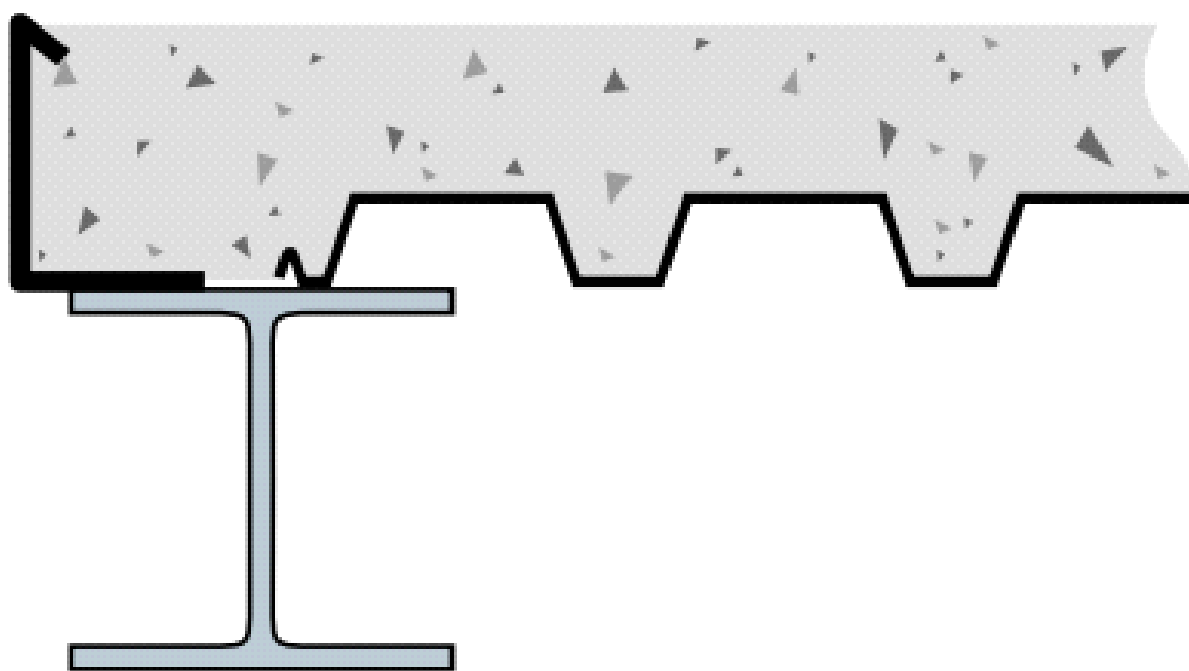


Figura 8- Arremate periférico sugerido pela Canam  
Fonte: Canam (2006).

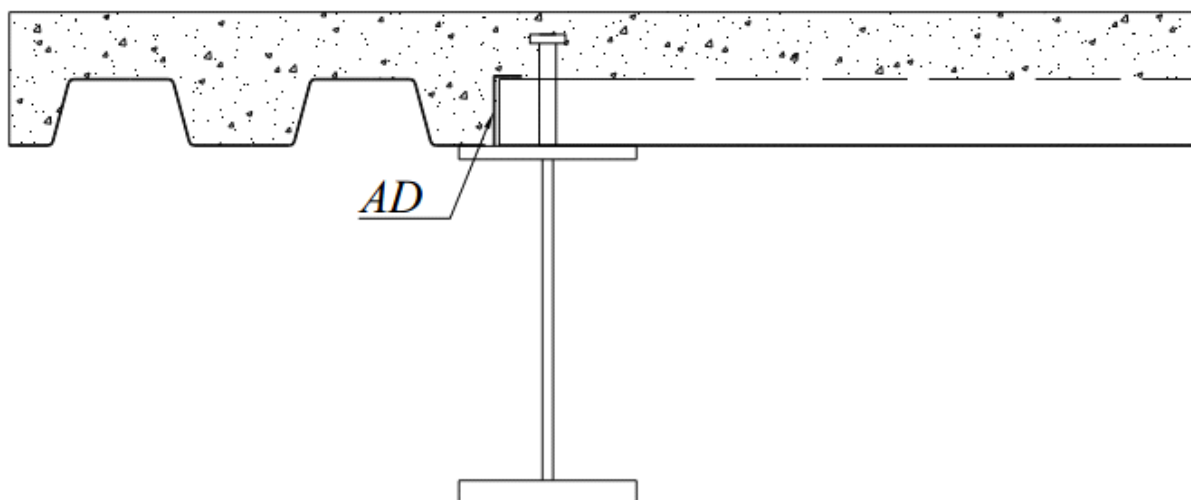
Analisando as soluções acima, é possível observar que a primeira traz um perfil com seção em “U”, e a segunda, algo próximo de um perfil “L”. Também é possível observar a indicação “SD” na solução recomendada pela Metform (2007), que significa “suporte de arremate”. A função desta peça é garantir a estabilidade do



arremate durante a etapa de concretagem, além de evitar que após a cura do concreto o arremate se solte da laje. Já na solução recomendada pela Canam (2006), observa-se uma espécie de dobra na parte superior do perfil. A função desta dobra é garantir que a peça não se solte do concreto após a cura do mesmo, gerando um melhor acabamento da laje.

➤ Arremate de topo

Nas regiões onde ocorre uma mudança na direção das nervuras do *steel deck*, é necessária a utilização de um tipo específico de peça, que tem por objetivo vedar estas nervuras e evitar que o concreto vaze por baixo das fôrmas. Além disso, esta peça também deve ser usada com o mesmo objetivo nas extremidades da fôrma, nas regiões de apoio, juntamente com o arremate periférico.



**Figura 9 - Arremate de topo recomendado pela Metform**  
Fonte: Metform (2007).

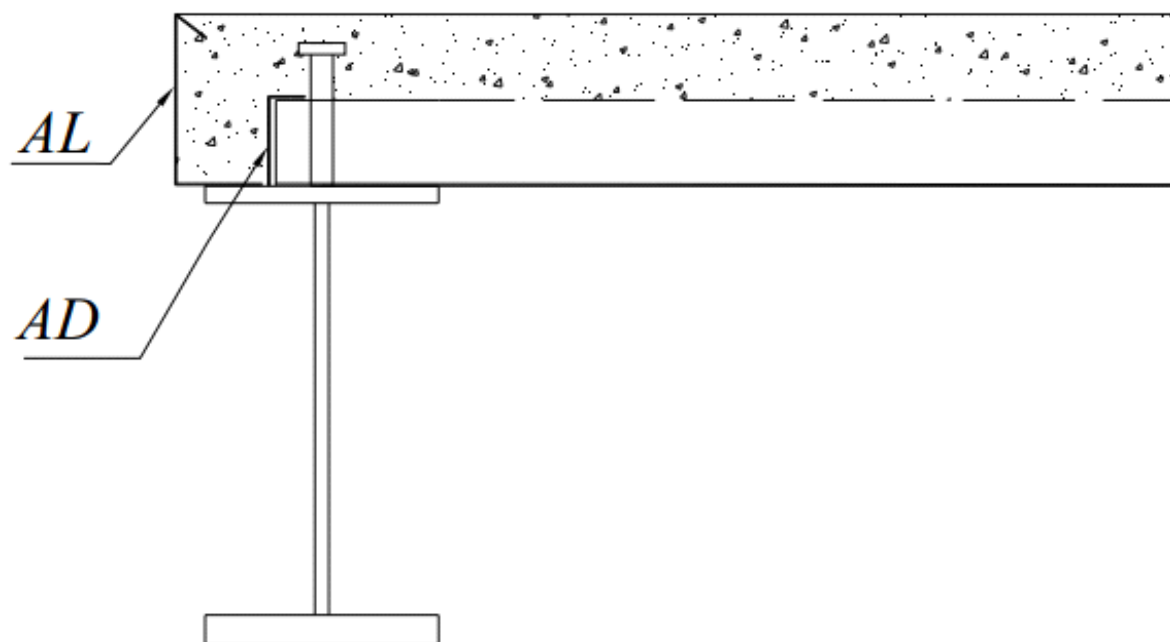


Figura 10 - Arremate de topo utilizado juntamente com um arremate periférico  
Fonte: Metform (2007).

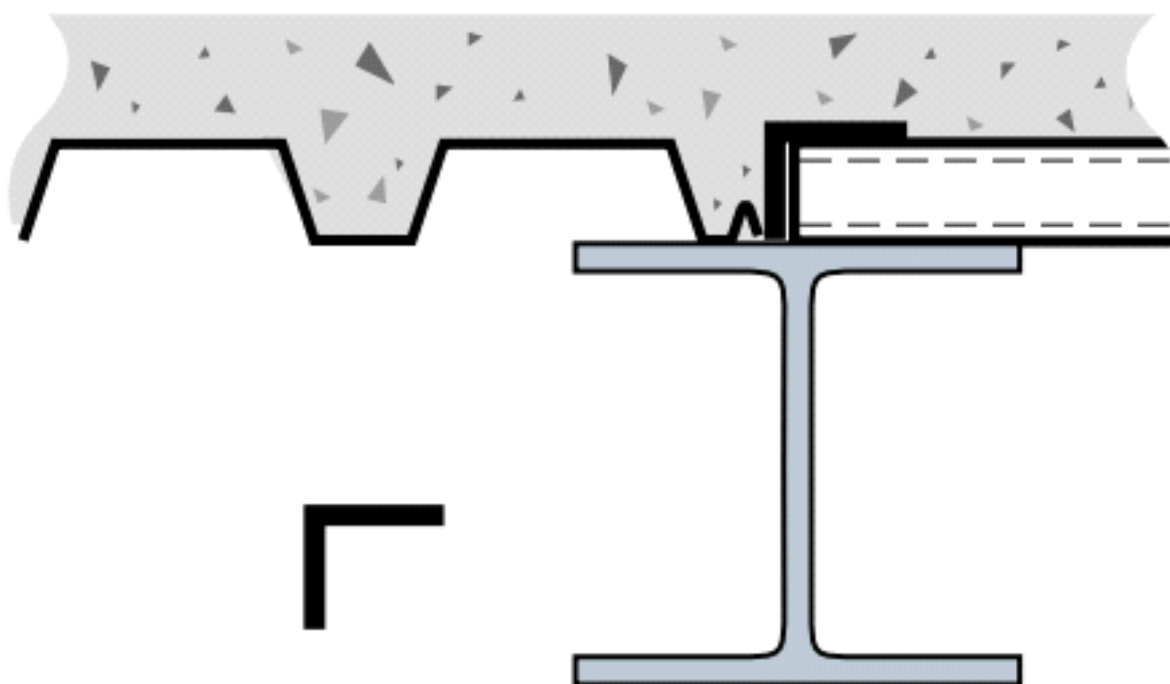
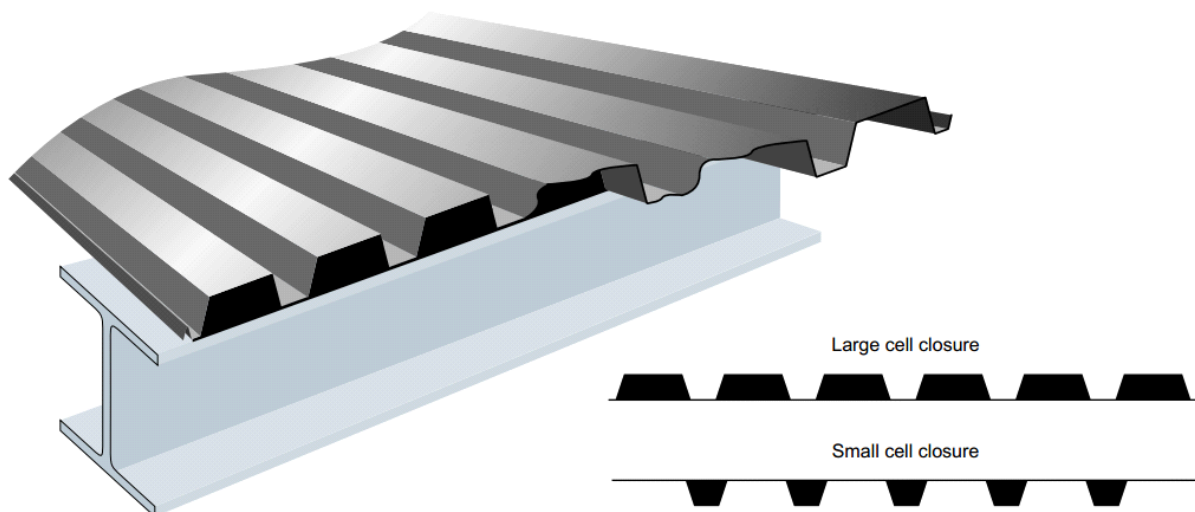


Figura 11 - Arremate de topo recomendado pela Canam  
Fonte: Canam (2006).

Nas imagens acima, é possível observar que as soluções sugeridas pela Metform (2007) e pela Canam (2006) são muito próximas, sendo utilizado apenas um perfil cantoneira para dar o acabamento à laje, tanto em situações de limites da laje quanto nas mudanças de direção do *steel deck*.

Outra possibilidade, como mostra a imagem abaixo, é a utilização de um fechamento em neoprene, que pode ser útil nas mesmas situações que o perfil cantoneira e ainda facilitar a execução (CANAM, 2006).



**Figura 12 - Fechamento das nervuras da fôrma com neoprene**  
Fonte: Canam (2006).

➤ Complemento de *steel deck*

Nas situações em que a largura da laje a ser construída não é múltipla da largura útil da fôrma utilizada, é necessária a utilização de uma peça, chamada complemento de *steel deck*. Esta peça tem a função de completar a área da laje, evitando o corte de outra fôrma e, conseqüentemente, evitando o desperdício.

Nas Figuras 13 e 14 abaixo, é possível ver a solução recomendada pela Metform (2007) e a solução recomendada pela Canam (2006). Percebe-se que as duas soluções sugeridas são muito próximas.

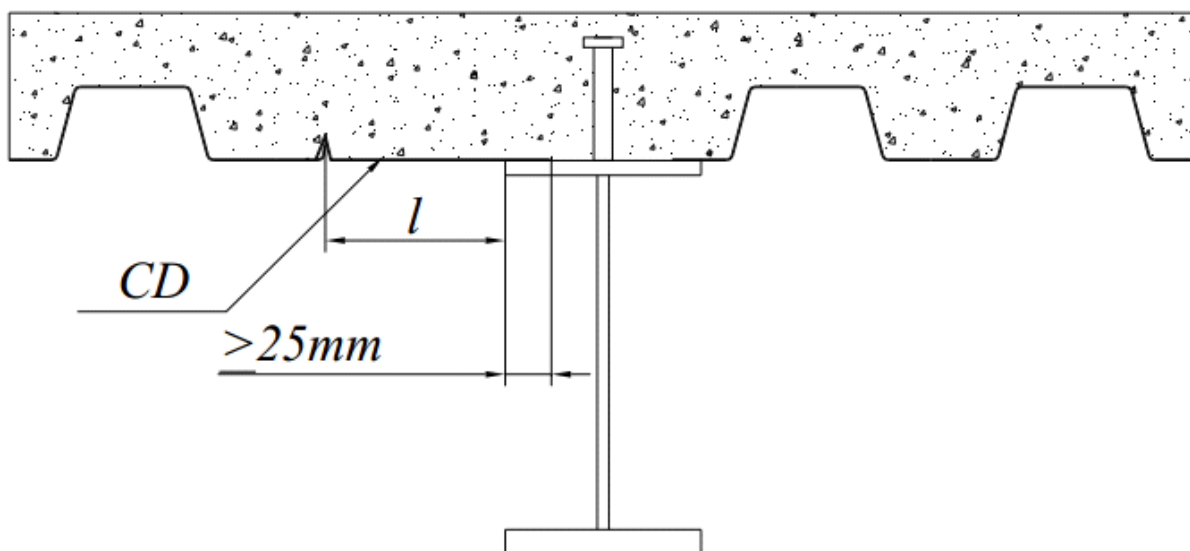


Figura 13 - Complemento de *steel deck* sugerido pela Metform  
 Fonte: Metform (2007).

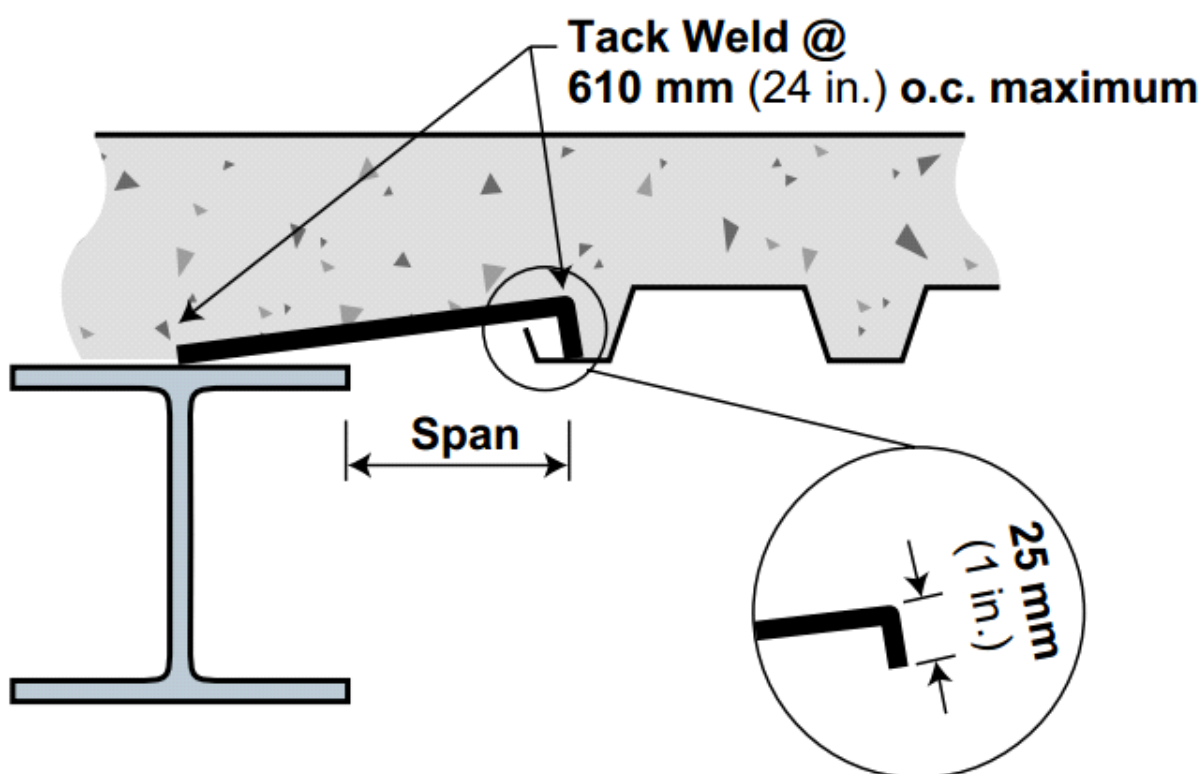


Figura 14 - Complemento de *steel deck* sugerido pela Canam  
 Fonte: Canam (2006).

### 2.1.5.5 Conectores de cisalhamento

Como explicado anteriormente, usualmente as vigas que suportam as lajes mistas *steel deck* são projetadas como sendo mistas. Para garantir o comportamento misto da viga com o concreto sobrejacente à mesma, são utilizados conectores de cisalhamento.

Dentre os diversos tipos de conectores disponíveis no mercado, destaca-se o tipo pino com cabeça, também conhecido como *stud bolt*. Trata-se de uma espécie de parafuso metálico que é fixado na viga. Além do *stud bolt*, outros tipos de conectores também são utilizados, como perfis “U” ou outros tipos de peças que também são fixados na viga, como mostram as imagens abaixo.



Figura 15 - Tipos de conectores de cisalhamento  
Fonte: Souza (2014).

### 2.1.6 Processo construtivo

Para que o sistema de laje mista *steel deck* seja aproveitado ao máximo, é muito importante que seja pensado da forma mais racional possível, buscando-se a otimização do processo construtivo. Além disso, é importante que a estrutura seja idealizada e projetada com *steel deck* desde a sua concepção. A substituição do processo inicialmente adotado pelo *steel deck* em etapa posterior pode ainda assim ser viável, porém dificilmente atingirá o máximo de seu potencial com relação à redução de custos (CICHINELLI, 2014).

Na busca pela otimização da produção de lajes mistas *steel deck*, é imprescindível a utilização de um projeto de paginação. Além disso, para empreendimentos com um número significativo de repetições, essa necessidade se torna ainda mais evidente. Estes projetos de paginação mostram informações como direção das fôrmas, posicionamento de armaduras adicionais, detalhes da colocação de arremates, posição de eventuais linhas de escoramento, entre outros (SILVA, 2010).

Usualmente, obras com *steel deck* são executadas sobre estruturas metálicas, mas podem também ser utilizadas sobre estruturas de concreto armado, com algumas diferenças quanto à sua produção. Entretanto, este processo envolve várias etapas, as quais são explicadas mais a fundo nos tópicos subsequentes.

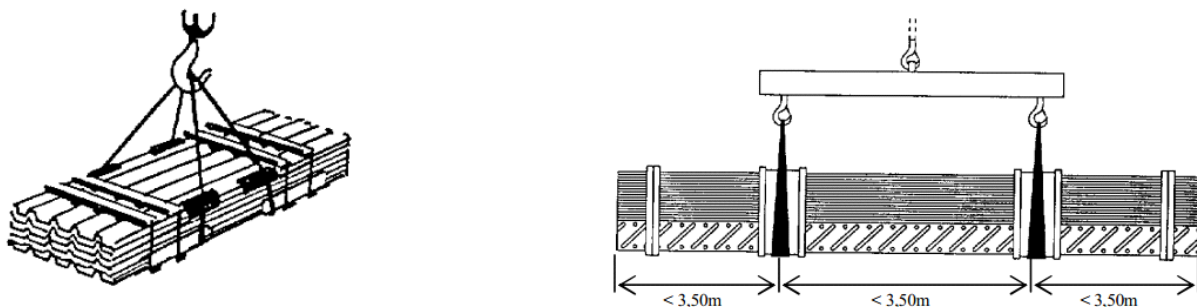
#### 2.1.6.1 Transporte

Geralmente, o *steel deck* é enviado à obra em fardos, com materiais firmemente amarrados, evitando a vibração e consequentes danos às peças durante o transporte. As peças possuem comprimento variável, limitando-se a um máximo de 12 metros, pois acima deste valor são necessários veículos especiais (METFORM, 2007).

Antes da chegada das peças até o local da obra, alguns cuidados devem ser tomados para garantir que não hajam problemas durante a fase de descarregamento, evitando serviços desnecessários. Devem ser verificadas restrições de peso,

necessidade de amarrações adicionais, locais de passagem e estocagem, entre outros. O responsável pela obra deve buscar, junto ao responsável pelo transporte, o descarregamento dos fardos de forma a facilitar a sequência do trabalho (*STEEL DECK INSTITUTE*, 2006).

Usualmente, o descarregamento dos fardos é feito com a ajuda de uma grua ou de um guindaste, mas pode também ser feito manualmente, com a retirada individual das peças. Devem ser usados pedaços de madeira ou borracha entre as cintas e as peças, evitando danos nas mesmas. Outra recomendação é a utilização de uma viga balanço para o descarregamento de fardos de comprimento maior que 3 metros. Para fardos menores, pode-se dispensar o uso da viga balanço, mas deve-se utilizar ao menos duas cintas, como mostra a imagem abaixo (*METFORM*, 2007).



**Figura 16 - Içamento das fôrmas**  
Fonte: Metform (2007).

### 2.1.6.2 Armazenamento

O armazenamento dos fardos deve ser feito em local seco, coberto e arejado. Deve-se colocar os fardos apoiados sobre estrados de madeira ou metálicos e com uma extremidade mais alta que a outra, separando o material do solo, permitindo a passagem de vento e garantindo o escoamento se eventualmente o fardo for molhado. Entre as peças, é essencial que exista um espaço vazio para garantir que não se acumule umidade. Além disso, recomenda-se cobrir os fardos com algum material impermeável, mas deixando espaço para a ventilação interna. Se, eventualmente, o material for molhado, as pilhas devem ser desfeitas e todo o material deve ser seco manualmente (*METFORM*, 2007).

Outra preocupação quanto ao armazenamento é assegurar a estabilidade dos fardos. Deve-se garantir que não há chance de deslizamento, rolamento ou danos ao material por razão de ventos ou outras ações. Para isso, pode-se utilizar algum tipo de peso na parte mais alta do fardo. Ainda, é necessário checar a firmeza da amarração periodicamente, evitando a possibilidade do vento soltar as folhas (*STEEL DECK INSTITUTE*, 2006).

#### 2.1.6.3 *Içamento*

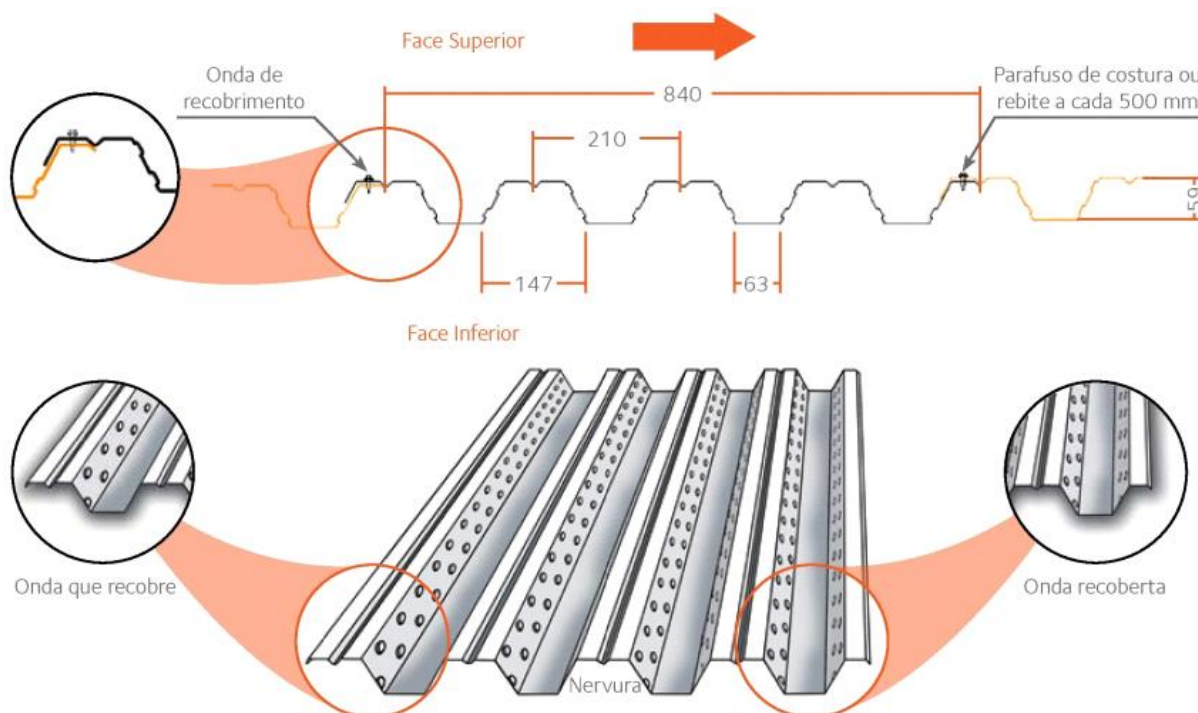
Após a verificação de que as vigas da estrutura estão com as condições de nivelamento e limpeza necessários, pode-se iniciar a fase de içamento. Esta etapa consiste no levantamento dos fardos sobre a estrutura, para posterior montagem (*METFORM*, 2007).

Antes de se iniciar esta etapa, devem também ser revisados os projetos de paginação para evitar eventuais erros. Além disso, fitas marcando a posição onde o fim das fôrmas deve se apoiar na estrutura podem ser usadas. Deve-se também evitar deixar fardos sem amarração, pois o vento pode separar as fôrmas. Também é importante ter o cuidado de nunca puxar os fardos pela fita de amarração, uma vez que, isto pode fazer com que as mesmas se rompam (*STEEL DECK INSTITUTE*, 2006).

#### 2.1.6.4 *Montagem*

Após o içamento dos fardos sobre a estrutura, a etapa de montagem pode ser iniciada. É importante que a colocação dos fardos tenha sido feita de modo a facilitar a montagem, uma vez que existe um sentido certo a ser seguido nesta etapa. Cada fabricante produz o seu tipo específico de *steel deck*, porém, nas regiões de encontro lateral entre duas peças, é preciso que haja uma certa sobreposição ou encaixe, como mostra a Figura 17 a seguir.





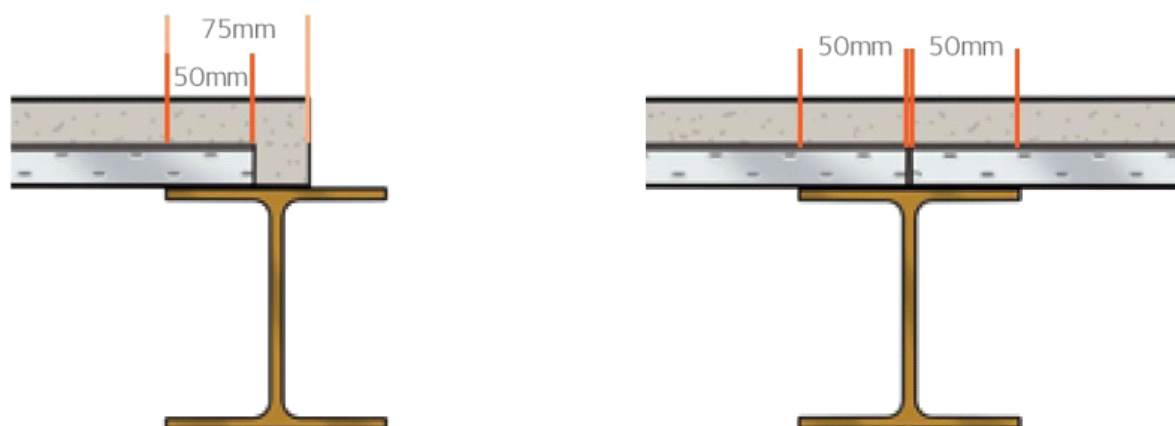
**Figura 17 - Recobrimento das fôrmas de steel deck**  
**Fonte: Perfilor (2015).**

A montagem das chapas deve se dar dos cantos do edifício para o centro, criando uma plataforma de trabalho para os montadores. É importante sempre lembrar de caminhar o mais próximo possível dos apoios, uma vez que nesta etapa as fôrmas ainda não estão fixadas à estrutura (CICHINELLI, 2014).

Quanto à instalação dos arremates, a mesma pode ser feita concomitantemente à montagem das fôrmas, utilizando-se as soluções mostradas anteriormente ou outras soluções desenvolvidas pela empresa responsável pela montagem.

É importante também que sejam usadas linhas para manter o correto alinhamento das peças, de forma a evitar que as mesmas fiquem fora de posição. O correto alinhamento das peças, além de garantir um melhor acabamento, acaba por prevenir vazamentos durante a concretagem (STEEL DECK INSTITUTE, 2006).

Quanto à largura de apoio do steel deck sobre as vigas, as recomendações são um pouco diferentes entre os fabricantes. Metform (2007) recomenda a utilização de uma largura mínima de 75 mm sobre apoios externos e de 150 mm sobre apoios internos. Já Perfilor (2015) recomenda a utilização de 50 mm sobre apoios externos e de 100 mm sobre apoios internos, como mostra a imagem abaixo.



**Figura 18 - Recomendação de comprimentos mínimos sobre apoios**  
**Fonte: Perfilor (2015).**

Também é importante evitar que os painéis se sobreponham sobre os apoios, uma vez que, isto pode atrapalhar a fixação tanto das fôrmas nas vigas, como dos eventuais conectores de cisalhamento (*STEEL DECK INSTITUTE*, 2006).

Outra recomendação é a de se evitar a colocação de cargas sobre a plataforma de trabalho. Entretanto, se necessário, podem ser usadas tábuas para uma melhor distribuição do peso, além de colocar as cargas sobre vigas principais ou secundárias (*METFORM*, 2007). A mesma recomendação também pode ser encontrada no manual da *Steel Deck Institute* (2006).

O *steel deck* tem como uma de suas principais vantagens a não utilização de escoramentos. Entretanto, algumas vezes, em função das cargas e vãos, pode ser necessário o uso de escoramentos. De acordo com pesquisas realizadas com fabricantes brasileiros, para a utilização de lajes mistas *steel deck* em vãos maiores que 3 metros, usualmente são utilizadas vigas mistas intermediárias, permitindo assim a utilização do sistema sem a necessidade de escoramento.

Nestes casos, as linhas de escoramento devem ser colocadas ou no centro dos vãos, ou nos locais em que os vão intermediários sejam os menores possíveis. Além disso, deve-se manter o escoramento até que o concreto tenha atingido pelo menos 75% da sua resistência aos 28 dias, geralmente cerca de 7 a 8 dias após a concretagem (*PERFILOR*, 2015).

Em algumas situações, como em lajes com formatos diferenciados ou em que as dimensões da mesma não sejam compatíveis com a largura útil da fôrma, pode ser necessária a realização de recortes nas fôrmas (*METFORM*, 2007). As ferramentas mais apropriadas para esta tarefa são: tesouras elétricas, tesouras manuais para

chapas, serras tico-tico e arcos serra para metal. É recomendado não cortar ou lixar os perfis sobre as peças já montadas, uma vez que isto pode gerar acúmulo de limalhas sobre as mesmas (PERFILOR, 2015).

Para a produção de balanços, podem ser utilizadas duas alternativas: a primeira é o uso de um arremate, conforme mostrado anteriormente, que fique preso à viga. Para o dimensionamento destes balanços, podem ser usadas tabelas de fabricantes, nas quais constam as espessuras de chapa recomendadas para diferentes comprimentos de balanço. De acordo com Perfilor (2015), a recomendação de balanço máximo, se produzido dessa forma, é de 20 cm.

Outra possibilidade para a produção de balanços, neste caso para balanços maiores, é a utilização da própria fôrma passando pela viga de suporte. Nesta situação, a fôrma deve ser escorada no balanço, além de se verificar a necessidade de armaduras de reforço.

#### 2.1.6.5 Fixação das peças

##### ➤ Ligação das peças na estrutura

Na grande maioria das obras em *steel deck*, a estrutura é feita em aço e as vigas se utilizam de conectores de cisalhamento para obter um comportamento misto. Estes conectores, por serem soldados sobre o *steel deck* e a viga, conferem uma certa rigidez à ligação. Conforme explicado anteriormente, para a utilização de lajes mistas *steel deck* não é necessário que haja uma ligação estrutural entre as vigas e as fôrmas. Dessa forma, a ligação entre as fôrmas e as vigas tem a função de garantir a estabilidade da plataforma de trabalho durante a montagem e posterior concretagem da laje.

Até esta etapa, o processo construtivo utilizado para estruturas de aço e para estruturas de concreto armado é idêntico. Entretanto, a fixação das fôrmas nas vigas é diferenciada de acordo com o material das vigas. Existem algumas formas de se executar esta ligação, e as soluções sugeridas são diferentes de acordo com o fabricante. Também é importante destacar que, por se tratar de uma ligação que não

tem função estrutural, não existem normas específicas a respeito do assunto e cada empresa, fabricante ou montadora de *steel deck*, tem sua metodologia própria de trabalho. A seguir são explicadas algumas maneiras de se fazer esta ligação sugeridas por alguns fabricantes, além dos tipos de estruturas às quais podem ser aplicadas.

Ligação soldada: Ligações soldadas podem ser utilizadas para a fixação das fôrmas e dos arremates em estruturas metálicas. Metform (2007) recomenda a utilização de solda bujão ou solda tampão, sendo: um ponto de solda em cada uma das ondas baixas do *steel deck*, nas vigas perpendiculares às nervuras; e um ponto de solda a cada 80 cm, nas vigas paralelas às nervuras. Quanto à fixação dos arremates, quando não for possível fixá-los apenas nas fôrmas, pode-se também utilizar soldas de filete de comprimento 25 mm para fixá-los nas vigas, com distância entre soldas não maior do que 30 cm. Perfilor (2015) também recomenda a utilização de soldas para a fixação das peças em estruturas metálicas, porém neste manual não é especificada a distância recomendada entre estes pontos de solda.

Ligação parafusada: Outra forma de se fazer a ligação entre as peças e a estrutura é utilizando parafusos auto-brocantes. Segundo Perfilor (2015), esta solução pode ser utilizada para a fixação das peças em estruturas metálicas. Essa solução também é sugerida pela empresa Metform (2007), conforme projeto enviado pela mesma. Da mesma forma que nas ligações soldadas, neste tipo de ligação é usual utilizar um parafuso por onda baixa do *steel deck*.

Ligação com pinos com pistola a ar ou a gás: Para a fixação das peças em estruturas metálicas ou de concreto armado, podem ser utilizados pinos fixados por pistola a gás ou a ar, segundo o manual da Perfilor (2015). Este tipo de fixação também é sugerido no manual da *Steel Deck Institute* (2006). Quanto ao espaçamento entre os mesmos, a recomendação é a mesma das soluções anteriores, ou seja, um pino a cada onda baixa do deck.

### ➤ Ligação entre as peças

Em algumas situações, é necessário que as peças sejam fixadas umas nas outras. Isso acontece no encontro lateral entre as fôrmas e nas regiões de ligação entre fôrmas e arremates. A função desta ligação é também a de garantir a estabilidade das peças durante a construção da laje.

Da mesma forma que ocorre com as ligações entre as peças e as vigas, por se tratar de uma ligação que não tem função estrutural após a concretagem, cada fabricante ou construtor de *steel deck* tem sua própria metodologia. A seguir são mostradas algumas maneiras de se fazer essa ligação, conforme catálogos técnicos de fabricantes.

Ligação parafusada: Uma possibilidade para a ligação lateral entre as fôrmas é através de parafusos auto perfurantes. Em seu manual técnico, a Perfilor (2015) recomenda a utilização destes parafusos com espaçamento de 50 cm, em situações em que o *steel deck* esteja sobre dois apoios, e de 100 cm, em situações em que o *steel deck* esteja sobre três ou mais apoios. A possibilidade de utilização de parafusos também é encontrada no manual do *Steel Deck Institute* (2006), porém neste manual não são apresentadas recomendações sobre espaçamentos mínimos entre os parafusos.

Ligação por rebite: A ligação entre as peças pode ser feita através de rebite, segundo o manual técnico da Perfilor (2015). O tipo de rebite não é especificado, mas o espaçamento indicado é o mesmo que para ligações parafusadas: 50 cm em situações em que o *steel deck* esteja sobre dois apoios e 100 cm em situações em que o *steel deck* esteja sobre três ou mais apoios.

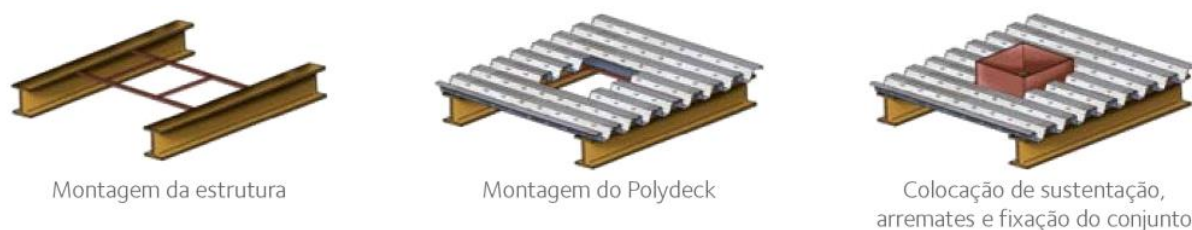
#### 2.1.6.6 Aberturas

Para a formação de aberturas, o sistema mais aconselhado é a utilização de fôrmas de madeira ou de pedaços de poliestireno com o formato do *steel deck* para

evitar que a região onde será feita a abertura seja concretada. As aberturas podem ser feitas cortando-se a área que não foi concretada após o concreto da laje ter atingido 75% de sua resistência aos 28 dias (METFORM, 2007).

Tanto no manual da Metform (2007) quanto no manual da Perfilor (2015), as aberturas são classificadas quanto as suas dimensões da seguinte forma: aberturas pequenas, onde a maior dimensão não passa de 20 cm; aberturas intermediárias, onde a maior dimensão fica entre 20 e 60 cm; e aberturas grandes, onde a maior dimensão é maior que 60 cm.

Segundo estes manuais, para aberturas pequenas, não é necessário nenhum tipo de reforço; para aberturas intermediárias, devem ser utilizadas armaduras de reforço ao redor da abertura; e para aberturas grandes, devem ser utilizadas vigas metálicas de reforço, como mostra a imagem abaixo, retirada do catálogo da Perfilor (2015).



**Figura 19 - Aberturas em lajes mistas *steel deck***  
Fonte: Perfilor (2015).

#### 2.1.6.7 Aplicação de fita adesiva nas juntas

Outro detalhe que não deve ser esquecido é a utilização de fita adesiva para a correta vedação da fôrma nas regiões de encontro entre peças, especialmente onde as fôrmas se encontram de topo. Essa vedação se faz necessária para garantir que a nata do concreto não vaze, gerando um melhor acabamento da laje (METFORM, 2007).

#### 2.1.6.8 Fixação dos conectores de cisalhamento

Conforme explicado anteriormente, para a construção de lajes mistas *steel deck* não é necessária a utilização de conectores de cisalhamento, pois a função dos mesmos é a de garantir que a viga que apoia a laje tenha um comportamento misto. Entretanto, como a grande maioria das obras com lajes mistas *steel deck* é feita sobre estruturas metálicas, os detalhes deste procedimento constam em manuais de fabricantes brasileiros de *steel deck* como parte do processo construtivo das lajes em si. Assim, nesta etapa do trabalho será abordado o procedimento construtivo recomendado por estes manuais.

Para iniciar a instalação dos conectores, o aplicador deverá ter em mãos um diagrama de locação dos conectores, produzido pelo engenheiro calculista, contendo as prescrições de quantidades e espaçamentos dos conectores ao longo das vigas. Conforme explicado anteriormente, o tipo de conector de cisalhamento mais utilizado é o do tipo pino com cabeça, mais conhecido como *stud bolt* (METFORM, 2007).

A ligação dos conectores nas vigas é feita através de solda por eletrofusão. Durante a execução destas soldas, devem ser tomados alguns cuidados para garantir a qualidade da mesma, como garantir que as faces superiores das vigas estejam limpas, sem pintura e secas. Também deve-se ter cuidado com a umidade, pois esta exerce influência negativa na qualidade da solda. Dessa forma, recomenda-se que os conectores de cisalhamento sejam instalados no mesmo dia em que as fôrmas, de forma a evitar a umidade na superfície de solda. Quanto ao espaçamento entre os conectores de cisalhamento, recomenda-se que os mesmos sejam instalados em todas as ondas baixas do *steel deck* (METFORM, 2007).

#### 2.1.6.9 Instalação das armaduras

O último passo antes da concretagem é a instalação das armaduras. Estas armaduras deverão estar em um projeto de armação. Os procedimentos de montagem podem seguir os mesmos padrões de lajes convencionais, respeitando as especificações de recobrimento de armadura da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

### 2.1.6.10 Concretagem

A última etapa da construção de lajes mistas *steel deck* é a operação de concretagem. Se comparado com lajes convencionais, esta etapa do processo é idêntica. Entretanto, segundo os manuais técnicos de fabricantes, deve ser dada especial atenção a alguns fatores:

- Nivelar as fôrmas antecipadamente (PERFILOR, 2015);
- Antes de iniciar a concretagem, é necessário garantir a limpeza das fôrmas, utilizando um jato de água. É aceitável uma fina camada de óleo sobre os painéis, porém todas as sujeiras e impurezas devem ser removidas (METFORM, 2007);
- Minimizar o número de trabalhadores envolvidos. Trabalhadores devem ficar sempre o mais próximo possível dos apoios (SAÚDE *et al*, 2006);
- Evitar o acúmulo de concreto sobre um mesmo ponto (PERFILOR, 2007);
- Quanto às juntas de concretagem: na região sobre vigas perpendiculares às nervuras, deve-se executar a interrupção a uma distância equivalente à 1/3 do vão dos painéis; na região sobre vigas paralelas às nervuras, recomenda-se que a interrupção ocorra antes do eixo da viga, a cerca de 1 m de seu eixo (METFORM, 2007).

### 2.1.6.11 Manutenção

As fôrmas de *steel deck* não requerem manutenção regular em condições normais de uso. Entretanto, em situações onde o ambiente for agressivo ou em casos de penetração de água na laje, alguns cuidados devem ser tomados. No caso de ambientes agressivos, se for realizado tratamento logo no surgimento das primeiras manchas brancas, a recuperação é relativamente simples: remoção da oxidação e posterior pintura da chapa com tinta rica em zinco. Já no caso da presença de água, deve-se inicialmente resolver a origem da infiltração, para posterior remoção da oxidação e pintura (CICHINELLI, 2014).



### 2.1.6.12 Produtividade

De acordo com os fabricantes e construtores consultados, quanto à produtividade do processo, este varia muito em função de diversos fatores, como, tipo da obra, tamanho dos vãos, quantidade de funcionários, entre outros. Os valores de produtividade obtidos através destas entrevistas variam desde 280 m<sup>2</sup> por dia até 700 m<sup>2</sup> por dia. Entretanto, o número de funcionários envolvidos em cada frente de trabalho das empresas entrevistadas variou entre três e quatro.

A dinâmica de trabalho também é muito parecida nas empresas entrevistadas. Dois funcionários são responsáveis pela montagem das peças, um pela fixação das peças na estrutura e outro pela instalação dos conectores de cisalhamento.

### 2.1.7 Dimensionamento

O dimensionamento das lajes mistas *steel deck*, de acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) se divide em duas partes: a verificação das fôrmas de aço quanto às cargas oriundas da construção, a qual é chamada de fase inicial e a verificação da laje quanto às cargas relativas a sua utilização, que é chamada de fase final.

Em sua fase inicial, o dimensionamento é feito de acordo com as recomendações da NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010). Entretanto, o dimensionamento nesta fase não será abordado neste trabalho, pois não é o foco deste estudo, tendo em vista que segue o mesmo roteiro de dimensionamento de perfis de aço formados a frio. Já na fase final, o dimensionamento é feito de acordo com o Anexo Q – Lajes mistas de aço e concreto da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

Nesta etapa do trabalho serão apresentadas as diretrizes de dimensionamento das lajes mistas *steel deck* em sua fase final, de acordo com a norma citada acima. Além disso, também é mostrado o roteiro de dimensionamento de lajes mistas *steel deck* através de tabelas fornecidas por fabricantes. Ao final, são

também apresentados métodos de dimensionamento das armaduras adicionais, citadas anteriormente neste trabalho.

#### 2.1.7.1 Dimensionamento de acordo com a NBR 8800 (2008)

A verificação das lajes mistas *steel deck* se dá por meio de quatro principais itens, sendo estes: verificação ao momento fletor, verificação ao cisalhamento vertical, verificação a punção e verificação quanto a cargas lineares. Estas verificações serão apresentadas a seguir, de uma forma didática, por meio de tópicos, com o intuito de servir como um passo-a-passo para o dimensionamento de lajes mistas.

##### ➤ Verificação ao momento fletor

A verificação ao momento fletor é dividida em duas situações: a primeira com a linha neutra passando acima da face superior da fôrma de aço e a segunda considerando-se a mesma abaixo da face superior da fôrma de aço. Inicialmente, determina-se a posição da linha neutra através das seguintes equações:

a) Determinação da força de tração na fôrma de aço ( $N_{pa}$ ), conforme a Equação 1:

$$N_{pa} = \frac{A_f f_{yF}}{\gamma_f} \quad (1)$$

$A_f$  – Área da seção efetiva da fôrma

$f_{yF}$  – Resistência de escoamento do aço

$\gamma_f$  – Coeficiente de ponderação da resistência de escoamento do aço

- b) Determinação da altura da região de compressão do concreto ( $a$ ), conforme a Equação 2:

$$a = \frac{N_{pa}}{0.85f_{cd}b} \quad (2)$$

$b$  – Largura unitária da laje (1 m ou 1000 mm, de acordo com a unidade)

$f_{cd}$  – Resistência de cálculo do concreto à compressão

Após realizada a determinação da altura da região comprimida, é possível saber se a linha neutra se encontra acima ou abaixo da parte superior da fôrma de aço. Caso esta altura seja menor do que a altura da capa de concreto, é possível determinar o momento fletor resistente através do passo c). Caso contrário, é necessário pular o passo c), e partir para o cálculo de outras variáveis, como mostram os passos d), e), f) e g).

- c) Determinação do momento fletor resistente ( $M_{Rd}$ ), conforme a Equação 3:

$$M_{Rd} = N_{pa}(d_f - 0.5a) \quad (3)$$

$N_{pa}$  – Força de tração na fôrma de aço

$d_f$  – Distância da face superior da laje até o centro geométrico da seção, de acordo com a imagem abaixo

$a$  – Altura da região de compressão do concreto

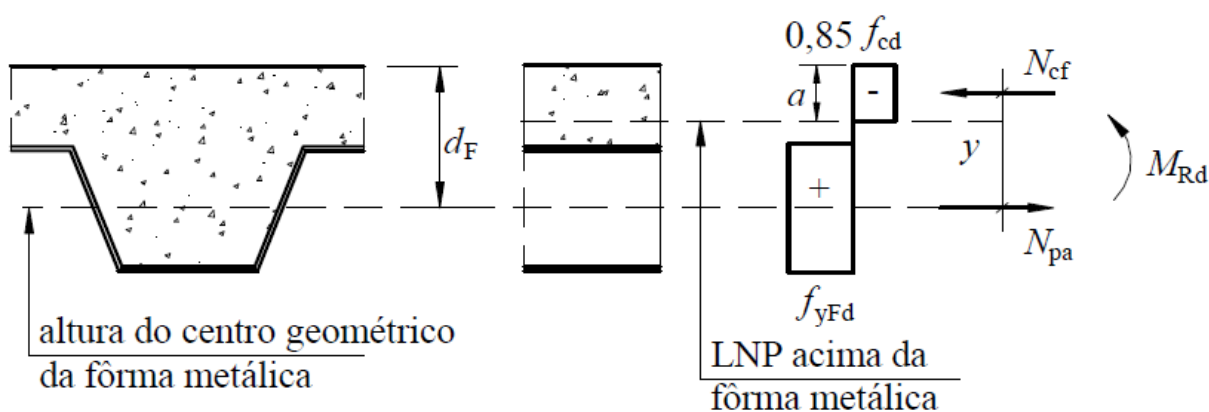


Figura 20 – Diagrama de tensões – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

d) Determinação da força de compressão no concreto ( $N_{cf}$ ), conforme a Equação 4:

$$N_{cf} = 0.85bt_c f_{cd} \quad (4)$$

$b$  – Largura unitária da laje (1 m ou 1000 mm, dependendo da unidade)

$t_c$  – altura de laje acima do topo da fôrma de aço

$f_{cd}$  – Resistencia de cálculo do concreto a compressão

e) Determinação da distância ( $y$ ), conforme a Equação 5:

$$y = h_t - 0.5t_c - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (5)$$

$h_t$  – altura total da laje

$e$  – distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à sua face inferior

$e_p$  – distância da linha neutra plástica da seção à sua face inferior

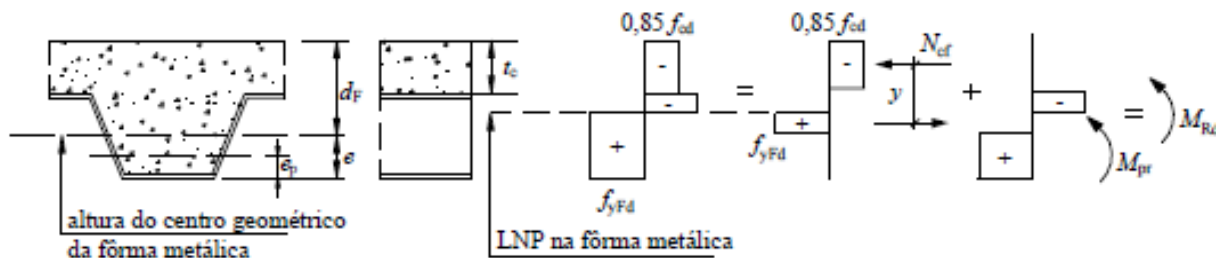


Figura 21 - Diagrama de tensões – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

f) Determinação do momento de plastificação da fôrma de aço reduzido pela força axial ( $M_{pr}$ ), conforme a Equação 6:

$$M_{pr} = 1.25M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}}\right) \leq M_{pa} \quad (6)$$

$M_{pa}$  – é o momento de plastificação da fôrma de aço, considerando-se sua seção efetiva dividida pelo coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma_{1a}$ , conforme NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010)

g) Determinação do momento resistente de cálculo ( $M_{Rd}$ ), conforme a Equação 7:

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

➤ Verificação ao cisalhamento vertical

a) Verificação da relação entre a área resistente de aço e a área de concreto ( $\rho$ ), conforme a Equação 8:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (8)$$

$A_v$  – Área resistente de concreto

$A_s$  – Área da armadura longitudinal de tração (fôrmas)

b) Cálculo do valor ( $\eta$ ), conforme a Equação 9:

$$\eta = 0.3 + 0.7 \left( \frac{\rho_c}{2400} \right) \quad (9)$$

$\rho_c$  – massa específica do concreto (Kg/m<sup>3</sup>)

c) Cálculo do valor da resistência de cálculo do concreto ( $f_{ctd}$ ), conforme a Equação 10 e a Equação 11:

$$f_{ctk,inf} = 0.21 f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (11)$$

$f_{ck}$  – resistência à compressão característica do concreto

$f_{ctk,inf}$  – resistência à tração direta característica do concreto

$\gamma_c$  – coeficiente de ponderação da resistência do concreto, dado pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014)

d) Determinação do valor de ( $\tau_{Rd}$ ), conforme a Equação 12:

$$\tau_{Rd} = 0.25f_{ctd} \quad (12)$$

e) Análise do parâmetro ( $k_v$ ), conforme a Equação 13:

$$k_v = \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \geq 1,0, \text{ caso exista armadura longitudinal de tração} \quad (13)$$

$$k_v = 1,0, \text{ nos outros casos}$$

$Lb_{nec}$  – comprimento de ancoragem dado pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014)

$d$  – distância da face superior da laje ao centro da armadura longitudinal (mm)

f) Determinação da força cortante vertical de cálculo do concreto ( $V_{v,c,Rd}$ ), conforme a Equação 14:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000\tau_{Rd}k_v(1.2 + 40\rho)A_v}{b_n} \quad (14)$$

$b_n$  – Largura de nervuras consecutivas (mm)

g) Determinação do limite da força cortante ( $V_{m\acute{a}x}$ ), conforme a Equação 15:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{285f_{ck}^{1/2}A_v}{b_n} \quad (15)$$

h) Análise final, conforme a Equação 16:

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

$V_{v,F,Rd}$  – Força cortante vertical de cálculo da fôrma de aço, de acordo com a NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010)

➤ Verificação à punção

A verificação a punção deve existir quando houverem elementos que gerem cargas pontuais concentradas, como por exemplo bases de máquinas ou pilares que se apoiem diretamente na laje.

a) Cálculo das taxas de armadura longitudinal e transversal da fôrma ( $\rho_F$  e  $\rho_S$ ), conforme a Equação 17 e a Equação 18:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{sl}}{d_f(b_p + 2h_r + 3d_f)} \quad (17)$$

$$\rho_S = \frac{A_{st}}{t_c(b_1 + 2h_r + 3d_f)} \quad (18)$$

$A_F$  – área da seção da fôrma aço referente à largura ( $b_p + 2h_r + 3d_f$ )

$A_{sl}$  – área da armadura longitudinal, referente à largura ( $b_p + 2h_r + 3d_f$ )

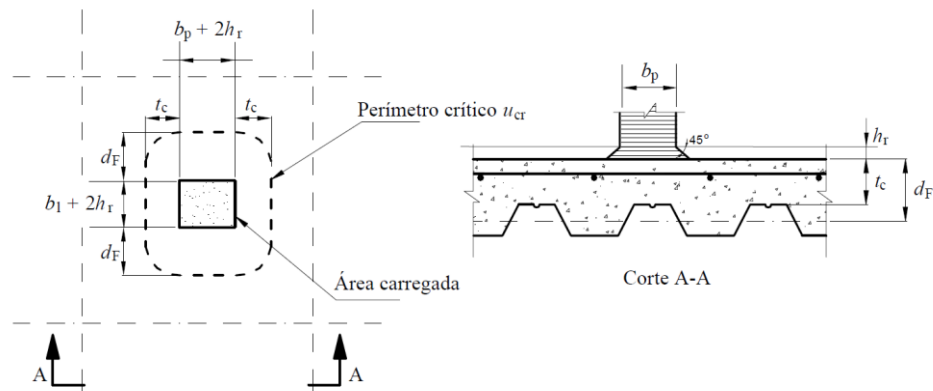
$A_{st}$  – área da armadura transversal, referente à largura ( $b_1 + 2h_r + 3d_f$ )

$h_r$  – altura do revestimento de laje, se houver

$t_c$  – altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço

$d_f$  – distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma

$b_p$  e  $b_1$  – dimensões conforme Figura 22 abaixo



**Figura 22 - Perímetro crítico de punção**

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

b) Determinação do parâmetro ( $\rho$ ), conforme a Equação 19:

$$\rho = \sqrt{\rho_F \rho_S} \leq 0,02 \quad (19)$$

c) Determinação da distância ( $d_1$ ), conforme a Equação 20:

$$d_1 = \frac{d_f + t_c}{2} \quad (20)$$

d) Verificação do parâmetro ( $k_p$ ), conforme a Equação 21:

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1}} \leq 2,0 \quad (21)$$

e) Verificação do parâmetro ( $\tau_{Rd}$ ), conforme a Equação 22:

$$\tau_{Rd} = 0,13k_p(100\rho f_{ck})^{1/3} \geq 0,30f_{ctd} \quad (22)$$

f) Força cortante resistente de cálculo à punção provocada por uma carga concentrada ( $V_{Rd,p}$ ), conforme a Equação 23:

$$V_{Rd,p} = \mu_{cr} d_1 \tau_{Rd} \quad (23)$$



$\mu_{cr}$  – perímetro crítico, conforme Figura 22

➤ Verificação quanto a cargas lineares

As cargas lineares são usualmente geradas por paredes não situadas sobre o eixo de vigas de sustentação. A verificação quanto ao esforço gerado por elas deve seguir os padrões da verificação à punção citados acima, porém a largura de cálculo  $b_p$  deve ser considerada como o comprimento da carga linear (METFORM, 2007).

### 2.1.7.2 Dimensionamento de acordo com as tabelas dos fabricantes

O dimensionamento de lajes mistas *steel deck* também pode ser feito através de tabelas fornecidas pelos fabricantes das fôrmas de aço. Nestas tabelas, conhecendo-se os valores de vão livre e sobrecarga aos quais a laje estará sendo submetida, é possível determinar a espessura de chapa e a altura de laje necessárias. Além disso, também é possível determinar através destas tabelas a necessidade ou não de escoramento durante a fase de construção da laje, além do espaçamento entre as eventuais escoras. Na Figura 23 abaixo é mostrada uma tabela exemplo, adaptada de um manual técnico.

ESPESSURA 1,25 mm

SISTEMA 4 APOIOS - (Vão m) - Vão máximo sem escora: 3,80 m

Espe- sura da Laje em cm	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80
11	1449	1301	1178	1073	982	878	773	686	613	540					
12	1638	1470	1331	1212	1107	966	851	755	675	387	328	277			
13	1826	1640	1484	1352	1209	1055	929	825	494	419	355	300	252		
14	2014	1809	1637	1492	1312	1145	1008	895	533	452	382	322	270		
15	2202	1978	1791	1632	1414	1234	1087	676	572	485	410	345	289		
16	2390	2147	1944	1756	1517	1324	1166	723	612	518	437	368	308	256	
17	2579	2316	2097	1876	1621	1415	1246	770	652	551	465	391	327	271	
18	2767	2485	2250	1996	1724	1505	968	817	691	585	493	415	346	287	
19	2955	2655	2404	2116	1828	1596	1024	885	731	618	521	438	365	302	
20	3143	2824	2557	2236	1932	1686	1081	912	771	652	549	461	385	318	259
21	3332	2993	2710	2356	2036	1351	1138	960	811	685	578	485	404	334	272
22	3520	3162	2863	2477	2141	1419	1195	1008	852	719	606	508	424	350	285
23	3708	3331	3016	2598	2245	1487	1252	1056	892	753	634	532	443	366	298
24	3896	3500	3170	2719	2350	1556	1309	1104	933	787	663	556	463	382	311
25	4085	3670	3323	2841	2455	1624	1366	1153	973	821	692	580	483	398	323

Indicação do número de apoios e indicação do vão máximo sem escoras

Indicação do vão em metros

Espe-  
sura  
da Laje  
em cm

Altura final da laje em centímetros

Sem escoramento  
Com escoramento

Indicação da necessidade de escoramento

Valores de sobrecarga admissíveis (KN/m<sup>2</sup>)

Figura 23 – Exemplo de tabela para dimensionamento de lajes mistas *steel deck*  
Fonte: Perfilor (2015).

### 2.1.7.3 Armaduras adicionais

As armaduras adicionais são elementos que tem o intuito de garantir a resistência da laje mista *steel deck*, com a adição de elementos que venham a distribuir esforços e evitar com que estes esforços prejudiquem o desempenho da laje. Entre os principais tipos de armaduras adicionais estão as armaduras antifissuração, armaduras de reforço, armaduras de distribuição ou de continuidade e armaduras em aberturas. Como a definição e utilização destas armaduras foi definida anteriormente neste trabalho, nesta etapa serão apresentados apenas os métodos de dimensionamento.

➤ Armadura antifissuração

De acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), a armadura antifissuração deve ter uma área de aço que seja maior que 0,1% da área de concreto acima da face superior da fôrma e deverá estar posicionada 20 mm abaixo do topo da laje.

Esta armadura, usualmente aplicada em forma de tela soldada, pode ser projetada também de acordo com tabelas disponibilizadas por fabricantes e dependem de dois fatores: altura total da laje e consumo de concreto (METFORM, 2007).

➤ Armaduras de reforço

A armadura de reforço é necessária caso os esforços atuantes ultrapassem o limite resistente da fôrma. Esta armadura é posicionada no fundo das nervuras do *steel deck*, de acordo com a solicitação de esforços (METFORM, 2007). A adição de barras ao fundo da viga auxilia na resistência ao momento positivo.

De acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008), a armadura adicional necessária para a resistência da laje ao momento positivo deve obedecer às prescrições da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014) ou, na ausência da norma brasileira, do Eurocode 2 Part 1-1 (2004).

O cálculo da armadura de reforço realiza-se pela adição de uma parcela na verificação do momento fletor, já apresentada anteriormente. Por meio de passo-a-passo, é apresentado a seguir, o dimensionamento da armadura de reforço.

a) Determinação de ( $N_{ps}$ ), conforme a Equação 24:

$$N_{ps} = \frac{A_s f_{ys}}{\gamma_f} \quad (24)$$

$A_s$  – área de armadura positiva adicional

$f_{ys}$  – resistência de escoamento do aço

$\gamma_f$  – coeficiente de ponderação do escoamento do aço

b) Determinação de ( $y'$ ), conforme a Equação 25:

$$y' = a' - 0.5a \quad (25)$$

$a'$  - distância da armadura adicional à face superior da laje

$a$  – espessura da região comprimida de concreto

c) Momento resistente de cálculo ( $M_{Rd}$ ), conforme a Equação 26:

$$M_{Rd} = N_{cf}y + M_{pr} + N_{ps}y' \quad (26)$$

$N_{cf}$  - força de compressão no concreto, determinada no item d da verificação de momento fletor

$y$  – distância determinada no item e da verificação de momento fletor

$M_{pr}$  – determinada no item f da verificação de momento fletor.

➤ Armaduras de continuidade ou armadura de distribuição

É indicado, que em regiões de junção de vigas de sustentação do piso e em contorno de pilares, além da armadura antifissuração sejam utilizadas armaduras adicionais conforme explicadas nos itens a seguir.

A armadura de continuidade, também conhecida como armadura de distribuição ou armadura localizada, está geralmente presente em contornos de pilares ou em vigas principais onde ocorrem cargas pontuais ou lineares. Estas armaduras são previstas a fim de evitar fissuras devido a tendência de continuidade da laje. Abaixo é mostrado um passo-a-passo para o dimensionamento destas armaduras, conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

- a) Determinação das larguras de distribuição do aço ( $b_{em}$  e  $b_{ev}$ ), conforme a Equação, 27, a Equação 28 e a Equação 29:

$$b_m = b_p + 2(t_c + h_r) \quad (27)$$

$$b_{em} = b_m + 1.33L_p\left(1 - \frac{L_p}{L_F}\right) \quad (28)$$

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

$b_p$  – largura da carga concentrada perpendicular a laje

$t_c$  – altura de concreto acima do topo da fôrma de aço

$h_r$  – altura do revestimento da laje, caso exista

$L_p$  – distância do centro da carga ao apoio mais próximo

$L_F$  – vão teórico da laje na direção das nervuras

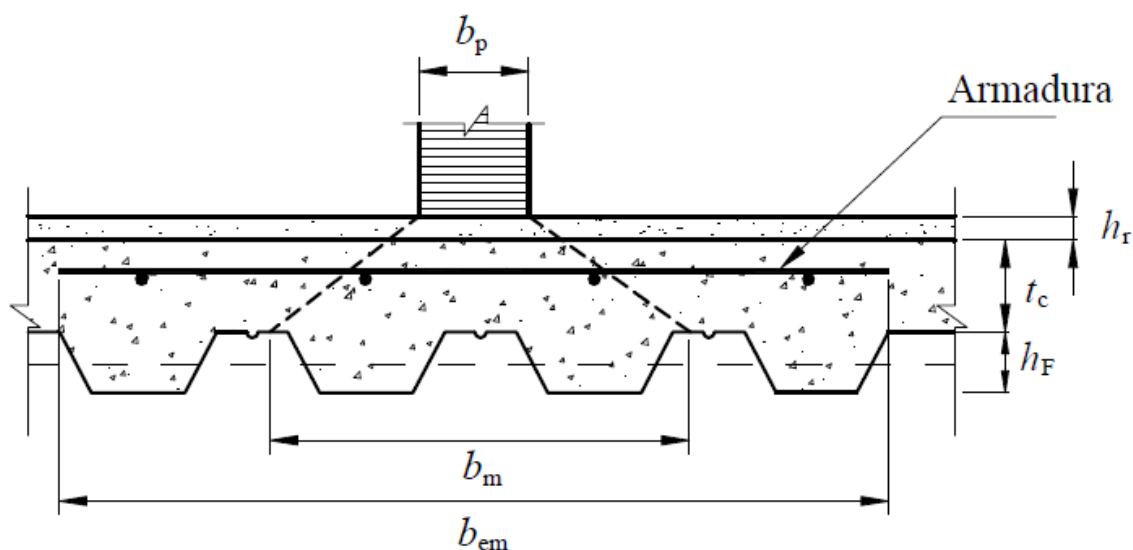


Figura 24 – Distribuição das cargas concentradas ou lineares  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

- b) Determinação do comprimento de distribuição da força ( $w$ ), conforme a Equação 30:

Para o dimensionamento da armadura localizada, deve-se considerar uma força concentrada de cálculo, que irá gerar uma linha de distribuição de força com comprimento  $w$ , conforme a imagem abaixo:

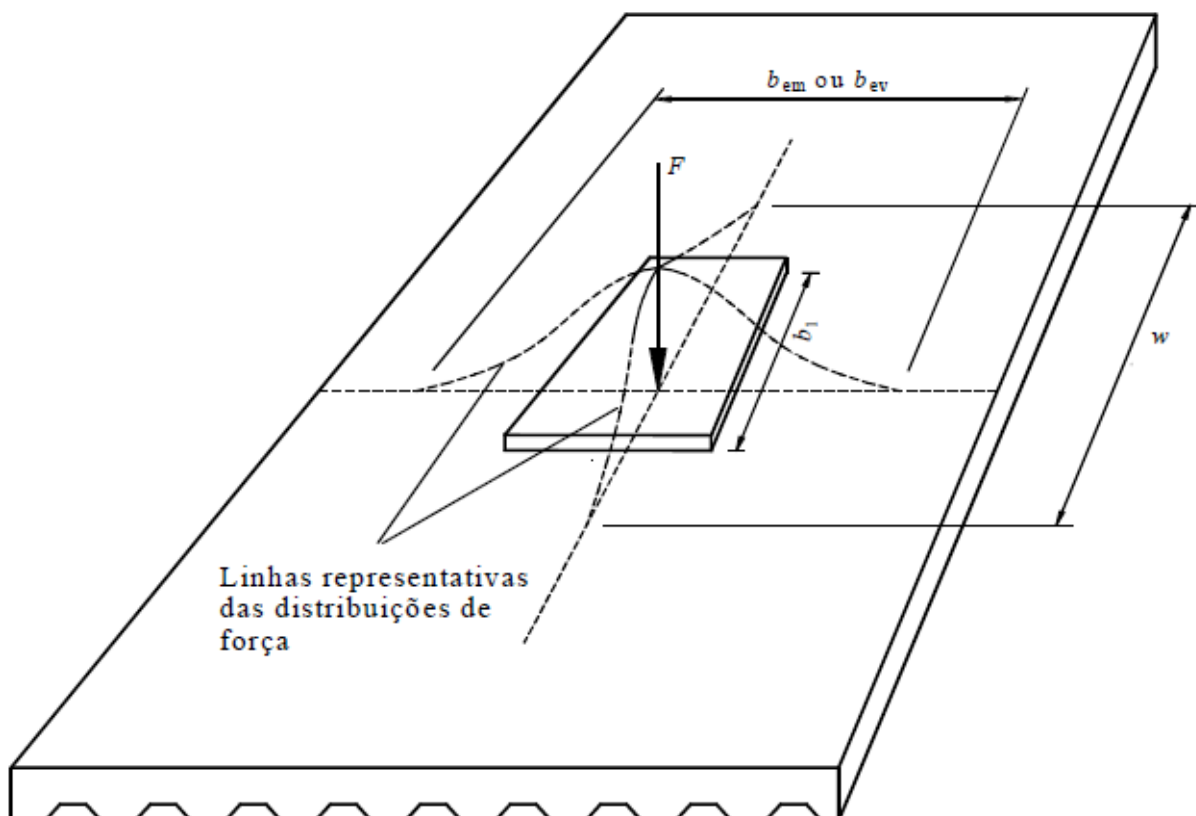


Figura 25 – Armadura de distribuição  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008).

$$w = \frac{L_F}{2} + b_1 \leq L_F \quad (30)$$

- c) Cálculo do momento atuante ( $M_d$ ), conforme a Equação 31:

$$M_d = \frac{F_d b_{em}}{15w} \text{ ou } M_d = \frac{F_d b_{ev}}{15w} \quad (31)$$

$F_d$  – carga concentrada de cálculo

$b_1$  – largura da carga concentrada na direção paralela ao vão da laje

d) Verificação da altura de concreto comprimida ( $a$ ), conforme a Equação 32:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_{ck} b} \quad (32)$$

$A_s$  – Área de aço da armadura

$f_y$  – Limite de escoamento do aço.

$f_{ck}$  – Resistência do concreto

$b$  – Largura da seção

e) Momento fletor resistente ( $M_{Rd}$ ), conforme a Equação 33:

$$M_{Rd} = 0,85 A_s f_y \left( d' - \frac{a}{2} \right) \quad (33)$$

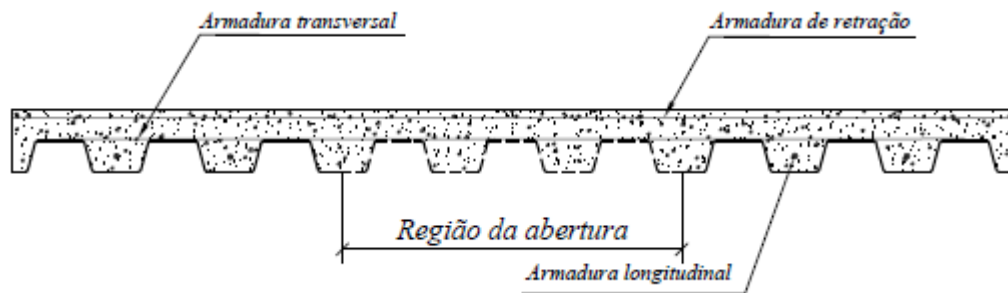
$d'$  - altura da armadura de aço determinada pelo projetista

f) Verificação final, conforme a Equação 34:

$$M_{Rd} \geq M_d \quad (34)$$

➤ Armaduras em aberturas

As armaduras em aberturas devem ser posicionadas nos canais mais próximos ao furo. A resistência destas barras deve corresponder a resistência do pedaço de fôrma de aço retirado. A seguir segue um roteiro para o dimensionamento destas barras conforme posição exemplificada no desenho abaixo:



**Figura 26- Posicionamento da armadura adicional em abertura**  
**Fonte: Metform (2007).**

a) Cálculo da área total da armadura longitudinal ( $A_{sl}$ ), conforme a Equação 35:

$$A_{sl} = A_s L \frac{\Phi f_y}{\frac{f_{yl}}{\gamma_s}} \quad (35)$$

$A_s$  – Área por unidade de comprimento de *steel deck* recortada na abertura de acordo com tabela do fabricante.

$L$  – largura da abertura, perpendicular ao vão;

$\Phi$  – Coeficiente de minoração da resistência do aço do *steel deck*

$f_y$ - Limite de escoamento do aço *steel deck*

$\gamma_s$ - Coeficiente de segurança da armadura longitudinal

$f_{yl}$ - Limite de escoamento do aço da armadura longitudinal.

b) Armadura transversal  $A_{st}$

A armadura transversal deve ser posicionada perpendicularmente aos canais do *steel deck* e deve se prolongar por no mínimo dois canais do *steel deck* além da região de abertura (METFORM, 2007). A armadura transversal deve ter área  $A_{st} \geq 0,2A_{sl}$  e deve ser distribuída em no mínimo três barras com espaçamento  $e \leq 300mm$ .



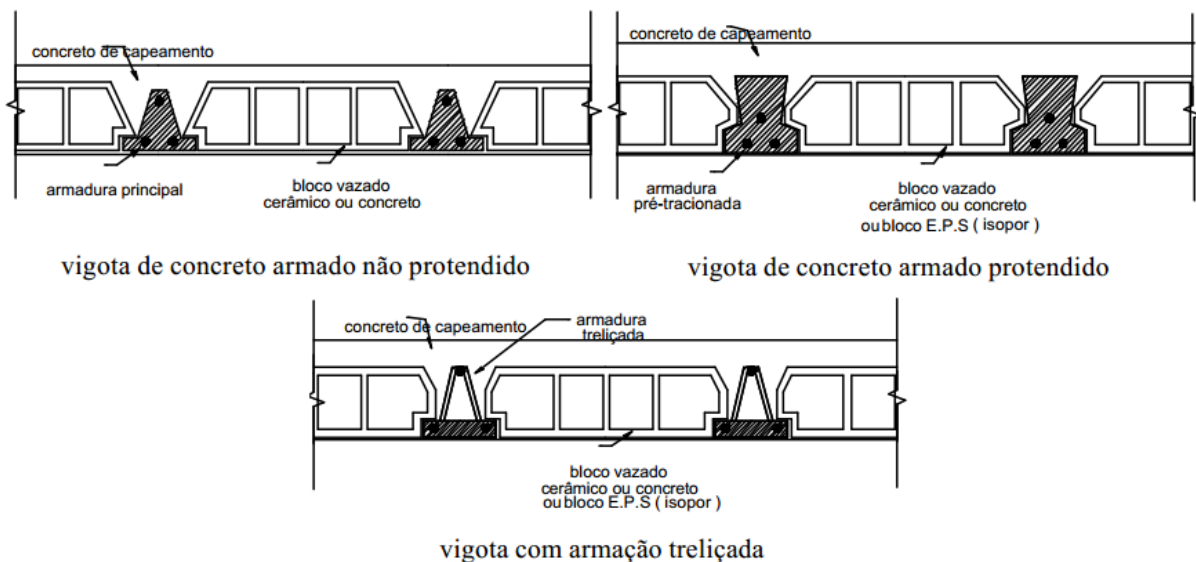
## 2.2 LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS

De acordo com a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006. p. 3), define-se pré-moldado e pré-fabricado como sendo:

Pré-moldado: Elemento executado fora do local de utilização definitiva da estrutura, com condição menos rigorosa de controle de qualidade.

Pré-fabricado: Elemento pré-moldado, executado industrialmente, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

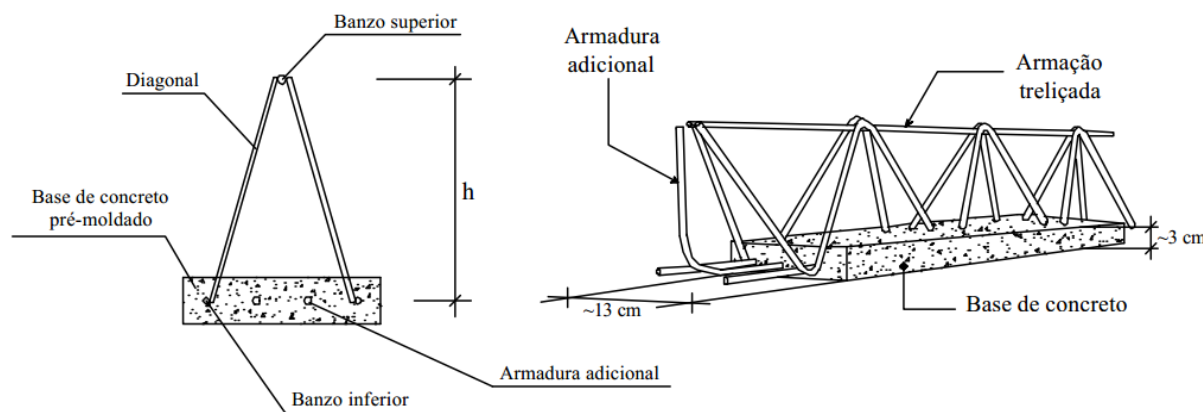
Segundo Carvalho *et al* (2000), lajes pré-moldadas são lajes formadas por nervuras pré-moldadas, um material de enchimento (normalmente lajotas cerâmicas ou blocos de polietileno expandido) e uma “capa de concreto” moldada no local de forma a cobrir todos os elementos por completo. A NBR 14859 (ASSOCIAÇÃO..., 2002a) divide as nervuras pré-moldadas em três tipos: nervuras de concreto armado, nervuras de concreto protendido e nervuras treliçadas, como mostra a imagem abaixo.



**Figura 27 - Tipos de vigotas pré-moldadas**  
Fonte: Magalhães (2001).

As nervuras treliçadas são elementos que possuem uma base de concreto com largura entre 12 cm e 14 cm e com altura entre 3 cm e 4 cm, utilizando como armadura uma treliça de aço. Esta treliça é composta de barras retas na parte inferior, uma barra superior e diagonais laterais ligando as barras retas inferiores à barra reta superior. Sob encomenda, podem ser adicionadas barras de aço na base pré-

moldada, sendo esta área de aço adicional definida em projeto (ARCELORMITTAL, 2010).



**Figura 28 - Elementos das vigotas treliçadas.**  
**Fonte: Adaptado de Magalhães (2001).**

As armações treliçadas são classificadas pela NBR 14862 (ASSOCIAÇÃO..., 2002b), de acordo com um código que relaciona sequencialmente a treliça (TR), a altura, o diâmetro da armadura do banzo superior, o diâmetro da diagonal e o diâmetro do banzo inferior. Como exemplo, a TR08644 é uma treliça com altura de 8 cm, barras com diâmetro de 6 mm no banzo superior, barras com diâmetro de 4,2 mm na diagonal e barras com diâmetro de 4,2 mm no banzo inferior.

### 2.2.1 Vantagens e desvantagens

Os elementos pré-moldados devem ser capazes de resistir ao seu peso próprio, as cargas provenientes das lajotas e as cargas acidentais (SILVA, 1999). Sendo assim, o escoramento necessário é reduzido e a utilização de fôrmas é drasticamente diminuída, pois, os elementos pré-moldados e o material de enchimento fazem este papel de fechamento da laje (CARVALHO *et al*, 2000). A redução de diversos elementos juntamente com a utilização de elementos pré-moldados, resulta na racionalização da execução propiciando rapidez e economia na obra.

Como desvantagens, Flório (2004) destaca os valores dos deslocamentos transversais, maiores que os presentes em lajes convencionais, e o carregamento

apenas em uma direção nas vigas de contorno. Além disso, há também a necessidade de verificação do posicionamento da armadura negativa durante a execução, a fim de garantir o valor correto de altura útil. A segurança com relação ao transporte sobre a laje é um fator a ser observado, tendo em vista que caminhar sobre as lajotas ou elementos de enchimento pode resultar em uma situação de risco, tendo em vista a fragilidade destes elementos (MAGALHÃES, 2001).

### 2.2.2 Comportamento estrutural

As lajes pré-moldadas podem ter nervuras principais em uma ou em duas direções, sendo classificadas como unidirecionais ou bidirecionais. A laje unidirecional possui nervuras dispostas em apenas uma direção, formando assim, uma estrutura de vigotas pré-moldadas posicionadas na direção principal da laje. A laje pré-moldada bidirecional é normalmente composta por vigotas pré-moldadas, com armação treliçada na direção do menor vão, e por nervuras transversais moldadas *in loco* na outra direção (MAGALHAES, 2001).

A conexão existente entre a armação treliçada e o concreto moldado *in loco* transforma estas lajes em estruturas monolíticas, as quais possuem um comportamento semelhante a uma laje maciça.

Gaspar (1997) cita que uma situação crítica ocorre quando os painéis de lajes vão sendo carregados, a barra superior da vigota tende a ser comprimida, podendo até chegar a ruína pelo efeito de flambagem. Para evitar que ocorra o carregamento nesta barra, é indicado que sejam montadas linhas de escoras no sentido perpendicular ao das vigotas, diminuindo a sollicitação nas mesmas.

### 2.2.3 Processo construtivo

Cada etapa desenvolvida no processo construtivo é de extrema importância, tendo em vista que a qualidade e o desempenho estrutural final dependem de cada

processo executado. O controle de qualidade deve começar com a análise de todo o material e terminar apenas quando a laje estiver completa.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006) dá diretrizes quanto ao manuseio, montagem e execução de elementos pré-moldados. Neste contexto, abaixo são abordadas as etapas básicas para a montagem das lajes pré-fabricadas.

### *2.2.3.1 Transporte e armazenamento*

Os elementos pré-moldados devem ser suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados evitando choques e movimentos abruptos NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006).

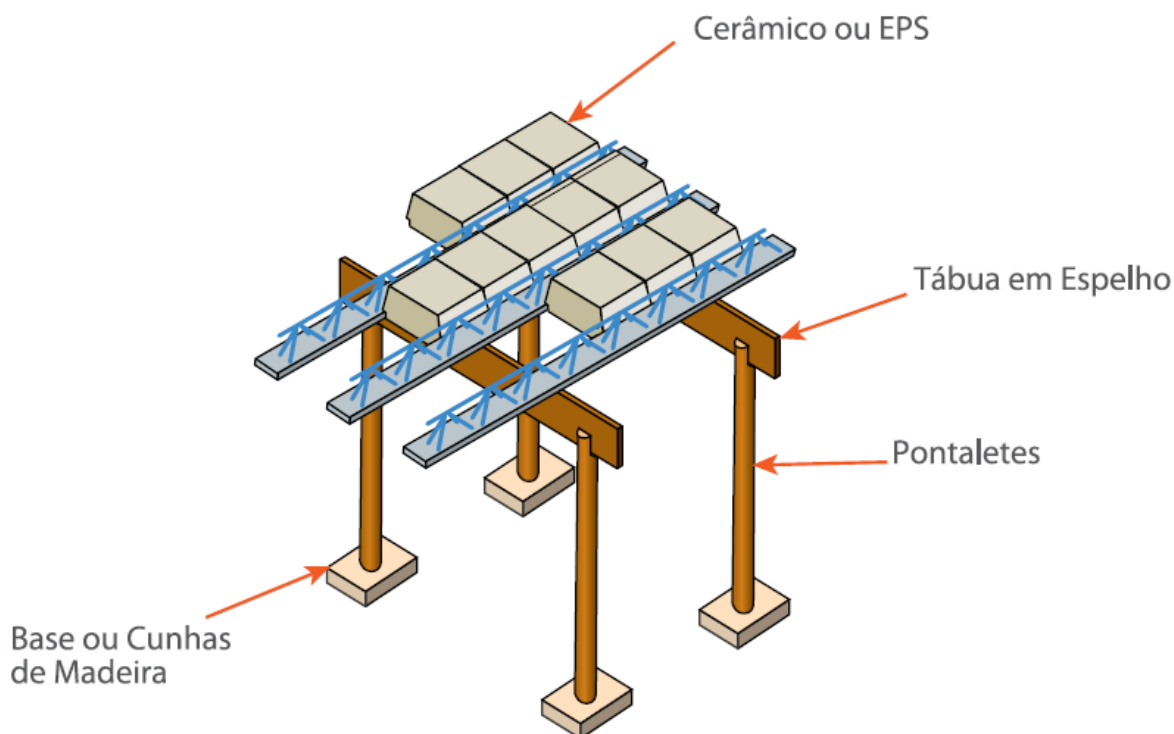
A descarga deve ser feita com os mesmos cuidados do transporte, sendo os elementos apoiados sobre dispositivos assentados sobre terreno plano e firme. Pilhas de elementos podem ser formadas desde que seja evitado o contato das superfícies de concreto. Porém deve ser observado a segurança quando ao tombamento desta pilha de elementos.

Durante o recebimento dos materiais deve-se ficar atento a qualidade dos mesmos, observando trincas ou fissuras em vigotas, bem como observando a qualidade dos blocos de enchimento.

### *2.2.3.2 Escoramento*

O escoramento utilizado é usualmente de madeira ou metálico, sendo as escoras espaçadas geralmente de 90 cm a 110 cm. No escoramento utilizando elementos de madeira, a execução é feita com tábuas, pontaletes e cunhas. As tábuas ficam em contato com as vigotas, distribuindo a carga para os pontaletes que se apoiam sobre as cunhas, conforme a Figura 29 abaixo. Além disso, o mesmo deve seguir as orientações dispostas na NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), a qual cita que o escoramento deve ser projetado a fim de que não sofra deformações prejudiciais

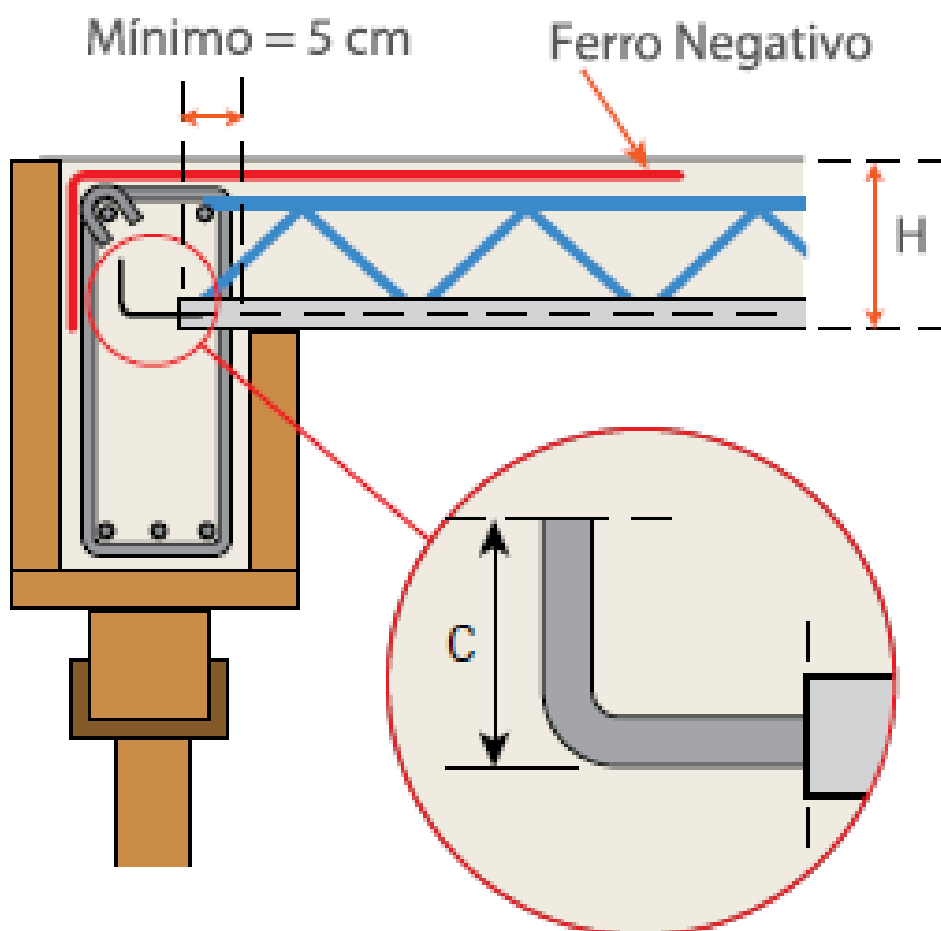
ao formato da estrutura, sendo que estas deformações podem se dar devido a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais.



**Figura 29 - Escoramento em madeira**  
Fonte: Arcelormittal (2010).

### 2.2.3.3 Montagem das vigotas

A montagem deve ser realizada utilizando máquinas e equipamentos, a fim de movimentar as peças para suas posições definitivas na obra, observando no projeto o sentido de colocação das vigotas. Também, devem ser observadas as condições de apoio das vigotas, as dimensões mínimas e o comprimento do gancho.



**Figura 30 - Detalhe do apoio das vigotas**  
 Fonte: Acerlormittal (2010).

#### 2.2.3.4 Elementos de enchimento

Após verificação quanto a qualidade dos enchimentos, observando trincas ou fissuras presentes e descartando elementos defeituosos, o posicionamento pode ser iniciado. Deve-se, inicialmente executar fileiras ortogonais ao sentido da vigota, iniciando-se pelas duas fileiras externas e caminhando em direção ao centro da laje. Ainda, necessita-se de conferência quanto ao esquadro, evitando desta forma folgas nos elementos de enchimento e conseqüentemente, o vazamento de concreto (ARCELORMITTAL, 2010).

#### *2.2.3.5 Armadura complementar*

Observando o projeto, a presença de armaduras complementares deve ser verificada. Usualmente é utilizada uma malha de aço com o intuito de tornar a laje resistente, formando, juntamente com o concreto uma estrutura rígida (BRANDALISE; WESSLING, 2015).

#### *2.2.3.6 Guias de acabamento lateral*

As guias têm como intuito a vedação lateral da laje e podem ser executadas com a utilização de tábuas de madeira, as quais servem como referência para a altura final da laje, onde os funcionários responsáveis pela concretagem podem se basear durante a execução da concretagem.

#### *2.2.3.7 Instalação de elementos da rede elétrica, hidráulica e de esgoto*

Nesta etapa, a qual antecede a concretagem, todas as caixas de passagem devem ser instaladas a fim de posicionar corretamente os eletrodutos e as tubulações, a partir da remoção de blocos de enchimento ou apenas perfurando os elementos, quando necessário.

#### *2.2.3.8 Concretagem*

Inicialmente, é necessário observar a resistência do concreto em projeto, para em seguida proceder com a concretagem. A concretagem deve ser executada normalmente, controlando a cura do concreto (ARCELORMITTAL, 2010).

### 2.2.3.9 *Remoção das escoras*

A remoção das escoras deve ocorrer apenas após o concreto ter adquirido resistência suficiente para suportar a carga aplicada, evitando deformações excessivas e danos a estrutura. Segundo fabricantes, a retirada de escoras deve ocorrer no mínimo 18 dias após a concretagem e a remoção deve ser executada do centro em direção as extremidades (ARCELORMITTAL, 2010).



### 3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002, p. 41), uma pesquisa exploratória “[...]tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”. Desta forma, quanto aos objetivos esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, de modo que não existem trabalhos comparativos entre lajes mistas *steel deck* e outros tipos de laje no Brasil, considerando os aspectos técnicos e financeiros.

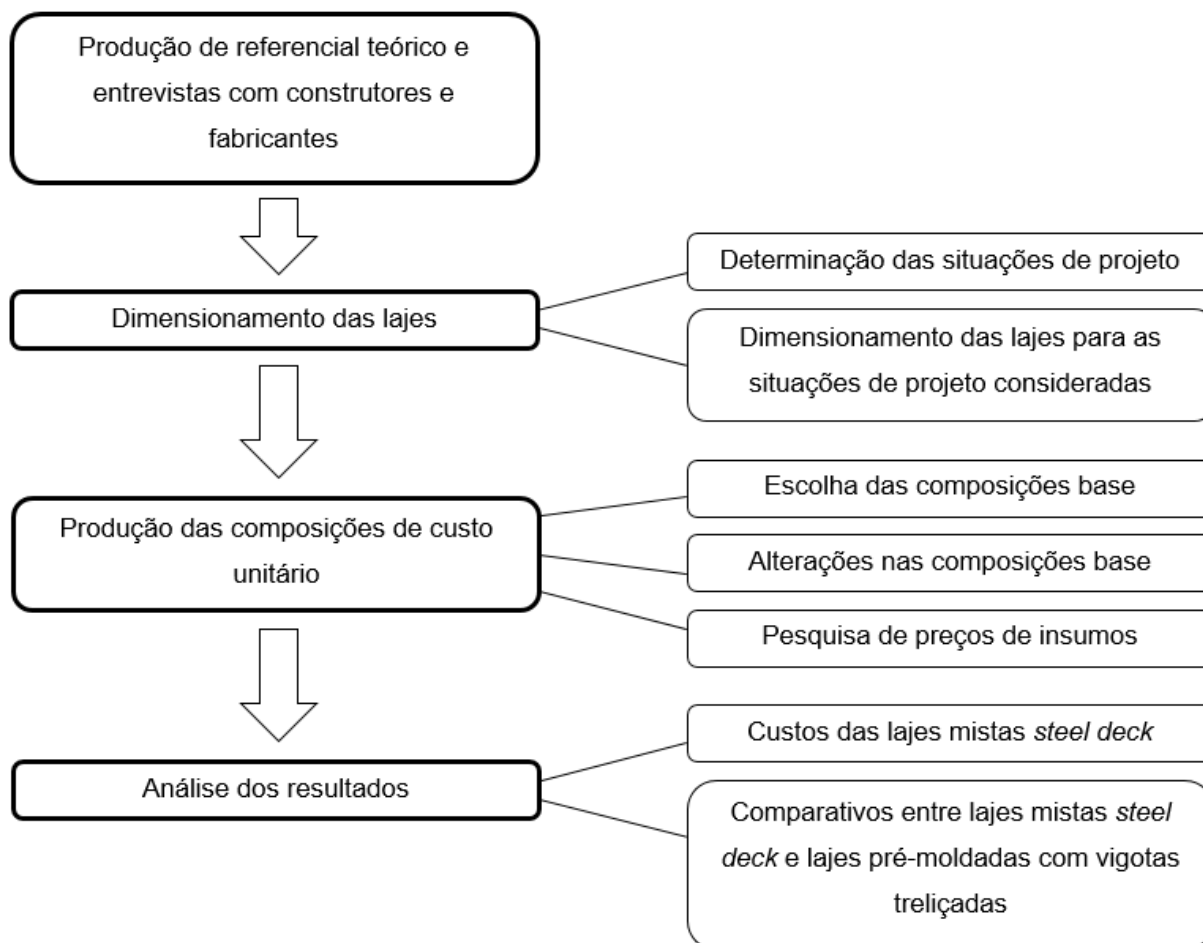
Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser classificada como sendo uma pesquisa bibliográfica, pois para a realização e obtenção dos objetivos específicos propostos, faz-se necessária a utilização de um embasamento teórico

O procedimento utilizado para a obtenção dos objetivos propostos foi o seguinte: primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica abordando os principais aspectos das lajes mistas *steel deck*: história, normas técnicas, processo construtivo, dimensionamento, entre outros. Aliado a isso, foram feitas entrevistas com construtores e fabricantes de lajes mistas *steel deck* no Brasil, via correio eletrônico ou telefone, de forma a sanar as dúvidas existentes.

Terminada esta etapa, foi feito o dimensionamento das lajes mistas *steel deck* e das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, variando-se o vão livre e o carregamento aos quais as mesmas eram submetidas. Ainda, tanto para as lajes mistas *steel deck* quanto para as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, o dimensionamento foi feito de acordo com tabelas de manuais técnicos de fabricantes.

Posteriormente, com base em composições presentes em bibliografias especializadas, foram produzidas composições de custo unitário próprias para as situações de vão livre e carregamento definidas anteriormente. Após isso, foram feitas análises e comparações de custos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.

A seguir é mostrado um diagrama do procedimento de trabalho utilizado e, após isso, é explicada de forma mais específica a metodologia de trabalho adotada nas várias etapas de produção deste trabalho.



**Figura 31 – Diagrama da metodologia utilizada**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

### 3.1 REFERENCIAL TEÓRICO E PESQUISAS COM FABRICANTES

A primeira etapa do trabalho consistiu na produção de um referencial teórico sobre as lajes mistas *steel deck*. Este referencial foi feito com base em livros, trabalhos acadêmicos e publicações técnicas, brasileiros e internacionais. Entretanto, por se tratar de um processo construtivo pouco difundido no país, não existe muito material a respeito do assunto. Dessa forma, com o objetivo de sanar as dúvidas geradas nesta etapa, foram feitas entrevistas informais semi-estruturadas com 12 fabricantes e construtores brasileiros de lajes mistas *steel deck*, via telefone e correio eletrônico, sendo estes os que deram retorno à pesquisa.

É importante destacar aqui que, pelo fato de que as entrevistas com os construtores tiveram um caráter informal, não foi possível organizar os dados colhidos

para uma análise mais profunda. Assim, neste trabalho a colaboração dos entrevistados foi colocada na forma de informações passadas por estes ou mesmo de referências as suas ideias. Ainda, no Apêndice A é mostrado o questionário utilizado para estruturar as entrevistas.

## 3.2 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

### 3.2.1 Determinação das situações de projeto

Para o dimensionamento das lajes, foi necessário determinar as situações de projeto que seriam consideradas, ou seja, as combinações de vãos livres e cargas atuantes nas lajes. A escolha das situações de projeto consideradas para as lajes mistas *steel deck* se deu com base nas seguintes diretrizes:

- Vãos máximos que o modelo de *steel deck* adotado é capaz de suportar, sem armadura de reforço, de acordo com seu fabricante;
- Sobrecargas máximas que o modelo de *steel deck* adotado é capaz de suportar, em seus maiores vãos, sem armadura de reforço, de acordo com seu fabricante;
- Vãos mínimos usuais para edificações convencionais.

Para a determinação das situações de projeto consideradas para as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, foram adotados os mesmos vãos considerados para as lajes mistas *steel deck*. Entretanto, as cargas atuantes consideradas ficaram restritas aquelas que poderiam ser suportadas pelas armações treliçadas com armadura de reforço usuais na região, conforme pesquisa realizada com fabricantes locais deste tipo de laje e também de acordo com o manual técnico do fabricante das armações treliçadas utilizadas.

As situações de projeto consideradas neste trabalho para o dimensionamento tanto das lajes mistas *steel deck* quanto das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas são mostradas nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

**Tabela 1 - Situações de projeto consideradas para o dimensionamento das lajes mistas *steel deck***

SITUAÇÃO DE PROJETO	VÃO LIVRE (m)	CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )
A1	2,0	1,0
A2	2,0	2,0
A3	2,0	3,0
A4	2,0	4,0
A5	2,0	5,0
A6	2,0	6,0
B1	3,0	1,0
B2	3,0	2,0
B3	3,0	3,0
B4	3,0	4,0
B5	3,0	5,0
B6	3,0	6,0
C1	4,0	1,0
C2	4,0	2,0
C3	4,0	3,0
C4	4,0	4,0
C5	4,0	5,0
C6	4,0	6,0

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 2 - Situações de projeto consideradas para o dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas**

SITUAÇÃO DE PROJETO	VÃO LIVRE (m)	CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )
A1	2,0	1,0
A2	2,0	2,0
A3	2,0	3,0
B1	3,0	1,0
B2	3,0	2,0
B3	3,0	3,0
C1	4,0	1,0
C2	4,0	2,0
C3	4,0	3,0

Fonte: Autoria própria (2016).

### 3.2.2 Dimensionamento das lajes mistas *steel deck*

O modelo de *steel deck* adotado neste trabalho para o dimensionamento e posterior comparativo de custos foi o MF-75, da Metform, fabricado em aço ZAR-280, com espessuras de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm e com largura útil de 820 mm. O motivo desta escolha foi que, nas composições de custo unitário adotadas como base, o consumo de concreto mostrado era o mesmo que o deste tipo de *steel deck*. Além

disso, a empresa fabricante se mostrou disposta a auxiliar no levantamento de quantidades e custos. Ainda, conforme citado anteriormente, o dimensionamento foi feito de acordo com o manual técnico da empresa fabricante. No Anexo A é mostrada a tabela que foi utilizada para o dimensionamento destas lajes.

### 3.2.3 Dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas

Para o dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, foram utilizadas as armações treliçadas que constam no catálogo da ArcelorMittal (ARCELORMITTAL, 2010) e que, conforme entrevistas realizadas com fabricantes deste tipo de laje na região, são as mais usuais. Os modelos de armações treliçadas considerados foram o TR08644 e o TR12645, sendo a sua nomenclatura de acordo com a NBR 14862 (ASSOCIAÇÃO..., 2002b). Quanto aos elementos de enchimento, foram consideradas tabelas cerâmicas com altura de 7 cm para as lajes que utilizem armações do tipo TR08644 e altura de 11 cm para as que utilizem armações do tipo TR12645. A capa de concreto considerada para ambas as vigotas treliçadas foi de 4 cm. No Anexo B são mostradas as Figuras 33 e 34 utilizadas para o dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.

## 3.3 COMPOSIÇÕES DE CUSTOS UNITÁRIOS

### 3.3.1 Composições

Para a produção das composições de custo unitário, foram utilizadas como base composições presentes na TCPO (2008). A partir destas composições, as quais são mostradas na íntegra no Anexo C, foram feitas algumas modificações, que são listadas a seguir. Após isso, são mostradas as Tabelas 3, 4 e 5 com resumos das composições base.

- Nas composições relativas ao *steel deck*: foram adicionados os arremates, que não constavam na composição base, e retificados os tipos de malhas antifissuração, que não eram coerentes com relação aos catálogos técnicos do fabricante;
- Na composição relativa ao escoramento metálico: foram modificados os coeficientes relativos à quantidade de escoras e de madeira, uma vez que para as lajes mistas *steel deck* esta quantidade seria diferente;
- Nas composições relativas às lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas a única modificação foi nos tipos de vigotas utilizadas, pois as mesmas já incluíam escoramento.

É importante destacar aqui que, as composições relativas às lajes mistas *steel deck* não consideravam nenhum tipo de escoramento. Dessa forma, a composição de escoramento metálico para lajes foi utilizada apenas para as lajes mistas *steel deck*, quando o cimbramento se fazia necessário, uma vez que as composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas já incluíam escoramento.

**Tabela 3 - Resumo das composições base para lajes mistas *steel deck* – unidade: m<sup>2</sup>**

ESPESSURAS (mm)		MÃO-DE-OBRA (h)			STEEL DECK (m <sup>2</sup> )			TELA Q75 (m <sup>2</sup> )	CONCRETO 25 MPa (m <sup>3</sup> )
Fôrma	Total	Montador	Pedreiro	Servente	0,80 mm	0,95 mm	1,25 mm		
0,80	130	0,17	0,68	0,85	1,00	-	-	1,05	0,0925
0,95	130	0,20	0,68	0,88	-	1,00	-	1,05	0,0925
1,25	130	0,25	0,68	0,93	-	-	1,00	1,05	0,0925
0,80	150	0,17	0,73	0,85	1,00	-	-	1,05	0,1130
0,95	150	0,20	0,73	0,88	-	1,00	-	1,05	0,1130
1,25	150	0,17	0,82	0,85	-	-	1,00	1,05	0,1130
0,80	180	0,17	0,68	0,85	1,00	-	-	1,05	0,1430
0,95	180	0,20	0,82	0,88	-	1,00	-	1,05	0,1430
1,25	180	0,25	0,82	0,93	-	-	1,00	1,05	0,1430
0,80	200	0,17	0,90	0,85	1,00	-	-	1,05	0,1630
0,95	200	0,20	0,90	0,88	-	1,00	-	1,05	0,1630
1,25	200	0,25	0,90	0,93	-	-	1,00	1,05	0,1630

Fonte: Adaptado de TCPO (2008).

**Tabela 4 - Resumo da composição base de escoramento metálico para lajes – unidade: m<sup>2</sup>**

Ajudante de carpinteiro (h)	0,20
Escora metálica (loc/un/mês)	0,85
Pontalete 3" x 3" (m)	1,01

Fonte: Adaptado de TCPO (2008).

**Tabela 5 - Resumo das composições base para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas – unidade: m<sup>2</sup>**

<b>ALTURA TOTAL DA LAJE</b>	<b>12 cm</b>	<b>16 cm</b>
Carpinteiro (h)	0,73	0,81
Armador (h)	0,15	0,15
Pedreiro (h)	0,44	0,47
Servente (h)	1,88	2,10
Areia lavada tipo média (m <sup>3</sup> )	0,05	0,06
Pedra britada 1 (m <sup>3</sup> )	0,01	0,01
Pedra britada 2 (m <sup>3</sup> )	0,03	0,04
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 Mpa) (Kg)	15,0	18,0
Barra de aço CA-50 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m) (Kg)	1,89	1,89
Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 80 mm / vão livre: 3,50 m / peso próprio: 205 Kgf/m <sup>2</sup> / sobrecarga: 150 Kgf/m <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> )	1,00	-
Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 120 mm / vão livre: 3,00 m / peso próprio: 215 Kgf/m <sup>2</sup> / sobrecarga: 150 Kgf/m <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> )	-	1,00
Prego 18 x 27 com cabeça (diâmetro da cabeça: 3,4 mm / comprimento: 62,1 mm) (Kg)	0,03	0,03
Pontalete 3ª construção (seção transversal: 3" x 3" / tipo de madeira: cedro) (m)	1,71	1,86
Sarrafo 1" x 4" (altura: 100 mm / espessura: 25 mm) (m)	0,97	1,03
Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm) (m)	0,56	0,62
Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 KW), capacidade 400 l - vida útil 10.000 h (h prod.)	0,01	0,02

Fonte: Adaptado de TCPO (2008).

### 3.3.2 Custos dos insumos

A determinação dos custos unitários dos insumos utilizados nas composições de custo unitário criadas foi feita através de pesquisa de mercado. Nos insumos diretamente relacionados com *steel deck* (fôrmas e arremates), foi utilizada a cotação fornecida pela empresa Metform, fabricante do perfil. Quanto aos outros insumos foi feita pesquisa via telefone com empresas da região. Ainda, quanto à mão-de-obra foram adotados os valores mínimos do Sindicato dos Trabalhadores da Construção Civil (SINTRACOM) da região de Pato Branco, acrescidos da porcentagem de encargos complementares para horistas considerada pelo Sistema Nacional de Preços de Insumos (SINAPI).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados alcançados através da metodologia explicada acima. Inicialmente, é mostrado o dimensionamento tanto das lajes mistas *steel deck* quanto das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as suas respectivas situações de projeto consideradas. Após isso, são apresentadas as composições de custo unitário criadas. Ainda, são mostrados os preços unitários utilizados como base. Ao final, são mostradas análises e comparativos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Conforme explicado anteriormente, o dimensionamento tanto das lajes mistas *steel deck* quanto das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas foi feito através das tabelas dos fabricantes, mostradas nos Anexos A e B. Em ambos os casos, sabendo-se os valores de vão livre e de carga sobreposta total atuantes nas lajes, foi possível se determinar as características das mesmas.

É importante destacar que, para os dois tipos de laje consideradas, houveram algumas situações de projeto nas quais duas ou mais possibilidades de dimensionamento foram consideradas, isto por não ser possível saber qual seria a mais viável economicamente nesta etapa do trabalho. Abaixo são mostradas as Tabelas 6 e 7 com o dimensionamento dos dois tipos de laje.



**Tabela 6 – Dimensionamento das lajes mistas *steel deck* para as situações de projeto consideradas**

SIT. DE PROJ.	VÃO LIVRE (m)	CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )	ESP. DA FÔRMA (mm)	ESP. TOTAL (mm)	ESCORAMENTO (cm)
A1	2,0	1,0	0,80	130	Não necessário
A2	2,0	2,0	0,80	130	Não necessário
A3	2,0	3,0	0,80	130	Não necessário
A4	2,0	4,0	0,80	130	Não necessário
A5	2,0	5,0	0,80	130	Não necessário
A6	2,0	6,0	0,80	130	Não necessário
B1	3,0	1,0	0,80 0,95	130 130	c/ 150 Não necessário
B2	3,0	2,0	0,80 0,95	130 130	c/ 150 Não necessário
B3	3,0	3,0	0,80 0,95	130 130	c/ 150 Não necessário
B4	3,0	4,0	0,80 0,95	130 130	c/ 150 Não necessário
B5	3,0	5,0	0,80 0,95	160 130	c/ 150 Não necessário
B6	3,0	6,0	0,80 0,95 1,25	180 150 130	c/ 150 c/ 150 Não necessário
C1	4,0	1,0	0,80	130	c/ 200
C2	4,0	2,0	0,80 0,95	180 130	c/ 134 c/ 200
C3	4,0	3,0	0,95 1,25	180 130	c/ 200 c/ 200
C4	4,0	4,0	1,25	150	c/ 200
C5	4,0	5,0	1,25	180	c/ 200
C6	4,0	6,0	1,25	200	c/ 200

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 7 – Dimensionamento das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas**

SIT. DE PROJ.	VÃO LIVRE (m)	CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )	TIPO DE TRELIÇA	Nº DE BARRAS DE REFORÇO	DIÂMETRO DAS BARRAS DE REFORÇO (mm)
A1	2,0	1,0	TR8644	Não necessário	Não necessário
A2	2,0	2,0	TR8644	1	4,20
A3	2,0	3,0	TR8644	2	4,20
B1	3,0	1,0	TR8644	2	4,20
B2	3,0	2,0	TR8644	4	4,20
B3	3,0	3,0	TR8644	3	6,30
C1	4,0	1,0	TR8644 TR12645	3 2	5,00 4,20
C2	4,0	2,0	TR12645	4	4,20
C3	4,0	3,0	TR12645	4	5,00

Fonte: Autoria própria (2016).

Nas Tabelas 6 e 7 acima, é mostrado o dimensionamento tanto das lajes mistas *steel deck* quanto das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, de acordo com as situações de projeto consideradas. Na Tabela 6, as primeiras três colunas mostram as situações de projeto e seus respectivos vãos e sobrecargas, e as outras três colunas mostram as possibilidades de combinações entre espessura de chapa, espessura total da laje e necessidade ou não de escoramento. Ainda, as combinações entre as espessuras de chapa e total consideradas levaram em conta o fator econômico, uma vez que caso dois tipos de laje não necessitassem escoramento e tivessem a mesma espessura total, seria considerada apenas a menor espessura de fôrma.

Da mesma forma, na Tabela 7, as primeiras três colunas também mostram as situações de projeto e seus respectivos vãos e sobrecargas, mas nesta tabela as três últimas colunas relacionam as possibilidades de tipos de armações treliçadas, número de barras de reforço e diâmetro das barras de reforço necessárias.

## 4.2 CRIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DE CUSTO UNITÁRIO PRÓPRIAS

Conforme citado anteriormente, para a produção das composições de custo unitário próprias, foram utilizadas composições base, mostradas na íntegra no Anexo C. Nestas composições base foram feitas algumas modificações com o objetivo de adicionar alguns elementos faltantes e corrigir alguns valores. Abaixo são mostradas as modificações feitas nestas composições e, ao final de cada item, tabelas resumo das composições criadas neste trabalho.

### 4.2.1 Criação das composições de lajes mistas *steel deck*

#### 4.2.1.1 Arremates

Uma das principais modificações feitas sobre as composições base foi a adição dos arremates. Em entrevista feita com a Metform, foram obtidos coeficientes que estimam as quantidades de arremates necessários por área de laje. Os coeficientes repassados foram os seguintes:

- Arremates periféricos: 0,0565 m<sup>2</sup> de arremate por m linear de *steel deck*;
- Arremates de topo: 0,0132 m<sup>2</sup> de arremate por m linear de *steel deck*.

A partir dos valores obtidos, e considerando que a largura útil do modelo de *steel deck* adotado é de 82 cm, as quantidades adotadas de arremates por m<sup>2</sup> de laje foram as seguintes:

- Arremates periféricos: 0,0689 m<sup>2</sup> de arremate por m<sup>2</sup> de laje;
- Arremates de topo: 0,0161 m<sup>2</sup> de arremate por m<sup>2</sup> de laje.

A unidade “m<sup>2</sup>” referente aos arremates, considera a área de chapa metálica necessária para a produção do arremate, sendo o custo unitário utilizado neste trabalho para arremates dado em R\$/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.1.2 Armadura antifissuração

Outra modificação que foi feita nas composições base foi a mudança do tipo de armadura antifissuração considerada. Nas composições base, para todas as alturas de laje, era considerada a tela do tipo Q75. Entretanto, de acordo com manuais técnicos de fabricantes, para as alturas de 18 cm e de 20 cm são necessárias as telas Q113 e Q138, respectivamente. O coeficiente de quantidade de tela por m<sup>2</sup> de laje foi mantido igual ao das composições base.

De acordo com a NBR 7481 (ASSOCIAÇÃO..., 1990), a nomenclatura das telas eletrosoldadas segue a seguinte lógica: a letra “Q” indica que a área de aço das

armaduras longitudinal e transversal é igual; já o número que segue representa a área de aço em  $\text{cm}^2/\text{m}$ .

#### 4.2.1.3 Escoramento

Além das modificações feitas nas composições base de lajes mistas *steel deck*, também foram considerados os custos de eventuais escoramentos das lajes. Para isso, foi utilizada como referência uma composição de escoramento metálico para lajes, mostrada na íntegra no Anexo C, na qual o insumo de mão-de-obra foi mantido, mas os insumos referentes às longarinas e às escoras metálicas foram adaptados.

As situações para as quais foram considerados escoramentos metálicos se basearam no dimensionamento das lajes. A partir do dimensionamento, percebeu-se que as situações nas quais seria necessário estimar o custo do escoramento seriam três, sendo estas:

- Vão livre de 4,00 m – duas linhas de escoramento espaçadas a cada 1,34 m;
- Vão livre de 3,00 m – uma linha de escoramento no centro do vão com espaçamento de 1,50 m;
- Vão livre de 4,00 m – uma linha de escoramento no centro do vão com espaçamento de 2,00 m.

A partir das situações mostradas acima, foram estimadas as quantidades de madeira e de escoras partindo dos seguintes critérios: foi considerado que o espaçamento entre escoras seria de 1 m, que o percentual de perda de madeira seria de 10% e que as lajes seriam consideradas como sendo quadradas. Desta forma, sabendo-se a área da laje, a quantidade de escoras e a quantidade de madeira foi possível calcular os valores mostrados na Tabela 8 abaixo.

**Tabela 8 – Quantidades de madeira e de escoras por  $\text{m}^2$  de laje calculados em função das situações de projeto consideradas**

VÃO LIVRE (m)	DISTÂNCIA ENTRE LINHAS DE ESCORAMENTO (m)	NÚMERO DE LINHAS DE ESCORAMENTO	MADEIRA (m/m <sup>2</sup> )	ESCORAS (un./m <sup>2</sup> )
4,00	1,34	2	0,55	0,38
3,00	1,50	1	0,37	0,22
4,00	2,00	1	0,28	0,19

Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.2.1.4 Tabelas resumo das composições criadas para lajes mistas steel deck e para escoramentos

As Tabelas 9 e 10, mostradas abaixo, são resumos das composições para lajes mistas *steel deck* e para escoramentos metálicos de lajes produzidas neste trabalho. Os valores em vermelho representam as modificações feitas nas composições base.

Tabela 9 – Resumo das composições próprias para lajes mistas *steel deck* – unidade: m<sup>2</sup>

ESPESSURAS (mm)	MÃO-DE-OBRA (h)	STEEL DECK (m <sup>2</sup> )			TELA SOLDADA			CONC. 25 MPa (m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	ARREMATES (m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>				
		Fôrma	Total	Mont.	Pedr.	Serv.	0,80 mm		0,95 mm	1,25 mm	Q75	Q113	Q138
0,80	130	0,17	0,68	0,85	1,00	-	-	1,05	-	-	0,0925	0,0689	0,0161
0,95	130	0,20	0,68	0,88	-	1,00	-	1,05	-	-	0,0925	0,0689	0,0161
1,25	130	0,25	0,68	0,93	-	-	1,00	1,05	-	-	0,0925	0,0689	0,0161
0,80	150	0,17	0,73	0,85	1,00	-	-	1,05	-	-	0,1130	0,0689	0,0161
0,95	150	0,20	0,73	0,88	-	1,00	-	1,05	-	-	0,1130	0,0689	0,0161
1,25	150	0,17	0,82	0,85	-	-	1,00	1,05	-	-	0,1130	0,0689	0,0161
0,80	180	0,17	0,68	0,85	1,00	-	-	-	1,05	-	0,1430	0,0689	0,0161
0,95	180	0,20	0,82	0,88	-	1,00	-	-	1,05	-	0,1430	0,0689	0,0161
1,25	180	0,25	0,82	0,93	-	-	1,00	-	1,05	-	0,1430	0,0689	0,0161
0,80	200	0,17	0,90	0,85	1,00	-	-	-	-	1,05	0,1630	0,0689	0,0161
0,95	200	0,20	0,90	0,88	-	1,00	-	-	-	1,05	0,1630	0,0689	0,0161
1,25	200	0,25	0,90	0,93	-	-	1,00	-	-	1,05	0,1630	0,0689	0,0161

Fonte: Autoria própria (2016).

Nota: Mont. – montador; Pedr. – pedreiro; Serv. – servente; Conc. – concreto; Perif. – periférico.

**Tabela 10 – Resumo da composição própria de escoramento metálico para lajes – unidade: m<sup>2</sup>**

COMPONENTES	UNID.	VÃO LIVRE (m)		
		3,00	4,00	
		DISTÂNCIA ENTRE LINHAS DE ESCORAMENTO (m)		
		1,50	1,34	2,00
CONSUMOS				
Ajudante de carpinteiro	h	0,20	0,20	0,20
Escora metálica	loc/un/mês	0,22	0,38	0,19
Pontalete 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	0,37	0,55	0,28

Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.2.2 Criação das composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas

Para a produção das composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, os insumos referentes às vigotas e tabelas foram os únicos modificados. Nas composições base de lajes pré-moldadas, estes insumos eram apresentados em função do vão livre e da sobrecarga atuante na laje. Já nas composições criadas, os insumos foram apresentados em função do tipo de treliça, do número de barras de reforço, do diâmetro das barras de reforço e da altura das tabelas cerâmicas. Os coeficientes foram mantidos iguais aos das composições base. Ainda, para estas composições não foi necessário estimar o escoramento, uma vez que este já estava incluso nas composições base. Nas Tabelas 11 e 12, mostradas abaixo, são mostrados resumos das composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas utilizadas neste trabalho. Os valores em vermelho representam as modificações feitas com relação às composições base.

**Tabela 11 – Resumo das composições próprias para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliças do tipo TR08644 – unidade: m<sup>2</sup>**

COMPONENTES	UNID.	VÃO LIVRE (m)						
		2,0		3,0			4,0	
		CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )						
		1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0
CONSUMOS								
Carpinteiro	h	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Armador	h	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Pedreiro	h	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Servente	h	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
Areia média	m <sup>3</sup>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Cimento Portland CP II-E-32	Kg	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, sem reforço, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	1,00	-	-	-	-	-	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 1 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	1,00	-	-	-	-	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 2 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	-	1,00	1,00	-	-	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 4 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	1,00	-	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 3 $\phi$ 6,30 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	1,00	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 3 $\phi$ 5,00 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	1,00
Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 12 - Resumo das composições para lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliças do tipo TR12645 – unidade: m<sup>2</sup>**

COMPONENTES	UNID.	VÃO LIVRE (m)		
		4,0		
		CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )		
		1,0	2,0	3,0
CONSUMOS				
Carpinteiro	h	0,81	0,81	0,81
Armador	h	0,15	0,15	0,15
Pedreiro	h	0,47	0,47	0,47
Servente	h	2,10	2,10	2,10
Areia média	m <sup>3</sup>	0,06	0,06	0,06
Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,04
Cimento Portland CII-E-32	Kg	18,00	18,00	18,00
Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	1,89	1,89	1,89
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 2 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	m <sup>2</sup>	1,00	-	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 4 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	1,00	-
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 4 $\phi$ 5,00 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	m <sup>2</sup>	-	-	1,00
Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	0,03	0,03	0,03
Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	1,86	1,86	1,86
Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	1,03	1,03	1,03
Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	0,62	0,62	0,62
Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	0,02	0,02	0,02

Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.2.3 Levantamento de preços

Para a produção das composições de custo unitário utilizadas neste trabalho, foi necessária uma pesquisa de campo para a definição dos custos dos insumos que seriam utilizados. Conforme explicado no item 3.3.2 – Custos dos insumos, as fontes das quais estes valores foram retirados variam. Nas Tabelas 13, 14 e 15 abaixo são mostrados os preços obtidos, separados pelas composições nas quais foram utilizados.



Tabela 13 – Preços dos insumos utilizados nas composições de lajes mistas *steel deck*

INSUMO	FONTE	DATA	UN.	PREÇO
<b>Mão-de-obra</b>				
Profissional	SINTRACOM/SINAPI	04/05/2016	h	R\$ 15,77
Servente	SINTRACOM/SINAPI	04/05/2016	h	R\$ 11,18
<b>Steel deck</b>				
MF-75 - e = 0,80 mm	METFORM	29/04/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 55,65
MF-75 - e = 0,95 mm	METFORM	29/04/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 63,06
MF-75 - e = 1,25 mm	METFORM	29/04/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 79,93
<b>Telas soldadas</b>				
Q75	ARCELORMITTAL	03/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 6,25
Q113	ARCELORMITTAL	03/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 9,25
Q138	ARCELORMITTAL	03/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 11,14
<b>Concreto</b>				
Concreto 25 MPa, com bombeamento	HOBIMIX	05/05/2016	m <sup>3</sup>	R\$ 345,00
<b>Arremates</b>				
Arremate periférico em aço galvanizado	METFORM	29/04/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 74,40
Arremate de topo em aço galvanizado	METFORM	29/04/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 45,60

Fonte: Autoria própria (2016).

Tabela 14 – Preços dos insumos utilizados nas composições de escoramento metálico para lajes

INSUMO	FONTE	DATA	UN.	PREÇO
<b>Mão-de-obra</b>				
Servente	SINTRACOM/SINAPI	04/05/2016	h	R\$ 11,18
<b>Equipamentos</b>				
Escora metálica	LOCAMAIS	04/05/2016	mês	R\$ 3,70
<b>Madeira</b>				
Pontalete 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	ALBERTI	04/05/2016	m	R\$ 5,00

Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 15 – Preços dos insumos utilizados nas composições de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas**

<b>INSUMO</b>	<b>FONTE</b>	<b>DATA</b>	<b>UN.</b>	<b>PREÇO</b>
<b>Mão-de-obra</b>				
Profissional	SINTRACOM/SINAPI	04/05/2016	h	R\$ 15,77
Servente	SINTRACOM/SINAPI	04/05/2016	h	R\$ 11,18
<b>Outros materiais</b>				
Areia média	PATINHO	04/05/2016	m <sup>3</sup>	R\$ 126,00
Pedra britada	PATINHO	04/05/2016	m <sup>3</sup>	R\$ 52,00
Cimento Portland CII-E-32	VILA ROMANA	04/05/2016	Kg	R\$ 0,49
Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	VILA ROMANA	04/05/2016	Kg	R\$ 3,16
Prego 17x27 com cabeça	VILA ROMANA	04/05/2016	Kg	R\$ 6,15
<b>Vigotas e tabelas</b>				
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, sem reforço, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 30,45
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 1 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 31,75
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 2 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 33,01
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 4 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 35,54
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 3 $\phi$ 6,30 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 39,25
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR08644, reforço de 3 $\phi$ 5,00 mm, CA-60, tabelas com 7 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 36,20
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 2 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 44,35
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 4 $\phi$ 4,20 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 46,50
Laje pré-mold. com vigotas treliçadas, TR12645, reforço de 4 $\phi$ 5,00 mm, CA-60, tabelas com 11 cm de altura	PREMOLFORT	05/05/2016	m <sup>2</sup>	R\$ 49,28
<b>Madeira</b>				
Pontalete 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	ALBERTI	04/05/2016	m	R\$ 5,00
Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	ALBERTI	04/05/2016	m	R\$ 2,00
Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	VANZO	04/05/2016	m	R\$ 6,00
<b>Equipamentos</b>				
Betoneira elétrica / capacidade 400 l	JGS	04/05/2016	h prod.	R\$ 1,23

Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.2.4 Composições de custo unitário próprias

Nas Tabelas 16, 17, 18 e 19, mostradas nas próximas páginas, são apresentadas as composições de custo unitário de lajes mistas *steel deck*, sem escoramento, produzidas neste trabalho. As composições de escoramentos metálicos para lajes e de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas produzidas neste trabalho são mostradas na íntegra no Apêndice B, uma vez que são auxiliares para a obtenção dos objetivos.

Tabela 16 - Composição própria de laje mista *steel deck* com altura total de 13 cm

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UN.	R\$ UNIT.	ESPESSURA DA FÔRMA (mm)					
				0,80		0,95		1,25	
				CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Montador	h	R\$ 15,77	0,17	R\$ 2,68	0,20	R\$ 3,15	0,25	R\$ 3,94
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,68	R\$ 10,72	0,68	R\$ 10,72	0,68	R\$ 10,72
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	0,85	R\$ 9,50	0,88	R\$ 9,84	0,93	R\$ 10,40
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,80 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 55,65	1,00	R\$ 55,65	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,95 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 63,06	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 63,06	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 1,25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 79,93	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 79,93
ARCELORMITTAL	Tela soldada tipo Q75	m <sup>2</sup>	R\$ 6,25	1,05	R\$ 6,56	1,05	R\$ 6,56	1,05	R\$ 6,56
HOBIMIX	Concreto C25, incluindo bombeamento	m <sup>3</sup>	R\$ 345,00	0,0925	R\$ 31,91	0,0925	R\$ 31,91	0,0925	R\$ 31,91
METFORM	Arremates periféricos aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 74,40	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13
METFORM	Arremates de topo em aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 45,60	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73
				R\$ STEEL DECK	R\$ 55,65	R\$ STEEL DECK	R\$ 63,06	R\$ STEEL DECK	R\$ 79,93
				R\$ TELA	R\$ 6,56	R\$ TELA	R\$ 6,56	R\$ TELA	R\$ 6,56
				R\$ CONCRETO	R\$ 31,91	R\$ CONCRETO	R\$ 31,91	R\$ CONCRETO	R\$ 31,91
				R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86
				<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 99,99</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 107,40</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 124,27</b>
				<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 22,91</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 23,72</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 25,06</b>
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 122,89</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 131,11</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 149,33</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

Tabela 17 - Composição própria de laje mista *steel deck* com altura total de 15 cm

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UN.	R\$ UNIT.	ESPESSURA DA CHAPA (mm)					
				0,80		0,95		1,25	
				CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Montador	h	R\$ 15,77	0,17	R\$ 2,68	0,20	R\$ 3,15	0,17	R\$ 2,68
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,73	R\$ 11,51	0,73	R\$ 11,51	0,82	R\$ 12,93
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	0,85	R\$ 9,50	0,88	R\$ 9,84	0,85	R\$ 9,50
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,80 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 55,65	1,00	R\$ 55,65	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,95 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 63,06	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 63,06	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 1,25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 79,93	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 79,93
ARCELORMITTAL	Tela soldada tipo Q75	m <sup>2</sup>	R\$ 6,25	1,05	R\$ 6,56	1,05	R\$ 6,56	1,05	R\$ 6,56
HOBIMIX	Concreto C25, incluindo bombeamento	m <sup>3</sup>	R\$ 345,00	0,1130	R\$ 38,99	0,1130	R\$ 38,99	0,1130	R\$ 38,99
METFORM	Arremates periféricos aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 74,40	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13
METFORM	Arremates de topo em aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 45,60	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73
				R\$ STEEL DECK	R\$ 55,65	R\$ STEEL DECK	R\$ 63,06	R\$ STEEL DECK	R\$ 79,93
				R\$ TELA	R\$ 6,56	R\$ TELA	R\$ 6,56	R\$ TELA	R\$ 6,56
				R\$ CONCRETO	R\$ 38,99	R\$ CONCRETO	R\$ 38,99	R\$ CONCRETO	R\$ 38,99
				R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86
				<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 107,06</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 114,47</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 131,34</b>
				<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 23,70</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 24,50</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 25,12</b>
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 130,75</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 138,97</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 156,45</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

Tabela 18 – Composição própria de laje mista *steel deck* com altura total de 18 cm

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UN.	R\$ UNIT.	ESPESSURA DA CHAPA (mm)					
				0,80		0,95		1,25	
				CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Montador	h	R\$ 15,77	0,17	R\$ 2,68	0,20	R\$ 3,15	0,25	R\$ 3,94
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,68	R\$ 10,72	0,82	R\$ 12,93	0,82	R\$ 12,93
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	0,85	R\$ 9,50	0,88	R\$ 9,84	0,93	R\$ 10,40
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,80 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 55,65	1,00	R\$ 55,65	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,95 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 63,06	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 63,06	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 1,25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 79,93	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 79,93
ARCELORMITTAL	Tela soldada tipo Q75	m <sup>2</sup>	R\$ 9,25	1,05	R\$ 9,71	1,05	R\$ 9,71	1,05	R\$ 9,71
HOBIMIX	Concreto C25, incluindo bombeamento	m <sup>3</sup>	R\$ 345,00	0,1430	R\$ 49,34	0,1430	R\$ 49,34	0,1430	R\$ 49,34
METFORM	Arremates periféricos aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 74,40	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13
METFORM	Arremates de topo em aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 45,60	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73
				R\$ STEEL DECK	R\$ 55,65	R\$ STEEL DECK	R\$ 63,06	R\$ STEEL DECK	R\$ 79,93
				R\$ TELA	R\$ 9,71	R\$ TELA	R\$ 9,71	R\$ TELA	R\$ 9,71
				R\$ CONCRETO	R\$ 49,34	R\$ CONCRETO	R\$ 49,34	R\$ CONCRETO	R\$ 49,34
				R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86
				<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 120,56</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 127,97</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 144,84</b>
				<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 22,91</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 25,92</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 27,27</b>
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 143,47</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 153,89</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 172,11</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

Tabela 19 – Composição própria de laje mista *steel deck* com altura total de 20 cm

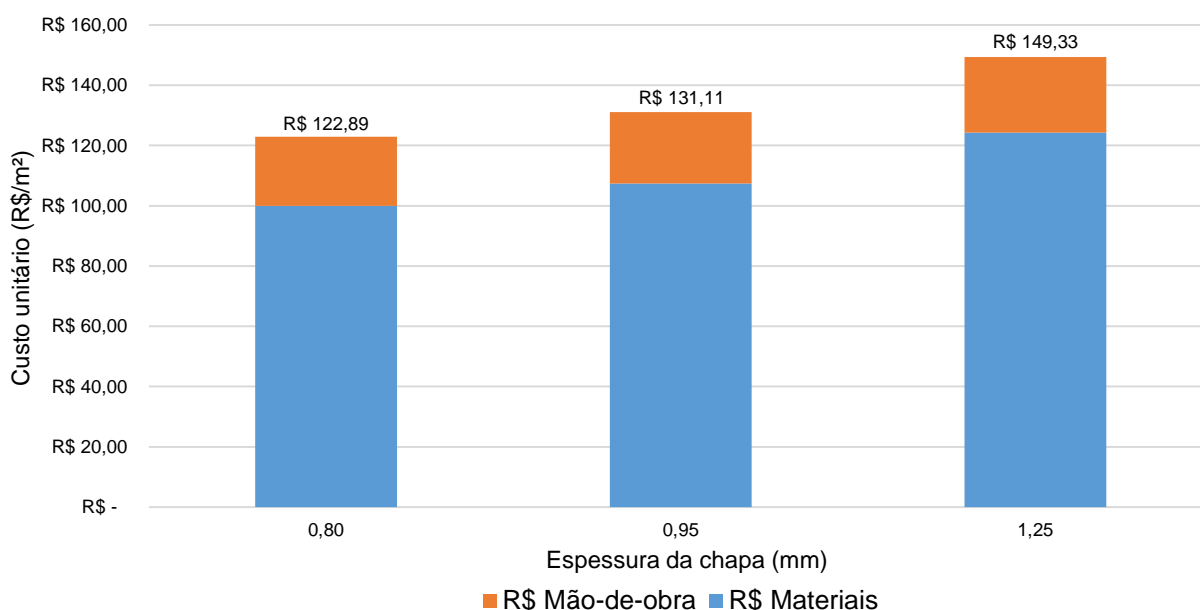
REFERÊNCIA	COMPONENTES	UN.	R\$ UNIT.	ESPESSURA DA CHAPA (mm)					
				0,80		0,95		1,25	
				CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Montador	h	R\$ 15,77	0,17	R\$ 2,68	0,20	R\$ 3,15	0,25	R\$ 3,94
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,90	R\$ 14,19	0,90	R\$ 14,19	0,90	R\$ 14,19
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	0,85	R\$ 9,50	0,88	R\$ 9,84	0,93	R\$ 10,40
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,80 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 55,65	1,00	R\$ 55,65	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 0,95 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 63,06	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 63,06	0,00	R\$ -
METFORM	<i>Steel deck</i> MF-75 - espessura = 1,25 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 79,93	0,00	R\$ -	0,00	R\$ -	1,00	R\$ 79,93
ARCELORMITTAL	Tela soldada tipo Q75	m <sup>2</sup>	R\$ 11,14	1,05	R\$ 11,70	1,05	R\$ 11,70	1,05	R\$ 11,70
HOBIMIX	Concreto C25, incluindo bombeamento	m <sup>3</sup>	R\$ 345,00	0,1630	R\$ 56,24	0,1630	R\$ 56,24	0,1630	R\$ 56,24
METFORM	Arremates periféricos aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 74,40	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13	0,0689	R\$ 5,13
METFORM	Arremates de topo em aço galvanizado	m <sup>2</sup>	R\$ 45,60	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73	0,0161	R\$ 0,73
				R\$ STEEL DECK	R\$ 55,65	R\$ STEEL DECK	R\$ 63,06	R\$ STEEL DECK	R\$ 79,93
				R\$ TELA	R\$ 11,70	R\$ TELA	R\$ 11,70	R\$ TELA	R\$ 11,70
				R\$ CONCRETO	R\$ 56,24	R\$ CONCRETO	R\$ 56,24	R\$ CONCRETO	R\$ 56,24
				R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86	R\$ ARREMATES	R\$ 5,86
				<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 129,44</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 136,85</b>	<b>R\$ TOTAL MAT.</b>	<b>R\$ 153,72</b>
				<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 26,38</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 27,19</b>	<b>R\$ TOTAL M.O.</b>	<b>R\$ 28,53</b>
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 155,82</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 164,04</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 182,26</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

### 4.3 ANÁLISES E COMPARATIVOS

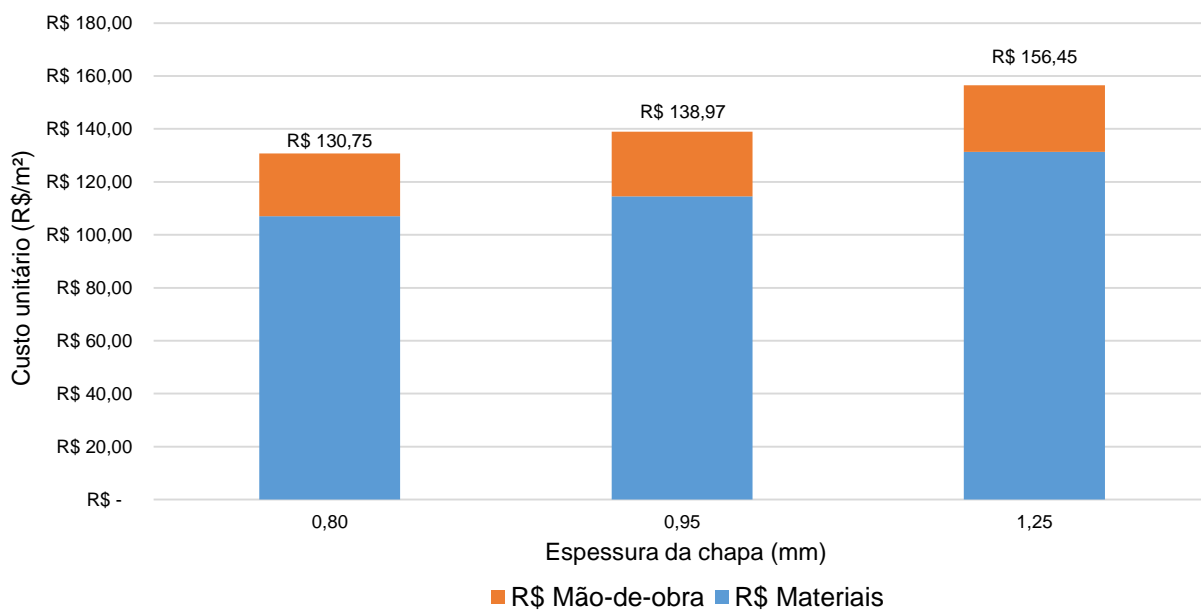
#### 4.3.1 Custos das lajes mistas *steel deck* de acordo com suas espessuras

Nesta seção serão mostrados os custos unitários obtidos para as lajes mistas *steel deck*. São aqui apresentados gráficos que relacionam os custos unitários deste tipo de laje com suas respectivas espessuras das fôrmas e espessuras totais. Os Gráficos 1, 2, 3 e 4 mostram os custos unitários por m<sup>2</sup> de lajes mistas *steel deck* sem escoramento para espessuras de 13, 15, 18 e 20 cm, respectivamente, variando em função da espessura da fôrma. As Tabelas 16, 17, 18 e 19 nas quais estes gráficos se basearam, que foram produzidas conforme explicado anteriormente, são mostradas na íntegra no Item 4.2.4 – Composições de custo unitário próprias.

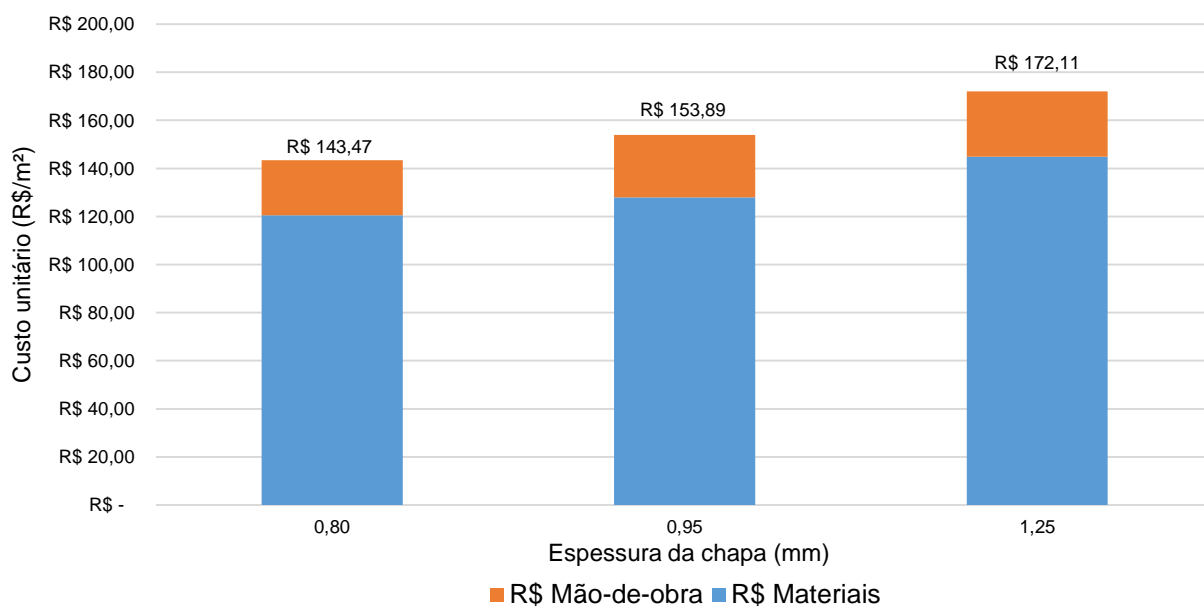


**Gráfico 1 – Custos unitários das lajes mistas *steel deck* com 13 cm de espessura total**  
Fonte: Autoria própria (2016).

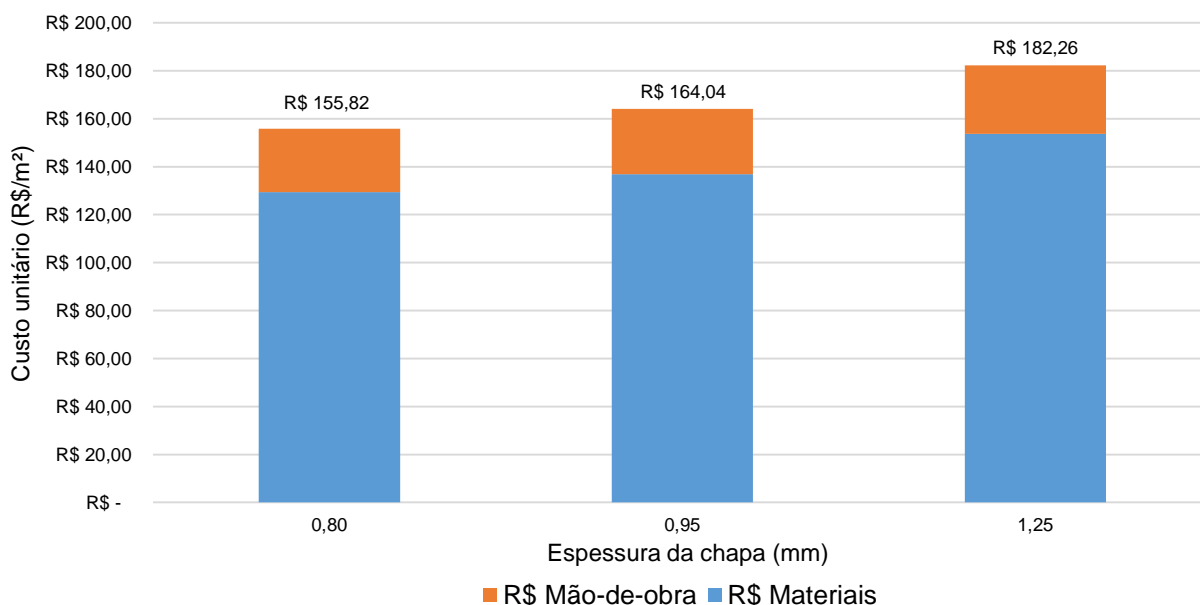




**Gráfico 2 – Custos unitários das lajes mistas *steel deck* com 15 cm de espessura total**  
Fonte: Autoria própria (2016).

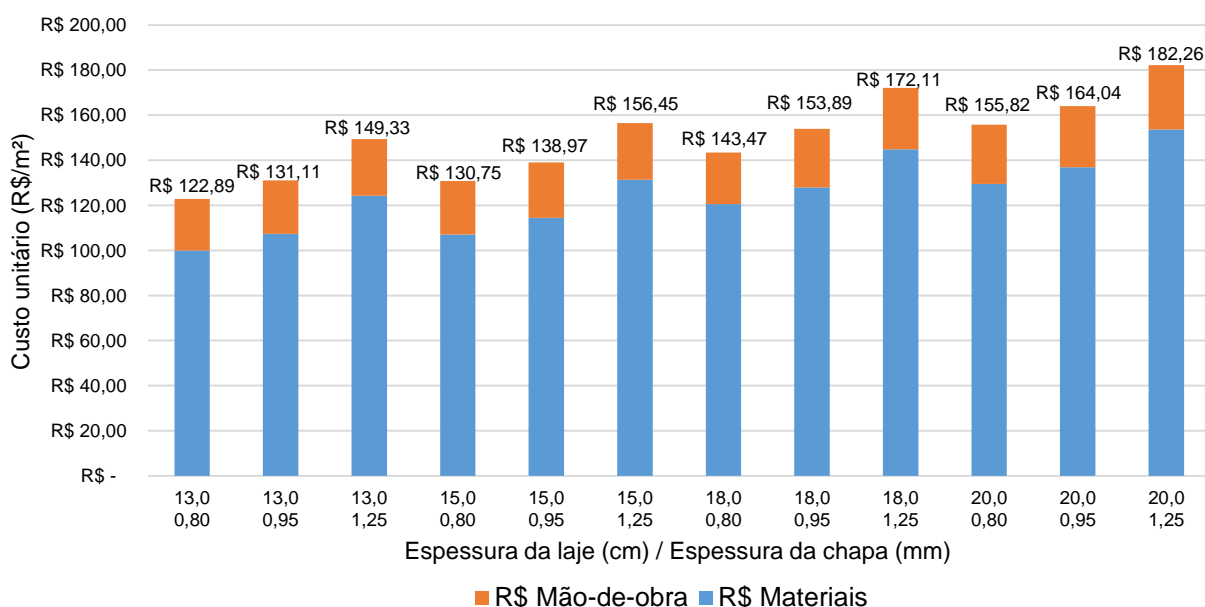


**Gráfico 3 – Custos unitários das lajes mistas *steel deck* com 18 cm de espessura total**  
Fonte: Autoria própria (2016).



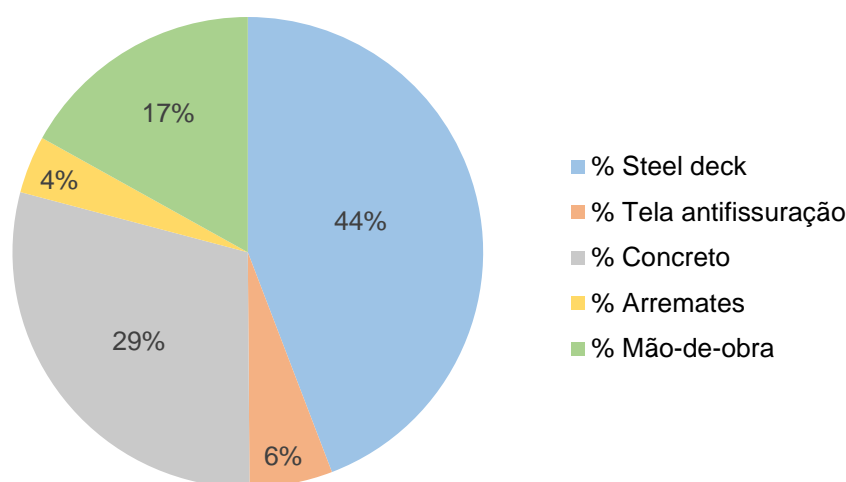
**Gráfico 4 - Custos unitários das lajes mistas *steel deck* com 20 cm de espessura total**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Analisando os gráficos acima, observa-se que os custos aumentam gradativamente com o aumento das espessuras da fôrma e total. Ainda, o Gráfico 5 resume os dados dos gráficos anteriores, mostrando um panorama geral de como os custos aumentam em função do aumento das espessuras da laje.



**Gráfico 5 – Resumos dos custos unitários das lajes mistas *steel deck*, de acordo com suas dimensões**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

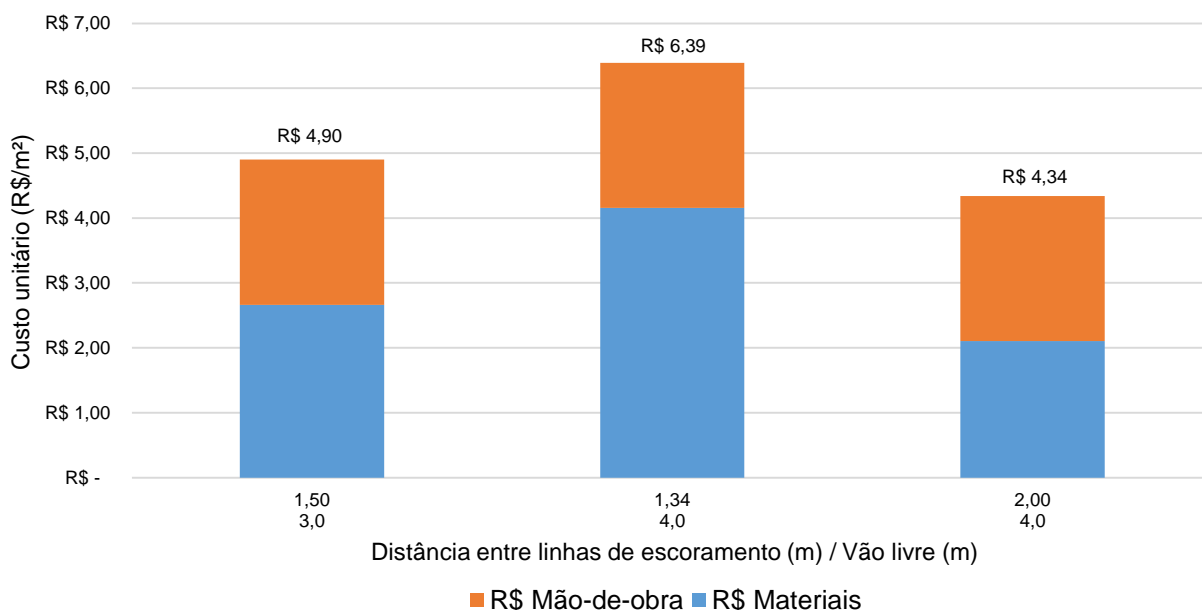
Outra informação que pôde ser retirada das composições unitárias produzidas, foi a proporção média dos custos por insumos das lajes mistas *steel deck*. A partir das Tabelas 16, 17, 18 e 19 mostradas no item 4.2.4 – Composições de custo unitário próprias, foi possível estimar o custo referente à cada insumo presente nas lajes mistas *steel deck*. No Gráfico 6, é possível observar que quase metade do custo deste tipo de laje, se dá devido ao custo da fôrma metálica, respondendo por 41 % do custo total. Ainda, os custos do concreto e da mão-de-obra também são muito significativos, representando 29 e 17 % do custo total, respectivamente.



**Gráfico 6 – Proporção média de custos por insumos das lajes mistas *steel deck***  
Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.3.2 Custos dos escoramentos metálicos para lajes

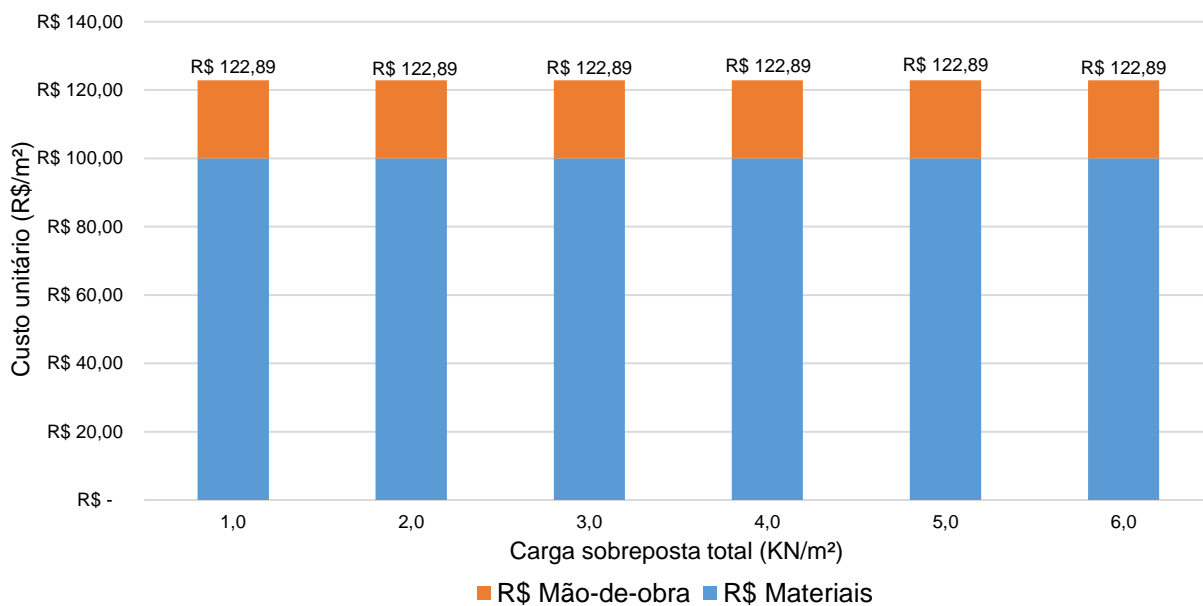
Conforme explicado anteriormente, para a produção das composições de custo unitário para lajes mistas *steel deck*, se fez necessária a utilização de uma composição unitária de escoramento metálico para lajes, a qual foi modificada para se adaptar às lajes mistas *steel deck* em estudo. O Gráfico 7 mostra os custos destes escoramentos nas três situações consideradas.



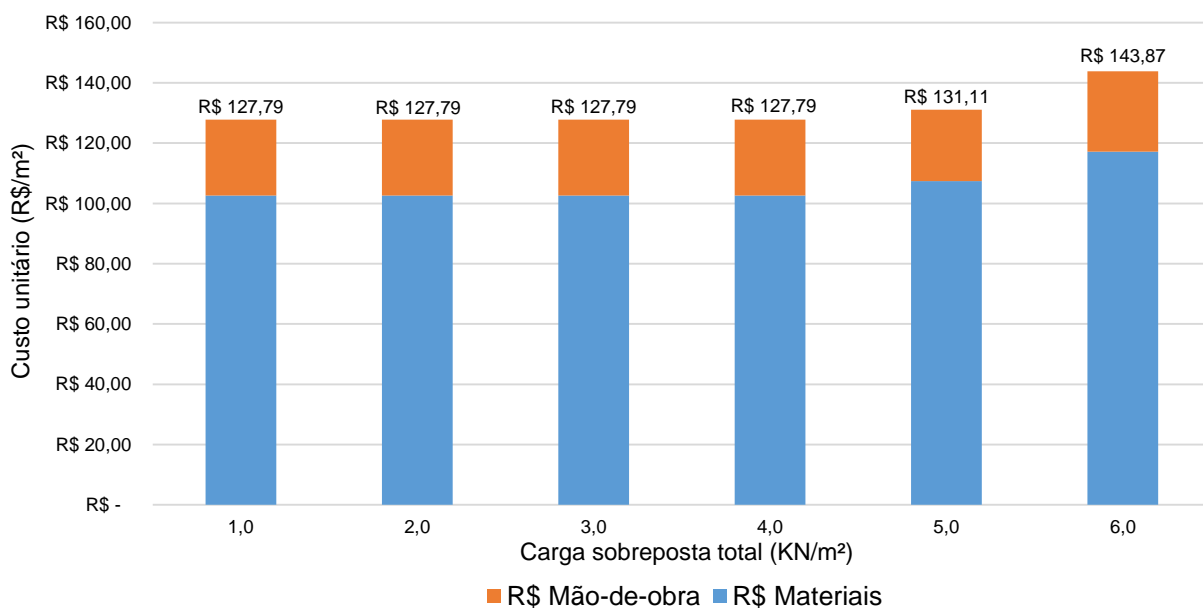
**Gráfico 7 – Resumo dos custos dos escoramentos metálicos para lajes**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

#### 4.3.3 Custos das lajes mistas *steel deck* de acordo com as situações de projeto consideradas

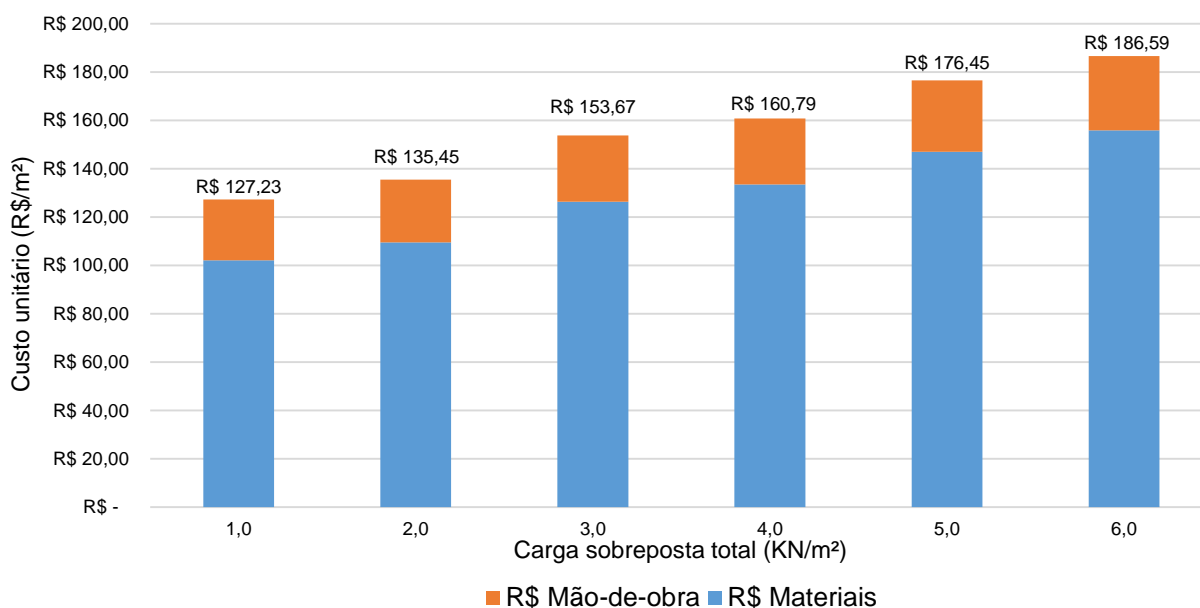
Utilizando-se do dimensionamento das lajes mistas *steel deck* para as situações de projeto consideradas e, somando-se os valores de custos unitários das lajes mistas *steel deck* com os custos unitários dos escoramentos, quando necessários, foi possível estimar o custo destas lajes para as situações de projeto consideradas. Nos Gráficos 8, 9 e 10 é possível observar os resultados obtidos para os vãos livres de 2, 3 e 4 m, respectivamente. Ainda, no Apêndice C são mostradas na íntegra as tabelas nas quais estes gráficos se basearam.



**Gráfico 8 – Resumo de custos das lajes mistas *steel deck* para vãos livres de 2 m**  
 Fonte: Autoria própria (2016).

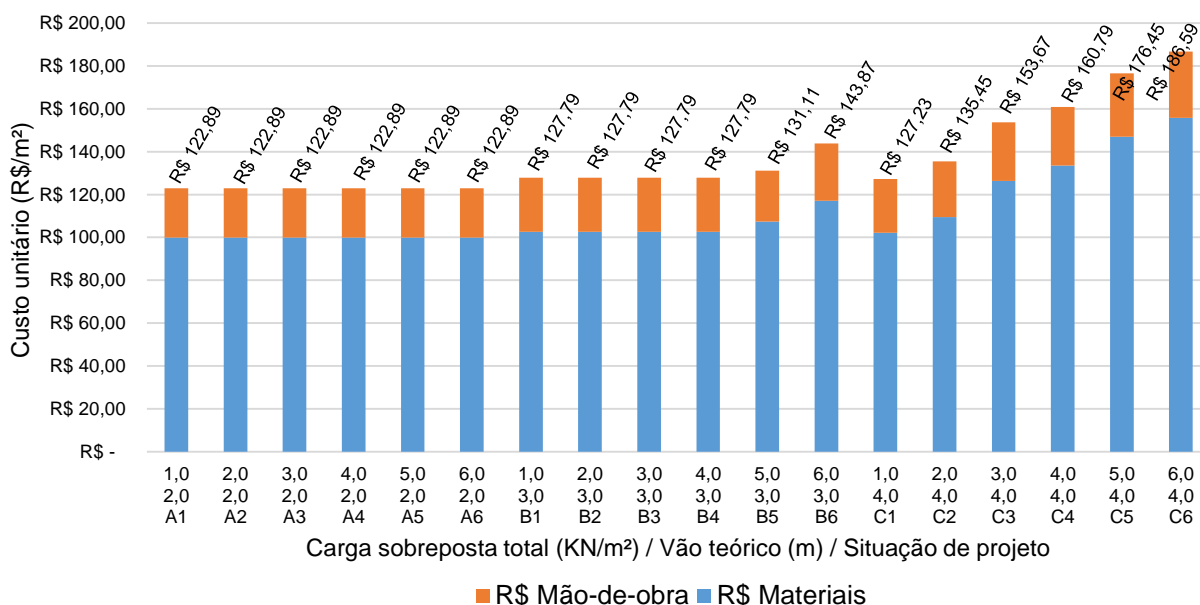


**Gráfico 9 – Resumo de custos das lajes mistas *steel deck* para vãos livres de 3 m**  
 Fonte: Autoria própria (2016).



**Gráfico 10 – Resumo de custos das lajes mistas *steel deck* para vãos livres de 4 m**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

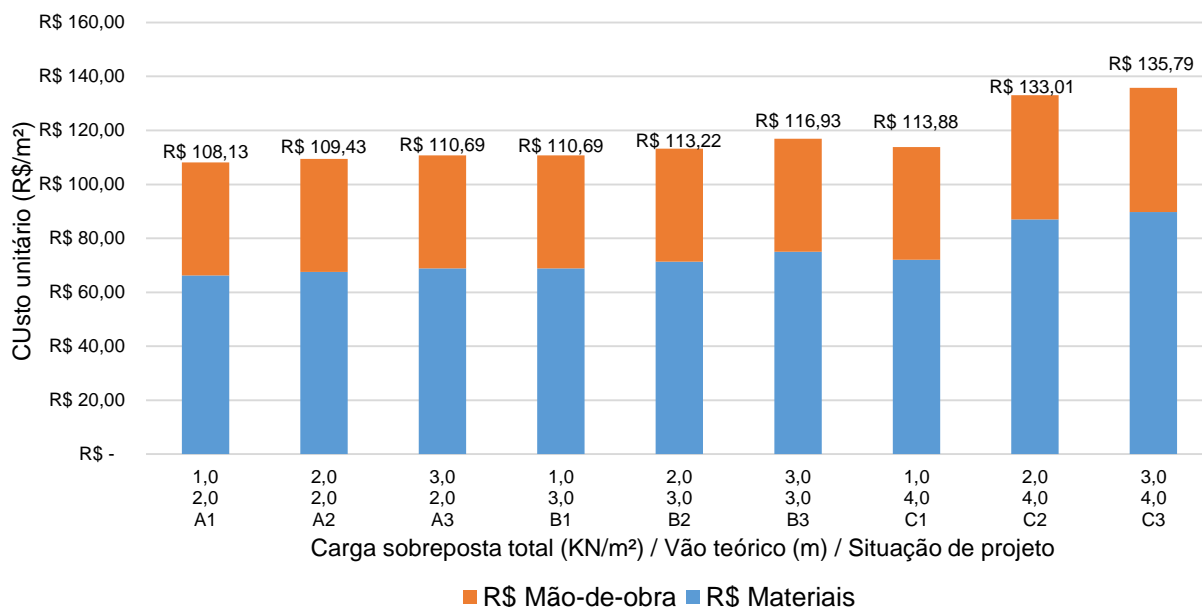
Nos Gráficos 8, 9 e 10, é possível observar a variação dos custos das lajes mistas *steel deck* à medida que o vão e a sobrecarga a que as mesmas eram submetidas aumentavam. No Gráfico 8, observa-se que o custo das lajes se manteve o mesmo para as diferentes cargas sobrepostas atuantes. Isso se deve ao fato de que o dimensionamento das lajes para os vãos de 2 m, em todas as situações, resultou na menor espessura de fôrma, na menor altura de laje e na não necessidade de escoramento. Já no Gráfico 9, observa-se um pequeno aumento de custo com o aumento da carga sobreposta. Da mesma forma, no Gráfico 10 é possível observar um aumento ainda maior no custo das lajes com o aumento da carga sobreposta. No Gráfico 11 pode-se observar um resumo dos dados mostrados nos Gráficos 8, 9 e 10.



**Gráfico 11 – Resumo dos custos das lajes mistas *steel deck* de acordo com as situações de projeto consideradas**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

#### 4.3.4 Custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas

Através das composições utilizadas e das situações de projeto consideradas, foi possível determinar os custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para fins de comparação com as lajes mistas *steel deck*. O Gráfico 12 mostra um resumo dos custos unitários obtidos, através das composições de custo unitário que são mostradas na íntegra no Apêndice B.

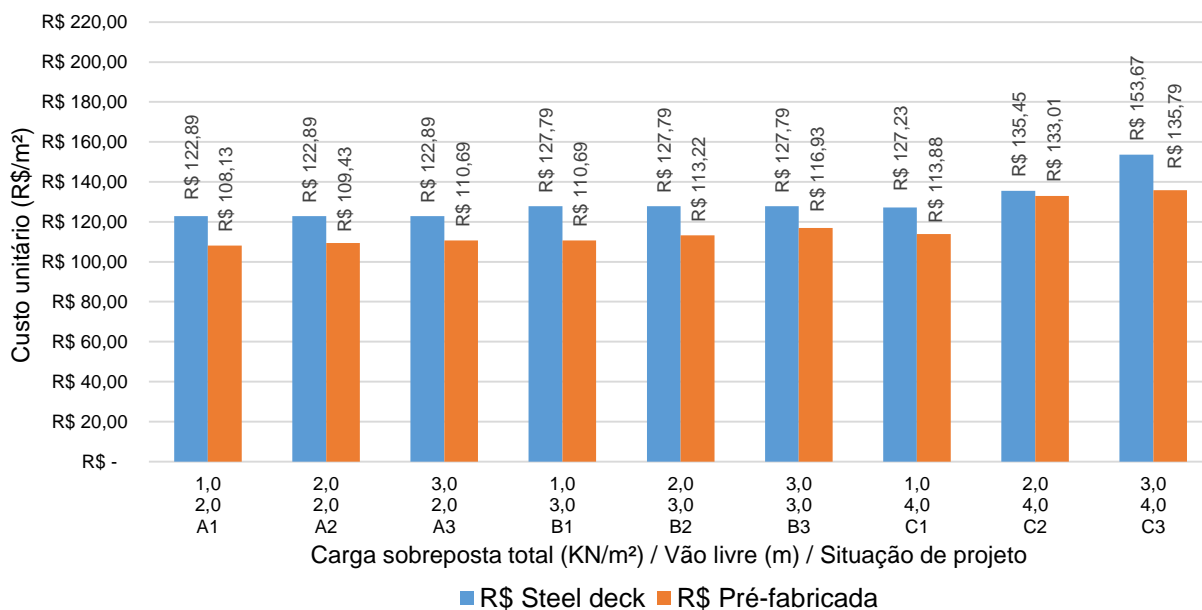


**Gráfico 12 – Resumo dos custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas de acordo com as situações de projeto consideradas**  
 Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.3.5 Comparativos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas

Nesta seção são mostrados comparativos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas. No Gráfico 13, é possível observar a diferença de custo em valores absolutos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas. A partir deste gráfico, é possível observar que em todas as situações consideradas as lajes mistas *steel deck* se mostraram mais caras que as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.



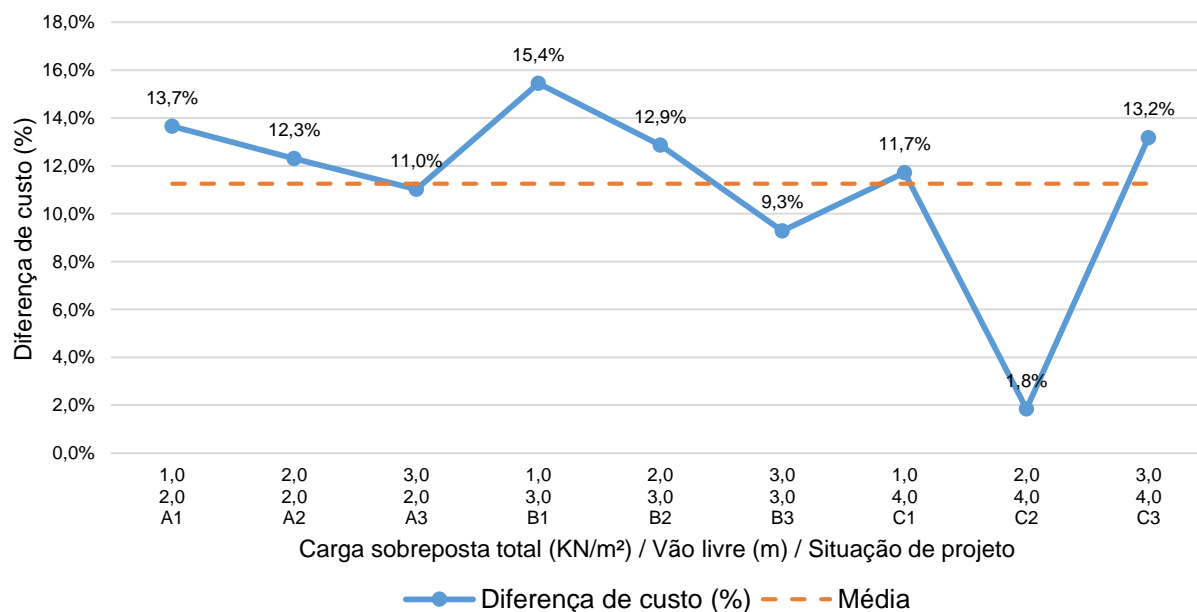


**Gráfico 13 – Comparativo de custos entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas nas situações de projeto consideradas**  
 Fonte: Autoria própria (2016).

**Tabela 20 – Diferença de custo entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas**

SITUAÇÃO DE PROJETO	STEEL DECK	PRÉ-MOLDADA	DIFERENÇA
A1	R\$ 122,89	R\$ 108,13	13,7%
A2	R\$ 122,89	R\$ 109,43	12,3%
A3	R\$ 122,89	R\$ 110,69	11,0%
<b>B1</b>	<b>R\$ 127,79</b>	<b>R\$ 110,69</b>	<b>15,4%</b>
B2	R\$ 127,79	R\$ 113,22	12,9%
B3	R\$ 127,79	R\$ 116,93	9,3%
C1	R\$ 127,23	R\$ 113,88	11,7%
<b>C2</b>	<b>R\$ 135,45</b>	<b>R\$ 133,01</b>	<b>1,8%</b>
C3	R\$ 153,67	R\$ 135,79	13,2%
	<b>MÉDIA</b>		<b>11,3%</b>

Fonte: Autoria própria (2016).



**Gráfico 14 – Diferença de custo, em %, entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas para as situações de projeto consideradas**  
 Fonte: Autoria própria (2016).

A Tabela 20 e o Gráfico 14 mostram a diferença de custo entre as lajes mistas *steel deck* e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, para as situações de projeto consideradas. Nota-se que a maior diferença se deu na situação de projeto B1, com 1 KN/m<sup>2</sup> de carga sobreposta total e 3 m de vão livre, sendo as lajes em *steel deck* 15,4 % mais caras. Já para a situação C2, com 2 KN/m<sup>2</sup> de carga sobreposta total e 4 m de vão livre, esta diferença foi de apenas 1,8 %. A diferença média observada foi de 11,3 %.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o crescimento da indústria da construção civil no Brasil, e buscando gerar uma contribuição no que diz respeito aos fatores de qualidade e eficiência durante a fase de execução da obra, este trabalho apresentou um método construtivo desconhecido no país, o qual ainda não foi introduzido de forma consistente no Brasil.

Ainda, na região sudoeste do Paraná, o setor da construção civil carece de métodos construtivos inovadores a fim de obter-se uma melhor produtividade, qualidade e eficiência e, em consequência disso, uma maior economia dos recursos financeiros.

Assim, buscando contribuir com a melhoria na construção civil, este trabalho apresentou o conceito das lajes mistas *steel deck* como sendo a combinação estrutural de dois elementos: a fôrma metálica e o concreto. Além disso, este trabalho também mostrou algumas das características deste sistema, como a não necessidade de remoção das fôrmas, a redução ou até eliminação dos apoios temporários e uma maior velocidade de produção da laje.

Desta forma, com o conceito das lajes mistas *steel deck* definido, foram realizadas pesquisas com fabricantes e construtores brasileiros deste tipo de laje, juntamente com pesquisas em normas e manuais técnicos brasileiros e internacionais, com o intuito de definir como estas lajes são construídas. A partir disso, observou-se que sua construção é também muito simples: as fôrmas são simplesmente apoiadas sobre as vigas e ligadas provisoriamente a estas últimas para garantir a sua estabilidade durante a concretagem; após isso são posicionados os arremates, as armaduras adicionais e, eventualmente, os conectores de cisalhamento; e finalmente é realizada a concretagem.

Quanto ao dimensionamento das lajes mistas *steel deck* observou-se que este pode ser dividido em duas etapas: a fase inicial, que ocorre durante a etapa de montagem, até que o concreto atinja 75 % de sua resistência de projeto, e a fase final, que ocorre durante a fase de utilização da laje. Na fase inicial, o dimensionamento deve seguir os parâmetros da NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), pois se trata de um perfil formado a frio. Já na fase final, o dimensionamento deve seguir os critérios das normas NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) e NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

Ainda, foram produzidas composições de custo unitário para estas lajes. Para isso, foram utilizadas como base composições encontradas na TCPO (2008). Nestas composições, foram mantidos os coeficientes relativos à mão-de-obra, porém foram feitas algumas modificações, como a mudança nos tipos de armaduras antifissuração e a inclusão dos arremates. Quanto aos custos unitários dos insumos, os mesmos foram obtidos tanto de empresas fabricantes de *steel deck* quanto de fontes locais.

A partir destas composições, foi possível concluir que a maior parcela do custo direto das lajes mistas *steel deck* é referente à fôrma metálica. Quanto a isso, pode-se afirmar que, uma vez que a produção das fôrmas metálicas ocorresse em maior escala, o custo deste tipo de laje seria reduzido consideravelmente. Ainda, foi possível observar também, com relação às lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, para todas as situações de projeto consideradas, que as lajes mistas *steel deck* se mostraram um pouco mais caras.

A aplicação das lajes mistas *steel deck* no setor da construção civil é morosa, pois se trata de um conceito novo, pouco difundido no Brasil e com desempenho e custos ainda desconhecidos por muitos. Da mesma forma, alguns aspectos foram percebidos durante o desenvolvimento deste trabalho que talvez sejam responsáveis pela dificuldade de introdução deste sistema no país, sendo estes: a falta de trabalhos acadêmicos a respeito do assunto, a falta de normas específicas, a necessidade de uma maior especialização da mão-de-obra e o alto custo das fôrmas de aço.

Por fim, alguns aspectos não foram abordados neste trabalho e são sugeridos como assuntos para trabalhos futuros: análise de custos indiretos envolvidos no processo construtivo, análise de viabilidade da utilização do sistema para empreendimentos de diferentes portes e, por fim, diferenças no processo de dimensionamento das lajes mistas *steel deck* entre as normas brasileiras e internacionais.

## REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Manual Técnico de Lajes Trelaçadas**. 2010. 42p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA; CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (ABCEM). **Perfil dos Fabricantes de Telhas de Aço e Steel Deck**: Resumo Executivo – Pesquisa 2014. São Paulo, 2014. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7481**: Tela de aço soldada - Armadura para concreto, Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifício, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio, Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 14859**: Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 2: Lajes bidirecionais, Rio de Janeiro, 2002a.

\_\_\_\_\_. **NBR 14862**: Armaduras trelaçadas eletrossoldadas - Requisitos, Rio de Janeiro, 2002b.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.

BONINI, Stefani do Nascimento. **Lajes mistas *steel deck*: estudo comparativo com lajes maciças de concreto armado quanto ao dimensionamento estrutural**. 2013. 111 p. TCC - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

**BRAAÇOS Soluções em *Steel deck*, Estacas Prancha, Telhas Metálicas Onduladas e Trapezoidal**. [Internet] Betim, Minas Gerais. Disponível em: <http://www.braacos.com.br/>. Acesso em: 10 de maio de 2016.

BRAGANÇA, Antonio Carlos. Fôrmas-laje de aço e concreto. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 49 Nov. 2000

BRANDALISE, Guilherme Meurer; WESSLING, Luan Ives. **Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Paraná, Brasil**. 2015. 103p. TCC – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

BRENDOLAN, Gianluca. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes com fôrma de aço incorporada**. 2007. 160p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

CAMPOS, Paulo César de. **Efeito da continuidade no comportamento e na resistência de lajes mistas com fôrma de aço incorporada**. 2001. 157p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

*CANADIAN SHEET STEEL BUILDING INSTITUTE. CSSBI S2-2008: Criteria for the Testing of Composite Slabs*. Ontario, 2008.

CANAM. **Steel Deck**. Saint-Gédéon, Beauce, Canadá, 2006. 38p.

CARVALHO, Roberto Chust ; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de ; FURLAN JUNIOR, Sydney ; MESQUITA, Vitor. Escolha da altura de lajes com nervuras pré-moldadas para pavimentos de edificações considerando as verificações do estado limite último e de deformação excessiva.. In: **XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural**, 2000, Punta Del Este.

CICHINELLI, Gisele. Veja os procedimentos de execução de lajes em *steel deck* **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 211 Out. 2014

DE NARDIN, Silvana. **Estudo teórico-experimental de pilares mistos compostos por tubos de aço preenchidos com concreto de alta resistência.** 1999. 148p. Dissertação – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 1999.

SOUZA, Djaniro Álvaro de. **Estruturas mistas de aço e concreto.** In: 56 CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2014, Natal.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 4:** Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2004.

FLORIO, Márcio Cardozo. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado.** 2004. 240p. Dissertação – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção.** 1997. 112p. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Luciano Carvalhais. **Estudo do sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada empregando concreto estrutural leve.** 2001. 186p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **pesquisa anual da indústria da construção.** vol. 13. 2013 Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#economia](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#economia)>. Acesso em: 16 nov. 2015.

MAGALHÃES, Fábio Lopes. **Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada.** 2001. 172p. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MBP. **Catálogo Steel Deck MBP.** Barra do Piraí: Mbp, [20--] 12p.

METFORM. **Manual Técnico:** Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem. Betim, 2007. 77p.

PERFILOR S. A. **Polydeck 59S**: Guia de montagem. São Paulo, 2015. 8p.

REIS, Lucas Vinícius Nogueira dos. **Lajes mistas com fôrma de aço incorporada**: aplicações, dimensionamento e metodologia de análise numérica. 2012. 79p. TCC – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

ROSS, Charles. *Steel deck: an evolution*. **Modern steel construction**, Chicago, Set. 2002. Seção *Product Highlights*.

SAÚDE, Jorge ; RAIMUNDO, Duarte ; PROLA, Luís Carlos ; PIERIN, Igor . Lajes Mistas: Aspectos Construtivos e Respectivas Recomendações do Eurocódigo 4. In: **Congresso Latino-Americano da Construção Metálica**, 2006, São Paulo. Construmetal 2006, 2006. p. 1-10.

SILVA, Henrique José Ferreira da. **Análise do sistema de laje mista com fôrma de aço incorporada aplicado a estruturas prediais em concreto armado**. 1999. 149p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

SILVA, Henrique José Ferreira da. Utilização de lajes mistas com fôrma de aço incorporada em estruturas de concreto armado. In: **SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO**, p. 1-18, São Paulo, 2000.

SILVA, Raphael da. Projeto de produção para construção metálica aplicado em lajes mistas *steel deck*. In: **Congresso Latino-Americano Da Construção Metálica Construmetal**, 2010, São Paulo.

SPUTO, Thomas. *Development of Composite Steel Deck*. **Structure Magazine**, p. 30-31, Aug. 2012.

STARK, J. W. B.; BREKELMANS, J. W. P. M. *Plastic design of continuous composite slabs*. **Journal of Constructional Steel Research**. vol. 15, p. 23-47, 1990 .

**STEEL DECK INSTITUTE (SDI)**. **SDI Manual of construction with steel deck**. 2 ed. Fox River Grove, IL: MOC2, 2006.

TCPO, Tabelas de composições de preços para orçamentos. 13. ed. São Paulo: PINI, 2008. 640 p.



TRISTÃO, Gustavo Alves; MUNAIAR NETO, Jorge. Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica. **Cadernos de engenharia de estruturas**. São Carlos, v. 7, n. 23, p. 121-144, 2005.

## APÉNDICE A

## QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA AS ENTREVISTAS COM EMPRESAS DA ÁREA DE *STEEL DECK*

1. Qual a área de trabalho da empresa com relação ao *steel deck*? Produção de chapas metálicas ou trabalham também com a execução das lajes?
2. Nas obras em que a sua empresa atua, quais as funções mais comuns da edificação (ex.: shoppings, indústrias, etc.)?
3. Usualmente, quais os tipos de revestimentos utilizados na chapa de *steel deck* para gerar um melhor acabamento e/ou durabilidade?
4. Nas regiões de contornos de pilares, que armaduras são utilizadas e como elas são dispostas na laje?
5. Nas regiões dos apoios do *steel deck* nas vigas, que armaduras são utilizadas e como elas são dispostas na laje?
6. Quais os tipos de arremates utilizados em suas obras? São aqueles fornecidos pelos fabricantes, ou a empresa adota alguma solução diferente?
7. Ainda quanto aos arremates, como é feita a estimativa da quantidade de arremates necessários? Vocês têm algum coeficiente de quantidade de arremates por área de *steel deck*?
8. Vocês já fizeram alguma obra com *steel deck* apoiado sobre vigas de concreto armado? É comum este tipo de obra em sua região?
9. Quanto às ligações, como é feita a fixação do *steel deck* na estrutura, tanto em estruturas metálicas quanto em estruturas de concreto?
10. Como é feita a ligação lateral entre as peças, e também entre o *steel deck* e os arremates?
11. Quanto ao processo construtivo utilizado por sua empresa, quantos trabalhadores geralmente estão envolvidos em cada frente de trabalho? Qual a classificação de cada um deles quanto à sua experiência e qualificação?
12. Vocês têm informações quanto à produtividade do processo de montagem? Quantos m<sup>2</sup> são montados por dia, em média, nos diferentes tipos de obras? Como a produtividade varia segundo os vãos médios a serem vencidos?

**APÉNDICE B**

## Composição própria de laje pré-moldada com vigotas treliçadas, utilizando treliças TR08644 (Parte 1)

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)			
				2,0			
				CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m²)			
				1,0		2,0	
CONS.	R\$ TOTAL	CONS.	R\$ TOTAL				
SINTRACOM / SINAPI	Carpinteiro	h	R\$ 15,77	0,73	11,51	0,73	11,51
SINTRACOM / SINAPI	Armador	h	R\$ 15,77	0,15	2,37	0,15	2,37
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,44	6,94	0,44	6,94
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	1,88	21,02	1,88	21,02
PATINHO	Areia média	m³	R\$ 126,00	0,0489	6,16	0,0489	6,16
PATINHO	Pedra britada 1	m³	R\$ 52,00	0,0111	0,58	0,0111	0,58
PATINHO	Pedra britada 2	m³	R\$ 52,00	0,0332	1,73	0,0332	1,73
VILA ROMANA	Cimento Portland CP II-E-32	Kg	R\$ 0,49	15,00	7,35	15,00	7,35
VILA ROMANA	Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	R\$ 3,16	1,89	5,97	1,89	5,97
PREMOLFORT	TR8644, sem reforço, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 30,45	1,00	30,45	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 1 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 31,75	0,00	0,00	1,00	31,75
PREMOLFORT	TR8644, 2 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 33,01	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 4 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 35,54	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 6,3 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 39,25	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 5,0 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 36,20	0,00	0,00	0,00	0,00
VILA ROMANA	Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	R\$ 6,15	0,03	0,18	0,03	0,18
ALBERTI	Pontalete 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	1,71	8,55	1,71	8,55
ALBERTI	Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 2,00	0,97	1,94	0,97	1,94
VANZO	Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 6,00	0,56	3,36	0,56	3,36
JGS	Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	R\$ 1,23	0,0123	0,02	0,0123	0,02
				R\$ MAT.	R\$ 66,29	R\$ MAT.	R\$ 67,59
				R\$ M.O.	R\$ 41,85	R\$ M.O.	R\$ 41,85
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 108,13</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 109,43</b>

**Composição própria de laje pré-moldada com vigotas treliçadas, utilizando treliças TR08644 (Parte 2)**

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)				
				2,0		3,0		
				CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m²)				
				3,0	1,0	3,0	1,0	
				CONS.	R\$ TOTAL	CONS.	R\$ TOTAL	
SINTRACOM / SINAPI	Carpinteiro	h	R\$ 15,77	0,73	11,51	0,73	11,51	
SINTRACOM / SINAPI	Armador	h	R\$ 15,77	0,15	2,37	0,15	2,37	
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,44	6,94	0,44	6,94	
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	1,88	21,02	1,88	21,02	
PATINHO	Areia média	m³	R\$ 126,00	0,0489	6,16	0,0489	6,16	
PATINHO	Pedra britada 1	m³	R\$ 52,00	0,0111	0,58	0,0111	0,58	
PATINHO	Pedra britada 2	m³	R\$ 52,00	0,0332	1,73	0,0332	1,73	
VILA ROMANA	Cimento Portland CP II-E-32	Kg	R\$ 0,49	15,00	7,35	15,00	7,35	
VILA ROMANA	Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	R\$ 3,16	1,89	5,97	1,89	5,97	
PREMOLFORT	TR8644, sem reforço, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 30,45	0,00	0,00	0,00	0,00	
PREMOLFORT	TR8644, 1 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 31,75	0,00	0,00	0,00	0,00	
PREMOLFORT	TR8644, 2 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 33,01	1,00	33,01	1,00	33,01	
PREMOLFORT	TR8644, 4 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 35,54	0,00	0,00	0,00	0,00	
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 6,3 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 39,25	0,00	0,00	0,00	0,00	
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 5,0 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 36,20	0,00	0,00	0,00	0,00	
VILA ROMANA	Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	R\$ 6,15	0,03	0,18	0,03	0,18	
ALBERTI	Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	1,71	8,55	1,71	8,55	
ALBERTI	Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 2,00	0,97	1,94	0,97	1,94	
VANZO	Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 6,00	0,56	3,36	0,56	3,36	
JGS	Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	R\$ 1,23	0,0123	0,02	0,0123	0,02	
					R\$ MAT.	R\$ 68,85	R\$ MAT.	R\$ 68,85
					R\$ M.O.	R\$ 41,85	R\$ M.O.	R\$ 41,85
					<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 110,69</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 110,69</b>

**Composição própria de laje pré-moldada com vigotas treliçadas, utilizando treliças TR08644 (Parte 3)**

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)			
				3,0			
				CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m <sup>2</sup> )			
				2,0		3,0	
		CONS.	R\$ TOTAL	CONS.	R\$ TOTAL		
SINTRACOM / SINAPI	Carpinteiro	h	R\$ 15,77	0,73	11,51	0,73	11,51
SINTRACOM / SINAPI	Armador	h	R\$ 15,77	0,15	2,37	0,15	2,37
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,44	6,94	0,44	6,94
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	1,88	21,02	1,88	21,02
PATINHO	Areia média	m <sup>3</sup>	R\$ 126,00	0,0489	6,16	0,0489	6,16
PATINHO	Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	R\$ 52,00	0,0111	0,58	0,0111	0,58
PATINHO	Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	R\$ 52,00	0,0332	1,73	0,0332	1,73
VILA ROMANA	Cimento Portland CP II-E-32	Kg	R\$ 0,49	15,00	7,35	15,00	7,35
VILA ROMANA	Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	R\$ 3,16	1,89	5,97	1,89	5,97
PREMOLFORT	TR8644, sem reforço, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 30,45	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 1 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 31,75	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 2 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 33,01	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 4 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 35,54	1,00	35,54	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 6,3 mm, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 39,25	0,00	0,00	1,00	39,25
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 5,0 mm, e tabelas com h = 7 cm	m <sup>2</sup>	R\$ 36,20	0,00	0,00	0,00	0,00
VILA ROMANA	Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	R\$ 6,15	0,03	0,18	0,03	0,18
ALBERTI	Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	1,71	8,55	1,71	8,55
ALBERTI	Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 2,00	0,97	1,94	0,97	1,94
VANZO	Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 6,00	0,56	3,36	0,56	3,36
JGS	Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	R\$ 1,23	0,0123	0,02	0,0123	0,02
				R\$ MAT.	R\$ 71,38	R\$ MAT.	R\$ 75,09
				R\$ M.O.	R\$ 41,85	R\$ M.O.	R\$ 41,85
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 113,22</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 116,93</b>

## Composição própria de laje pré-moldada com vigotas treliçadas, utilizando treliças TR08644 (Final)

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)	
				4,0	
				CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m²)	
				1,0	
				CONS.	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Carpinteiro	h	R\$ 15,77	0,73	11,51
SINTRACOM / SINAPI	Armador	h	R\$ 15,77	0,15	2,37
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,44	6,94
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	1,88	21,02
PATINHO	Areia média	m³	R\$ 126,00	0,0489	6,16
PATINHO	Pedra britada 1	m³	R\$ 52,00	0,0111	0,58
PATINHO	Pedra britada 2	m³	R\$ 52,00	0,0332	1,73
VILA ROMANA	Cimento Portland CP II-E-32	Kg	R\$ 0,49	15,00	7,35
VILA ROMANA	Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	R\$ 3,16	1,89	5,97
PREMOLFORT	TR8644, sem reforço, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 30,45	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 1 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 31,75	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 2 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 33,01	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 4 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 35,54	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 6,3 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 39,25	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR8644, 3 φ 5,0 mm, e tabelas com h = 7 cm	m²	R\$ 36,20	1,00	36,20
VILA ROMANA	Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	R\$ 6,15	0,03	0,18
ALBERTI	Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	1,71	8,55
ALBERTI	Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 2,00	0,97	1,94
VANZO	Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 6,00	0,56	3,36
JGS	Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	R\$ 1,23	0,0123	0,02
				R\$ MAT.	R\$ 72,04
				R\$ M.O.	R\$ 41,85
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 113,88</b>

Fonte: Autoria própria (2016).



## Composição própria de laje pré-moldada com vigotas treliçadas, utilizando treliças TR12645

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)					
				4,0					
				CARGA SOBREPOSTA TOTAL (KN/m²)					
				1,0		2,0		3,0	
CONS.	R\$ TOTAL	CONS.	R\$ TOTAL	CONS.	R\$ TOTAL				
SINTRACOM / SINAPI	Carpinteiro	h	R\$ 15,77	0,81	12,78	0,81	12,78	0,81	12,78
SINTRACOM / SINAPI	Armador	h	R\$ 15,77	0,15	2,37	0,15	2,37	0,15	2,37
SINTRACOM / SINAPI	Pedreiro	h	R\$ 15,77	0,47	7,41	0,47	7,41	0,47	7,41
SINTRACOM / SINAPI	Servente	h	R\$ 11,18	2,10	23,48	2,10	23,48	2,10	23,48
PATINHO	Areia média	m³	R\$ 126,00	0,0600	7,56	0,0600	7,56	0,0600	7,56
PATINHO	Pedra britada 1	m³	R\$ 52,00	0,0136	0,71	0,0136	0,71	0,0136	0,71
PATINHO	Pedra britada 2	m³	R\$ 52,00	0,0408	2,12	0,0408	2,12	0,0408	2,12
VILA ROMANA	Cimento Portland CP II-E-32	Kg	R\$ 0,49	18,00	8,82	18,00	8,82	18,00	8,82
VILA ROMANA	Barra de aço CA-50, diâmetro de 6,30 mm	Kg	R\$ 3,16	1,89	5,97	1,89	5,97	1,89	5,97
PREMOLFORT	TR12645, 2 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 11 cm	m²	R\$ 44,35	1,00	44,35	0,00	0,00	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR12645, 4 φ 4,2 mm, e tabelas com h = 11 cm	m²	R\$ 46,50	0,00	0,00	1,00	46,50	0,00	0,00
PREMOLFORT	TR12645, 4 φ 5,0 mm, e tabelas com h = 11 cm	m²	R\$ 49,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	49,28
VILA ROMANA	Prego 17 x 27 com cabeça	Kg	R\$ 6,15	0,03	0,18	0,03	0,18	0,03	0,18
ALBERTI	Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	1,86	9,30	1,86	9,30	1,86	9,30
ALBERTI	Sarrafo 1" x 4" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 2,00	1,03	2,06	1,03	2,06	1,03	2,06
VANZO	Tábua 1" x 12" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 6,00	0,62	3,72	0,62	3,72	0,62	3,72
JGS	Betoneira elétrica / capacidade 400 l	h prod.	R\$ 1,23	0,0153	0,02	0,0153	0,02	0,0153	0,02
				R\$ MAT.	R\$ 84,81	R\$ MAT.	R\$ 86,96	R\$ MAT.	R\$ 89,74
				R\$ M.O.	R\$ 46,04	R\$ M.O.	R\$ 46,04	R\$ M.O.	R\$ 46,04
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 130,86</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 133,01</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 135,79</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

## Composição própria de escoramento metálico para lajes

REFERÊNCIA	COMPONENTES	UNID.	R\$ UNIT.	VÃO LIVRE (m)					
				3,00		4,00			
				DISTÂNCIA ENTRE LINHAS DE ESCORAMENTO (m)					
				1,50		1,34		2,00	
				CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL	CONSUMOS	R\$ TOTAL
SINTRACOM / SINAPI	Ajudante de carpinteiro	h	R\$ 11,18	0,2	R\$ 2,24	0,2	R\$ 2,24	0,2	R\$ 2,24
LOCAMAIS	Escora metálica com capacidade de carga de até 1500 Kgf	loc/un/mês	R\$ 3,70	0,22	R\$ 0,81	0,38	R\$ 1,41	0,19	R\$ 0,70
ALBERTI	Pontaletes 3" x 3" / tipo de madeira: pinus	m	R\$ 5,00	0,37	R\$ 1,85	0,55	R\$ 2,75	0,28	R\$ 1,40
				R\$ MADEIRA	R\$ 1,85	R\$ MADEIRA	R\$ 2,75	R\$ MADEIRA	R\$ 1,40
				R\$ ESCORAS	R\$ 0,81	R\$ ESCORAS	R\$ 1,41	R\$ ESCORAS	R\$ 0,70
				<b>R\$ MAT.</b>	<b>R\$ 2,66</b>	<b>R\$ MAT.</b>	<b>R\$ 4,16</b>	<b>R\$ MAT.</b>	<b>R\$ 2,10</b>
				<b>R\$ M.O.</b>	<b>R\$ 2,24</b>	<b>R\$ M.O.</b>	<b>R\$ 2,24</b>	<b>R\$ M.O.</b>	<b>R\$ 2,24</b>
				<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 4,90</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 6,39</b>	<b>R\$ TOTAL</b>	<b>R\$ 4,34</b>

Fonte: Autoria própria (2016).

## APÉNDICE C

Resumo dos custos das lajes mistas *steel deck*, de acordo com as situações de projeto consideradas (Parte 1)

SITUAÇÃO DE PROJETO ##	DIMENSIONAMENTO			CUSTO UNITÁRIO			MENOR CUSTO UNITÁRIO		
	ESPESSUR A (mm)	ALTUR A TOTAL (mm)	ESCORAMENT O (cm)	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL
A1	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
A2	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
A3	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
A4	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
A5	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
A6	0,80	130	Não necessário	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89	R\$ 99,99	R\$ 22,91	R\$ 122,89
B1	0,80	130	c/ 150	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79
	0,95	130	Não necessário	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11			
B2	0,80	130	c/ 150	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79
	0,95	130	Não necessário	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11			
B3	0,80	130	c/ 150	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79
	0,95	130	Não necessário	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11			
B4	0,80	130	c/ 150	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79	R\$ 102,65	R\$ 25,14	R\$ 127,79
	0,95	130	Não necessário	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11			
B5	0,80	180	c/ 150	R\$ 123,22	R\$ 25,14	R\$ 148,37	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11
	0,95	130	Não necessário	R\$ 107,40	R\$ 23,72	R\$ 131,11			

Resumo dos custos das lajes mistas *steel deck*, de acordo com as situações de projeto consideradas (Final)

SITUAÇÃO DE PROJETO ##	DIMENSIONAMENTO			CUSTO UNITÁRIO			MENOR CUSTO UNITÁRIO		
	ESPESSUR A (mm)	ALTUR A TOTAL (mm)	ESCORAMENT O (cm)	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL
B6	0,80	180	c/ 150	R\$ 123,22	R\$ 25,14	R\$ 148,37	R\$ 117,13	R\$ 26,74	R\$ 143,87
	0,95	150	c/ 150	R\$ 117,13	R\$ 26,74	R\$ 143,87			
	1,25	130	Não necessário	R\$ 124,27	R\$ 25,06	R\$ 149,33			
C1	0,80	130	c/ 200	R\$ 102,09	R\$ 25,14	R\$ 127,23	R\$ 102,09	R\$ 25,14	R\$ 127,23
C2	0,80	180	c/ 134	R\$ 124,71	R\$ 25,14	R\$ 149,86	R\$ 109,50	R\$ 25,95	R\$ 135,45
	0,95	130	c/ 200	R\$ 109,50	R\$ 25,95	R\$ 135,45			
C3	0,95	180	c/ 200	R\$ 130,07	R\$ 28,16	R\$ 158,23	R\$ 126,37	R\$ 27,30	R\$ 153,67
	1,25	130	c/ 200	R\$ 126,37	R\$ 27,30	R\$ 153,67			
C4	1,25	150	c/ 200	R\$ 133,44	R\$ 27,35	R\$ 160,79	R\$ 133,44	R\$ 27,35	R\$ 160,79
C5	1,25	180	c/ 200	R\$ 146,94	R\$ 29,51	R\$ 176,45	R\$ 146,94	R\$ 29,51	R\$ 176,45
C6	1,25	200	c/ 200	R\$ 155,83	R\$ 30,77	R\$ 186,59	R\$ 155,83	R\$ 30,77	R\$ 186,59

Fonte: Autoria própria (2016).

## Resumo dos custos das lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, de acordo com as situações de projeto consideradas

SITUAÇÃO DE PROJETO ##	DIMENSIONAMENTO			CUSTO UNITÁRIO			MENOR CUSTO UNITÁRIO		
	TIPO DE TRELIÇA A	NÚMERO DE BARRAS DE REFORÇO	DIÂMETRO (mm)	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL	R\$ TOTAL MAT.	R\$ TOTAL M.O.	R\$ TOTAL
A1	TR8644	Não necessário	Não necessário	R\$ 66,29	R\$ 41,85	R\$ 108,13	R\$ 66,29	R\$ 41,85	R\$ 108,13
A2	TR8644	1	4,20	R\$ 67,59	R\$ 41,85	R\$ 109,43	R\$ 67,59	R\$ 41,85	R\$ 109,43
A3	TR8644	2	4,20	R\$ 68,85	R\$ 41,85	R\$ 110,69	R\$ 68,85	R\$ 41,85	R\$ 110,69
B1	TR8644	2	4,20	R\$ 68,85	R\$ 41,85	R\$ 110,69	R\$ 68,85	R\$ 41,85	R\$ 110,69
B2	TR8644	4	4,20	R\$ 71,38	R\$ 41,85	R\$ 113,22	R\$ 71,38	R\$ 41,85	R\$ 113,22
B3	TR8644	3	6,30	R\$ 75,09	R\$ 41,85	R\$ 116,93	R\$ 75,09	R\$ 41,85	R\$ 116,93
C1	TR8644	3	5,00	R\$ 72,04	R\$ 41,85	R\$ 113,88	R\$ 72,04	R\$ 41,85	R\$ 113,88
	TR1264 5	2	4,20	R\$ 84,81	R\$ 46,04	R\$ 130,86			
C2	TR1264 5	4	4,20	R\$ 86,96	R\$ 46,04	R\$ 133,01	R\$ 86,96	R\$ 46,04	R\$ 133,01
C3	TR1264 5	4	5,00	R\$ 89,74	R\$ 46,04	R\$ 135,79	R\$ 89,74	R\$ 46,04	R\$ 135,79

Fonte: Autoria própria (2016).

**ANEXO A**

**STEEL DECK MF-75****Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas ( kN/m<sup>2</sup> )**Aço ZAR-280 -  $f_y = 280$  MPa

Espes- sura (mm)	Vãos Máximos Sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> )	Momento Inércia (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	Vãos da Laje Mista com Steel Deck MF-75 ( mm )															
	Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balanço (mm)			2.000	2.100	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000	4.250
<b>130</b>																						
0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29	0,88
0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00	1,53
1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42	2,82
<b>140</b>																						
0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44	0,99
0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23	1,70
1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81	3,14
<b>150</b>																						
0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59	1,09
0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45	1,88
1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19	3,46
<b>160</b>																						
0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73	1,20
0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68	2,06
1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58	3,78
<b>170</b>																						
0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88	1,30
0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91	2,23
1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	4,09
<b>180</b>																						
0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03	1,41
0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14	2,41
1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35	4,41
<b>190</b>																						
0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18	1,52
0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36	2,59
1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	4,73
<b>200</b>																						
0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33	1,62
0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59	2,77
1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12	5,05

Tabela de dimensionamento do steel deck MF-75 da Metform

Fonte: Metform (2007)



**ANEXO B**

### Tabela de armaduras adicionais

Enchimento = Bloco Cermico (Altura = 7 cm) - Distância entre linhas de escoras = 1,10 m												
Modelo	Designação		Altura da laje	Altura capa	Consumo de			Peso próprio				
TB 8L	TR08644		11 cm	4 cm	53 litros/m <sup>2</sup>			176 Kg/m <sup>2</sup>				
Cargas acidentais kgf/m <sup>2</sup>												
	50 Kg/m <sup>2</sup>	100 Kg/m <sup>2</sup>	150 Kg/m <sup>2</sup>	200 Kg/m <sup>2</sup>	250 Kg/m <sup>2</sup>	300 Kg/m <sup>2</sup>	350 Kg/m <sup>2</sup>	400 Kg/m <sup>2</sup>	450 Kg/m <sup>2</sup>	500 Kg/m <sup>2</sup>	550 Kg/m <sup>2</sup>	600 Kg/m <sup>2</sup>
1.20												
1.40												1 Ø 4,2
1.60								1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2
1.80					1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2
2.00				1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0
2.20			1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2
2.40		1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	2 Ø 6,0	1 Ø 10,0
2.60	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0
2.80	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 6,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5
3.00	1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16
3.20	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	3 Ø 6,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16
3.40	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	
3.60	2 Ø 5,0	1 Ø 5/16	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	2 Ø 10,0				
3.80	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5								
4.00	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0										
Capa	Tela Belgo Q61			Tela Belgo Q75				Tela Belgo Q92				

Tabela de dimensionamento de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliça do tipo TR08644

Fonte: Arcelormittal (2010).

### Tabela de armaduras adicionais

Enchimento = Bloco Cerâmico (Altura = 12 cm) - Distância entre linhas de escoras = 1,40 m

Vão livre (m)	Modelo	Designação	Altura da laje	Altura capa	Consumo de concreto		Cargas acidentais kgf/m <sup>2</sup>					Peso próprio						
	TB 12M	TR12645	16 cm	4 cm	66 litros/m <sup>2</sup>							229 Kgf/m <sup>2</sup>						
							50 Kg/m <sup>2</sup>	100 Kg/m <sup>2</sup>	150 Kg/m <sup>2</sup>	200 Kg/m <sup>2</sup>	250 Kg/m <sup>2</sup>	300 Kg/m <sup>2</sup>	350 Kg/m <sup>2</sup>	400 Kg/m <sup>2</sup>	450 Kg/m <sup>2</sup>	500 Kg/m <sup>2</sup>	550 Kg/m <sup>2</sup>	600 Kg/m <sup>2</sup>
2.60					1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0						
2.80						1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	1 Ø 6,0	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2				
3.00						1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2			
3.20						1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	
3.40						1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	
3.60					1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	1 Ø 5/16	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5		
3.80					1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	4 Ø 6,0		
4.00					1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	2 Ø 10,0		
4.20					2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16		
4.40					2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	2 Ø 10,0	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16		
4.60					2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0	3 Ø 10,0		
4.80					3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0				
5.00					4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16						
5.20					4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	3 Ø 5/16										
5.40					1 Ø 10,0	4 Ø 5,0												

Capa

Tela Belgo Q61

Tela Belgo Q75

Tela Belgo Q92

Tabela de dimensionamento de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas com treliça do tipo TR12645

Fonte: Arcelormittal (2010).

**ANEXO C**

**03415.8.6. LAJE PRÉ-FABRICADA STEEL DECK com chapa metálica, com capa de concreto FCK=25MPa - unidade: m²**

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			ESPESSURA DA CHAPA (MM)		
			0,80	0,95	1,25
			ESPESSURA DA LAJE (CM)		
15	15	15			
			03415.8.6.1	03415.8.6.2	03415.8.6.3
01270.0.33.1	Montador	h	0,17	0,2	0,25
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,68	0,68	0,68
01270.0.45.1	Servente	h	0,85	0,88	0,93
03130.3.2.1	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,80 mm)	m²	1,00	-	-
03130.3.2.2	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,95 mm)	m²	-	1,00	-
03130.3.2.3	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 1,25 mm)	m²	-	-	1,00
03220.3.1.3	Tela de aço CA-60 soldada tipo Q75 (diâmetro do fio: 3,80 mm / dimensões da trama: 150 x 150 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,05	1,05	1,05
03310.3.1.6	Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2 (resistência: 25 MPa)	m³	0,0925	0,0925	0,0925
			ESPESSURA DA CHAPA (MM)		
			0,80	0,95	1,25
			ESPESSURA DA LAJE (CM)		
			15	15	15
			03415.8.6.4	03415.8.6.5	03415.8.6.6
01270.0.33.1	Montador	h	0,17	0,20	0,17
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,73	0,73	0,82
01270.0.45.1	Servente	h	0,85	0,88	0,85
03130.3.2.1	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,80 mm)	m²	1,00	-	-
03130.3.2.2	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,95 mm)	m²	-	1,00	-
03130.3.2.3	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 1,25 mm)	m²	-	-	1,00
03220.3.1.3	Tela de aço CA-60 soldada tipo Q75 (diâmetro do fio: 3,80 mm / dimensões da trama: 150 x 150 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,05	1,05	1,05
03310.3.1.6	Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2 (resistência: 25 MPa)	m³	0,113	0,113	0,113

			ESPESSURA DA LAJE (CM)		
			15	15	15
			03415.8.6.7	03415.8.6.8	03415.8.6.9
01270.0.33.1	Montador	h	0,17	0,20	0,25
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,68	0,82	0,82
01270.0.45.1	Servente	h	0,85	0,88	0,93
03130.3.2.1	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,80 mm)	m²	1,00	-	-
03130.3.2.2	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,95 mm)	m²	-	1,00	-
03130.3.2.3	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 1,25 mm)	m²	-	-	1,00
03220.3.1.3	Tela de aço CA-60 soldada tipo Q75 (diâmetro do fio: 3,80 mm / dimensões da trama: 150 x 150 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,05	1,05	1,05
03310.3.1.6	Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2 (resistência: 25 MPa)	m³	0,143	0,143	0,143

SEGUIE >

			ESPESSURA DA CHAPA (MM)		
			0,80	0,95	1,25
			ESPESSURA DA LAJE (CM)		
			20	20	20
			03415.8.6.10	03415.8.6.11	03415.8.6.12
01270.0.33.1	Montador	h	0,17	0,20	0,25
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,90	0,90	0,90
01270.0.45.1	Servente	h	0,85	0,88	0,93
03130.3.2.1	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,80 mm)	m²	1,00	-	-
03130.3.2.2	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 0,95 mm)	m²	-	1,00	-
03130.3.2.3	Chapa metálica trapezoidal para laje (espessura: 1,25 mm)	m²	-	-	1,00
03220.3.1.3	Tela de aço CA-60 soldada tipo Q75 (diâmetro do fio: 3,80 mm / dimensões da trama: 150 x 150 mm / tipo da malha: quadrangular)	kg	1,05	1,05	1,05
03310.3.1.6	Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2 (resistência: 25 MPa)	m³	0,163	0,163	0,163

**CONTEÚDO DO SERVIÇO**

1) Consideram-se material e mão-de-obra para montagem, lançamento, adensamento e cura do concreto, incluindo transporte do concreto até a laje.

**CRITÉRIO DE MEDIÇÃO**

Área da laje.

**Composições base de lajes mistas steel deck**  
Fonte: TCPO (2008).

**03140.8.2.2** ESCORAMENTO METÁLICO para lajes de edificação com pé-direito entre 2,00 m e 3,20 m – unidade: m<sup>2</sup>

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,20
03140.7.1.1	Escora metálica (altura – intervalo: 2,00 m a 3,20 m)	loc/un/mês	0,85
06062.3.2.4	Pontalete 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	1,10

#### CONTEÚDO DO SERVIÇO

1) Considera locação de escora metálica, sendo a mão-de-obra de montagem e desmontagem dos equipamentos por conta da obra.

2) Discriminação dos coeficientes de mão-de-obra por metro quadrado de escoramento:

– montagem: ajudante: 0,10 h;

– desmontagem: ajudante: 0,10 h.

3) Escoras encontradas no mercado com as seguintes características:

a) peso médio de 15 kg;

b) capacidade de carga entre 1.500 kg e 2.200 kg que será definida pelo pé-direito a ser atendido – entre 2,00 m e 3,20 m;

c) tubo superior variando de 50 mm a 60 mm e inferior de 42,2 mm a 52 mm;

d) regulagem superior de 10 cm em 10 cm e entre os tubos, em milímetros.

#### CRITÉRIO DE MEDIÇÃO

Área em projeção a ser cimbrada.

#### PROCEDIMENTO EXECUTIVO

1) Nos apoios das escoras verificar a existência de base (chapa) para distribuir a carga que a escora está transmitindo, evitando o recalque do terreno.

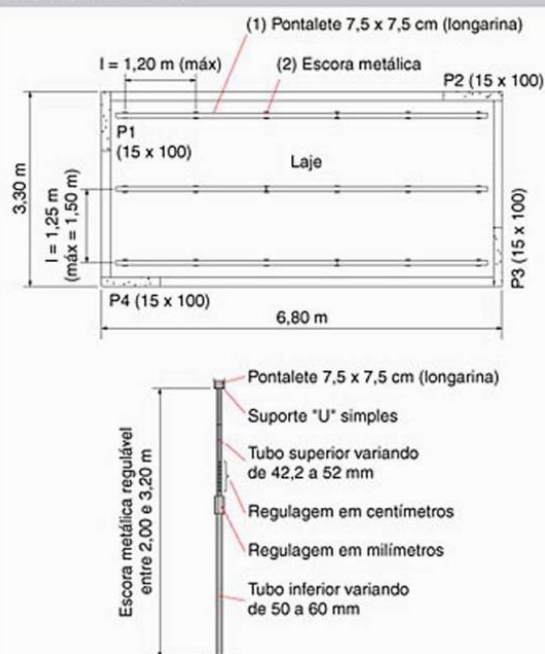
#### NORMAS TÉCNICAS

NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento

NR-18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção – 18.13 –

Medidas de proteção contra quedas de altura

#### Composição 03140.8.2.2



**Composição base de escoramento metálico para lajes**  
**Fonte: TCPO (2008).**

**03415.8.1. LAJE PRÉ-FABRICADA comum para piso ou cobertura, intereixo 38 cm (capeamento 4 cm) – unidade: m<sup>2</sup>**

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS	
			ESPESSURA DA LAJE (CM)	
			E=12	E=16
			ELEMENTO DE ENCHIMENTO (CM)	
		8	12	
		03415.8.1.2	03415.8.1.3	
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	0,73	0,81
01270.0.25.1	Armador	h	0,15	0,15
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,44	0,47
01270.0.45.1	Servente	h	1,88	2,1
02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,0489	0,06
02060.3.3.1	Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,0111	0,0136
02060.3.3.2	Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,0332	0,0408
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	15,00	18,00
03210.3.2.1	Barra de aço CA-50 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m)	kg	1,89	1,89
03415.3.1.2	Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 80 mm / vão livre: 3,50 m / peso próprio: 205 kgf/m <sup>2</sup> / sobrecarga: 150 kgf/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	1,00	–
03415.3.1.5	Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 120 mm / vão livre: 3,00 m / peso próprio: 215 kgf/m <sup>2</sup> / sobrecarga: 150 kgf/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	–	1,00
05060.3.20.6	Prego 18 x 27 com cabeça (diâmetro da cabeça: 3,4 mm / comprimento: 62,1 mm)	kg	0,03	0,03
06062.3.2.1	Pontalete 3ª construção (seção transversal: 3" x 3" / tipo de madeira: cedro)	m	1,71	1,86
06062.3.4.3	Sarrafo 1" x 4" (altura: 100 mm / espessura: 25 mm)	m	0,97	1,03
06062.3.5.5	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m	0,56	0,62
**22300.9.2.5	Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 kW), capacidade 400 l – vida útil 10.000 h	h prod.	0,0123	0,0153

**CONTEÚDO DO SERVIÇO**

1) Considera material e mão-de-obra para execução da fôrma, escoramento e montagem da laje, preparo, montagem e colocação da armadura, lançamento, adensamento e cura do concreto, incluindo transporte do concreto até a laje, desenforma e retirada do escoramento.

2) Laje pré-fabricada: com elemento enchimento cerâmico e comprimento máximo do vão 6m.

(\*\*) Esse(s) coeficiente(s) tem como base o custo horário do equipamento (ver divisão 22).

**CRITÉRIO DE MEDIÇÃO**

Área da laje. Não descontar vãos inferiores a 2 m<sup>2</sup>.

**NORMAS TÉCNICAS**

NBR 14859-1 – Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais

NBR 14859-2 – Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais

Para Procedimento Executivo, consultar também a seguinte literatura:

A Técnica de Edificar, item 6.1.16.

Caderno de Encargos, item P-05.CON.16.

**Composições base de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas**

Fonte: TCPO (2008).