

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Paula Piccolo de Lemos**

**SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*:  
ANÁLISE COMPARATIVA COM O SISTEMA DE  
LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO**

Porto Alegre  
junho 2013

**PAULA PICCOLO DE LEMOS**

**SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*:  
ANÁLISE COMPARATIVA COM O SISTEMA DE  
LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**

Porto Alegre  
junho 2013

**PAULA PICCOLO DE LEMOS**

**SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*:  
ANÁLISE COMPARATIVA COM O SISTEMA DE  
LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2013

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela Universidade de São Paulo  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a meus pais e a meu irmão, que sempre me apoiaram nas minhas decisões e me deram amor incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Paulo e Mirta, pelo amor, incentivo e compreensão durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu irmão, Guilherme, por estar sempre ao meu lado, e a minha irmã, Camila, que mesmo longe, me transmite enorme carinho.

Agradeço a toda a minha família, em especial a minha avó Marina, pelos valores que me transmitiram e que vou levar para toda a vida.

Agradeço ao Professor Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela disponibilidade, atenção, paciência e conhecimentos compartilhados.

Agradeço à Professora Carin Schmitt, pelo esforço e dedicação ao transmitir seus conhecimentos e exigir sempre o melhor de mim, com inigualável profissionalismo.

Agradeço ao engenheiro Ronaldo Martineli, do Grupo Medabil, que sem sua ajuda, disponibilidade e conhecimentos a realização desse trabalho não seria possível.

Agradeço às minhas melhores amigas, que, desde o colégio, me acompanharam com a amizade mais carinhosa e sincera.

Agradeço às minhas colegas de faculdade, Ruane Magalhães, Bruna Linck e Helena Szortika, que se tornaram minhas grandes amigas ao longo do curso.

Julgue seu sucesso pelas coisas que você teve que  
renunciar para conseguir.

*Dalai Lama*

## RESUMO

Em busca de sistemas construtivos mais racionalizados e industrializados, surge o sistema de lajes mistas *steel deck*, composto por chapas de aço e concreto moldado *in loco*. Esse sistema possui como principais características: eliminar a etapa da desforma e dispensar o uso de escoramentos e de armadura positiva em barras de aço. Com isso, este trabalho trata da análise das vantagens e desvantagens do sistema de lajes mistas *steel deck* em relação ao de lajes zero em concreto armado quanto aos seus processos construtivos. Como base para essa comparação, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica sobre lajes mistas, analisando suas definições e características, examinando suas partes constituintes, observando suas etapas de execução e entendendo sobre seu dimensionamento e verificação estrutural nas normas brasileiras. A pesquisa reuniu informações sobre o sistema de lajes zero em concreto armado, sobre seu acabamento superficial e os cuidados necessários com o conjunto das fôrmas e escoramentos (para se obter uma superfície nivelada sem a execução de um contrapiso), com o correto posicionamento das armaduras e embutidos na laje, com as propriedades do concreto utilizado e com o controle da laje depois de pronta. Para a obtenção de resultados reais e conclusões sobre as diferenças entre esses dois sistemas estudados, foram analisadas e descritas suas etapas de execução em obra, para um pavimento tipo, e em seguida foram comparadas. Com isso, as vantagens e desvantagens do uso do *steel deck*, combinado com uma estrutura metálica, estudadas na pesquisa bibliográfica foram confirmadas no estudo real da construção do Hotel Ibis/Canoas/RS quando comparadas com a outra edificação em concreto armado.

Palavras-chave: Estruturas Mistas Aço/Concreto. Estruturas em Concreto Armado. Lajes Mistas *Steel Deck*. Racionalização e Industrialização das Edificações.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe de uma laje mista com fôrma de aço incorporada .....	15
Figura 2 – Diagrama do delineamento do projeto pesquisa .....	20
Figura 3 – Montagem da estrutura mista do Hotel Ibis Canoas/RS .....	23
Figura 4 – Detalhe dos vazios do sistema de lajes mistas <i>steel deck</i> .....	25
Figura 5 – Fôrma de aço trapezoidal e fôrma de aço reentrante .....	26
Figura 6 – Detalhes das mossas presentes nas chapas metálicas .....	29
Figura 7 – Instalação <i>stud bold</i> .....	30
Figura 8 – Corte esquemático mostrando a posição da armadura complementar (adicional) .....	31
Figura 9 – Detalhe das armaduras em uma laje mista .....	32
Figura 10 – Operações de logística no canteiro .....	39
Figura 11 – Fases da concretagem .....	41
Figura 12 – Interferências de projeto .....	42
Figura 13 – Fachada do Hotel Ibis .....	46
Figura 14 – Etapas 1 e 2 .....	47
Figura 15 – Vista do canteiro de obra .....	49
Figura 16 – Execução das fundações .....	50
Figura 17 – Pilares mistos previamente concretados .....	51
Figura 18 – Pilares mistos armazenados no canteiro .....	52
Figura 19 – Vigas metálicas .....	52
Figura 20 – Colocação das chapas do <i>steel deck</i> .....	53
Figura 21 – Armaduras complementares .....	54
Figura 22 – Preparação do <i>steel deck</i> para a concretagem .....	56
Figura 23 – Lançamento do concreto .....	56
Figura 24 – Espalhamento do concreto .....	57
Figura 25 – Acabamento final da laje com helicóptero .....	58
Figura 26 – Fachada da edificação com laje zero .....	59
Figura 27 – Montagem dos pilares .....	61
Figura 28 – Pilar finalizado .....	62
Figura 29 – Barroteamento metálico .....	63
Figura 30 – Colocação de elementos embutidos .....	63
Figura 31 – Concretagem dos pilares .....	64
Figura 32 – Laje pronta para a concretagem .....	65



Figura 33 – Etapas de lançamento, adensamento e nivelamento .....	66
Figura 34 – Conferência com nível laser .....	67
Figura 35 – Aplicação do bullfloat .....	67
Figura 36 – Escoramentos remanescentes .....	68
Figura 37 – Pavimento com grande número de escoras .....	71
Figura 38 – Desperdício de madeira .....	72
Figura 39 – Aplicação da proteção passiva .....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo geral entre os sistemas de lajes.....	69
Quadro 2 – Etapas de um pavimento tipo de cada sistema.....	70
Quadro 3 – Diferenças nas fundações.....	75
Quadro 4 – Comparação entre prazos e custos.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ciclo de execução dos pavimentos com lajes mistas <i>steel deck</i> .....	73
Tabela 2 – Ciclo de execução dos pavimentos com lajes zero.....	74

## **LISTA DE SIGLAS**

Deciv – Departamento de Engenharia Civil

EE – Escola de Engenharia

ELS – Estado Limite de Serviço

ELU – Estado Limite Último

NBR – Norma Brasileira

PPCI – Plano de Prevenção Contra Incêndios

PVA – *Polyvinyl Acetate*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	18
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	18
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	18
2.3 PRESSUPOSTO .....	19
2.4 PREMISA .....	19
2.5 DELIMITAÇÕES .....	19
2.6 LIMITAÇÕES .....	19
2.7 DELINEAMENTO .....	19
<b>3 SISTEMA DE LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i></b> .....	22
3.1 HISTÓRICO .....	22
3.2 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS .....	24
<b>3.2.1 Vantagens Construtivas</b> .....	24
<b>3.2.2 Comportamento Misto</b> .....	25
3.3 PARTES CONSTITUINTES .....	26
<b>3.3.1 Concreto</b> .....	27
<b>3.3.2 Chapa de Aço</b> .....	28
<b>3.3.3 Conectores de Cisalhamento</b> .....	29
<b>3.3.4 Armaduras</b> .....	30
3.4 VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO .....	32
3.5 SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....	33
3.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	36
3.7 ETAPAS DE EXECUÇÃO .....	36
<b>3.7.1 Transporte</b> .....	37
<b>3.7.2 Recebimento e Armazenamento</b> .....	38
<b>3.7.3 Montagem e Fixação da Chapa de Aço</b> .....	39
<b>3.7.4 Concretagem</b> .....	40
<b>3.7.5 Interferências de Projeto</b> .....	41
<b>4 SISTEMA DE LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO</b> .....	43
4.1 ACABAMENTO SUPERFICIAL .....	43
4.2 FÔRMAS E ESCORAMENTOS .....	43

4.3 ARMADURAS .....	44
4.4 PASSAGEM DE EMBUTIDOS NA LAJE .....	44
4.5 CONCRETO .....	44
4.6 NIVELAMENTO E ACABAMENTO .....	45
4.7 CONTROLE DA PEÇA PRONTA .....	45
<b>5 DADOS REFERENTES À OBRA COM SISTEMA DE LAJES MISTAS STEEL DECK .....</b>	<b>46</b>
5.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO .....	46
5.2 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO .....	47
5.3 ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRA .....	48
5.4 FUNDAÇÕES .....	49
5.5 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO .....	50
<b>5.5.1 Montagem da Estrutura Metálica dos Pilares e das Vigas .....</b>	<b>50</b>
5.5.1.1 Pilares .....	51
5.5.1.2 Vigas .....	52
<b>5.5.2 Montagem do Steel Deck .....</b>	<b>53</b>
<b>5.5.3 Concretagem da Laje .....</b>	<b>55</b>
<b>6 DADOS REFERENTES À OBRA COM SISTEMA DE LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>59</b>
6.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO .....	59
6.2 ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRA .....	60
6.3 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO .....	60
<b>6.3.1 Montagem das Fôrmas e Armaduras dos Pilares .....</b>	<b>61</b>
<b>6.3.2 Montagem das Fôrmas das Vigas e das Lajes .....</b>	<b>62</b>
<b>6.3.3 Concretagem dos Pilares .....</b>	<b>64</b>
<b>6.3.4 Montagem das Armaduras das Vigas e das Lajes .....</b>	<b>64</b>
<b>6.3.5 Concretagem das Vigas e das Lajes .....</b>	<b>65</b>
<b>6.3.6 Desforma e Retirada dos Escoramentos .....</b>	<b>68</b>
<b>7 COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS .....</b>	<b>69</b>
7.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO .....	69
<b>7.1.1 Armadura Positiva .....</b>	<b>70</b>
<b>7.1.2 Escoramentos .....</b>	<b>71</b>
<b>7.1.3 Desforma .....</b>	<b>72</b>
<b>7.1.4 Instalações Elétricas e Hidráulicas .....</b>	<b>72</b>
7.2 PRAZOS DE EXECUÇÃO .....	73

<b>7.3 COMBINAÇÃO COM ESTRUTURA METÁLICA .....</b>	<b>75</b>
<b>7.3.1 Fundações .....</b>	<b>75</b>
<b>7.3.2 Situação de Incêndio .....</b>	<b>75</b>
<b>7.3.3 Rapidez Construtiva .....</b>	<b>76</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO D .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO F .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO G .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO H .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO J .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO K .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO L .....</b>	<b>94</b>

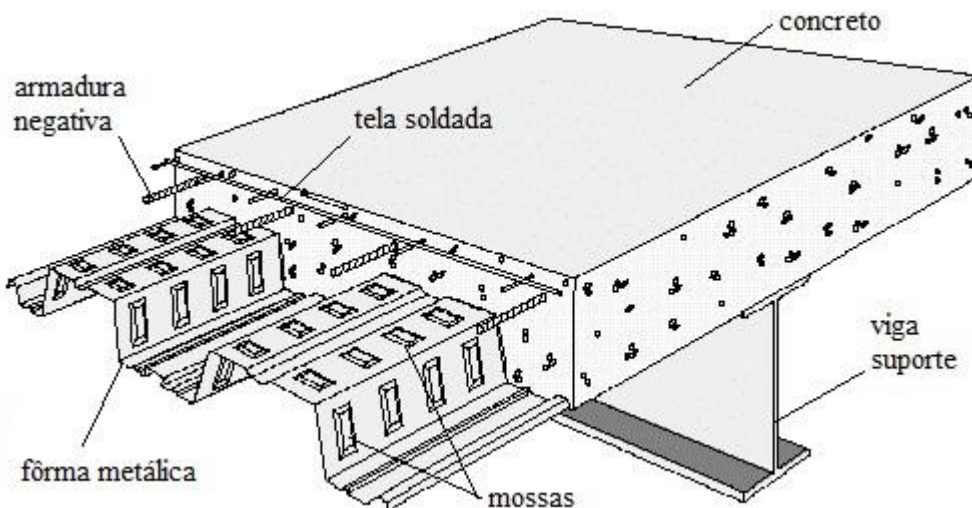




## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas estruturais e construtivos formados, simultaneamente, por perfis de aço e concreto, simples ou armado, são denominados estruturas mistas. O uso desses elementos combinados, aliando as vantagens de cada material, forma um único elemento estrutural. Esse elemento pode ser uma viga, uma laje ou um pilar. No caso do sistema *steel deck*, trata-se de uma laje mista com fôrma de aço incorporada e concreto moldado *in loco*, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1 – Detalhe de uma laje mista com fôrma de aço incorporada



(fonte: CAMPOS, 2001, p. 2)

Nesse sistema, a fôrma metálica, deve suportar as ações permanentes e as sobrecargas durante a etapa inicial da construção, enquanto o concreto ainda não atingiu sua resistência à compressão especificada. Após o procedimento da cura do concreto, ela funciona, total ou parcialmente, como armadura positiva da laje.

Para que esses materiais trabalhem conjuntamente, formando um elemento estrutural único, é indispensável alcançar a aderência mecânica entre a chapa de aço e o concreto. Para isso, saliências e reentrâncias (mossas) estão presentes na fôrma de aço. É imprescindível também, o uso de conectores de cisalhamento, os quais realizam a ligação entre a viga de aço e o

concreto da laje. Os mais empregados nas construções são os conectores do tipo pino com cabeça (*stud bolt*).

O emprego de armaduras negativas sobre os apoios internos da laje, sobre vigas, não pode ser ignorado e deve ser analisado. Normalmente seu uso só é necessário em grandes vãos. Segundo Campos (2001, p. 2), é recomendado também outro tipo de armadura, pois “As fissuras decorrentes do processo de retração do concreto e da variação da temperatura devem ser controladas posicionando-se uma armadura nominal, em geral uma tela soldada, nas duas direções da laje.”.

O uso do *steel deck* representa uma solução alternativa cada vez mais interessante frente à necessidade de industrialização e racionalização da construção, podendo significar uma tendência de sistema estrutural e construtivo no Brasil e em outros países de economia emergente. Em vista disso, a ideia central desse trabalho é analisar as vantagens e desvantagens do sistema de lajes mistas *steel deck* em relação ao de lajes zero em concreto armado, observando as técnicas construtivas e procedimentos executivos adotados em duas obras, uma de cada sistema. A opção de comparar a execução de uma laje em *steel deck* com uma em nível zero, é porque ambas proporcionam um acabamento final que não necessita de contrapiso e possibilitam sistemas mais racionalizados na obra.

Embora a eliminação da etapa de execução do contrapiso traga vantagens como a diminuição do tempo do prazo da obra, da mão de obra e dos desperdícios no canteiro, pode trazer algumas desvantagens. Como o desempenho acústico, que devido a sua pequena espessura é capaz de transmitir maiores ruídos de um pavimento para outro. E a possibilidade do descolamento de placas cerâmicas e pétreas assentadas como revestimento final do piso, que acabam absorvendo os esforços estruturais transmitidos à laje (ALLGAYER, 2010).

Muito utilizado nos Estados Unidos, na Europa e na Austrália, o *steel deck* elimina alguns inconvenientes do uso de lajes em concreto armado, tornando os processos envolvidos nas obras ainda mais racionalizados. Conforme Brendolan (2007), dentre as diversas vantagens do sistema em relação ao de concreto armado, algumas são listadas a seguir:

- a) a chapa de aço funciona como fôrma para o concreto fresco, e como permanece em definitivo, elimina a etapa da desforma;
- b) na maioria dos casos, dispensa o uso de escoramento;

- c) simplicidade de instalação e maior rapidez construtiva, que reduz o prazo de execução da obra;
- d) diminuição do peso próprio e do volume da estrutura, com consequente redução dos custos das fundações.

Brendolan (2007) ressalta também, como desvantagem em relação às lajes em concreto armado, que é necessária uma maior quantidade de vigas secundárias, caso não se utilize escoramento ou fôrmas de grande altura, devido à limitação dos vãos antes da cura do concreto. E, de acordo com Alva (2000), podem ser citadas outras desvantagens, como:

- a) a necessidade de maior nível de especialização da mão de obra, que pode acarretar no aumento do custo do sistema e na escassez de trabalhadores disponíveis para sua execução;
- b) menor resistência da laje em situações de incêndio.

Apesar de seus variados benefícios, o *steel deck* está em recente utilização no Brasil, se restringindo, na maioria dos casos, em obras com prazos enxutos ou cuja logística é crítica. Pode-se citar como causas da subutilização desse tipo de laje no País a falta de literatura técnica e de normas específicas sobre esse sistema, o desconhecimento de seu real custo e o pequeno número de fabricantes de fôrmas de aço no mercado brasileiro.

Na sequência, o segundo capítulo apresenta as diretrizes da pesquisa, abordando a questão de pesquisa, os objetivos, o pressuposto, a premissa, as delimitações, as limitações e o delineamento da pesquisa. O capítulo 3 trata do sistema construtivo de lajes mistas *steel deck*, mostrando um breve histórico do sistema e descrevendo suas definições, suas características, suas partes constituintes, sua verificação e seu dimensionamento, seu comportamento frente a uma situação de incêndio e suas etapas de execução. E o capítulo seguinte trata do sistema de lajes zero em concreto armado, analisando seu conceito, suas etapas principais na execução e suas propriedades. O quinto capítulo é sobre a análise das etapas de execução de um pavimento que utilizou lajes mistas *steel deck* e pilares e vigas metálicos, através de dados de projeto e do diário de obra de uma edificação. Já o capítulo 6, é sobre os dados observados em na execução de um pavimento que utilizou lajes zero e pilares e vigas em concreto armado. No próximo capítulo, o 7, foi feita a comparação entre a utilização dos dois sistemas, analisando suas principais diferenças. Enfim, no capítulo 8 foram feitas as considerações finais do trabalho.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: conhecidas as características da execução empregando o sistema construtivo de lajes zero em concreto armado, quais são as vantagens e desvantagens da opção pelo *steel deck*?

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a descrição de vantagens e desvantagens do sistema *steel deck*, na fase de execução de uma edificação multipavimentos, comparativamente ao sistema construtivo de lajes zero em concreto armado.

#### 2.2.2 Objetivos Secundários

O objetivo secundário do trabalho é a análise dos sistemas de lajes *steel deck* e de lajes zero em concreto armado, através:

- a) da caracterização das técnicas construtivas e dos procedimentos executivos, verificando as etapas críticas e os cuidados básicos para seu bom desempenho;
- b) da mão de obra necessária;
- c) dos prazos de execução.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que as estruturas dos sistemas analisados possuem desempenho estrutural adequado para as situações de contorno consideradas.

## 2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a busca por sistemas mais industrializados e racionalizados na construção civil impulsiona o uso de estruturas como o *steel deck*.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparar apenas dois empreendimentos, um construído em estrutura metálica utilizando lajes em *steel deck* e outro com elementos estruturais em concreto armado e lajes zero.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) as informações referentes ao sistema de lajes zero foram obtidas através do acompanhamento da execução da estrutura dos pavimentos tipo e as referentes ao sistema *steel deck*, através da análise de projetos e do diário de obra de uma edificação já concluída;
- b) as edificações comparadas são de porte e empresas diferentes.

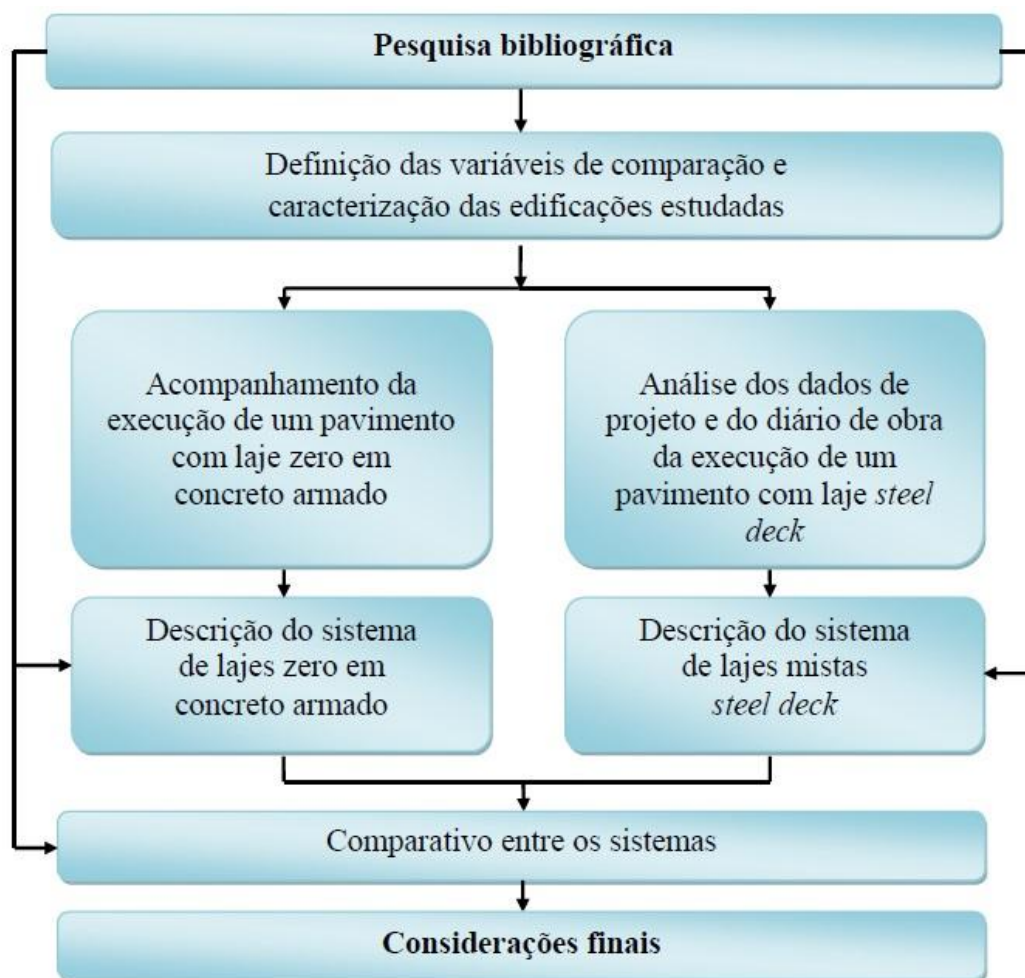
## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 2 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição das variáveis de comparação e caracterização das edificações estudadas;
- c) acompanhamento da execução dos pavimentos com laje zero em concreto armado;

- d) análise dos dados de projeto e do diário de obra da execução dos pavimentos com estrutura metálica e laje *steel deck*;
- e) descrição dos sistemas construtivos;
- f) comparativo entre os sistemas;
- g) considerações finais.

Figura 2 – Diagrama do delineamento do projeto pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

A primeira etapa, que se estendeu ao longo de todo o trabalho, foi a **pesquisa bibliográfica**, que teve por objetivo a busca por elementos para a caracterização dos métodos construtivos estudados. Esses conhecimentos foram obtidos através de consulta a livros, dissertações, teses e artigos publicados sobre os assuntos estudados. Através dessa pesquisa foi possível definir quais seriam as **variáveis de comparação** entre os sistemas. Concomitantemente foi feita a **caracterização das edificações estudadas**, que foi a apresentação dos edifícios selecionados para o desenvolvimento do estudo.

De posse dessas informações, foi realizado o **acompanhamento da execução dos pavimentos em concreto armado e laje zero** e a **análise dos dados de projeto e do diário de obra da execução dos pavimentos com estrutura metálica e laje *steel deck***. Essas etapas foram fundamentais para a obtenção dos subsídios necessários para a realização deste trabalho.

Logo após, em conjunto com a pesquisa bibliográfica, foi possível fazer a **descrição detalhada dos sistemas** e o **comparativo entre os sistemas** através da verificação de vantagens e desvantagens de cada método construtivo das lajes analisadas. E, por fim, foi possível estabelecer as considerações finais da pesquisa.

### 3 SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*

Este capítulo faz uma abordagem sobre os principais fundamentos do sistema de lajes mistas *steel deck*, sua história, suas definições e características, suas partes constituintes, suas citações nas normas brasileiras, seu processo de fabricação e suas etapas de execução, para uma melhor compreensão do trabalho e auxílio da comparação com o sistema de lajes zero em concreto armado.

#### 3.1 HISTÓRICO

Em busca de sistemas mais industrializados e racionalizados, engenheiros e projetistas norte-americanos observaram em torno dos anos 1930, muitos benefícios com a combinação das propriedades estruturais e construtivas de uma chapa de aço com o concreto moldado *in loco*. A chapa, ao funcionar como fôrma para o concreto fresco, não necessitava da utilização de escoras como as fôrmas de madeira convencionais, pois suportava o peso do pavimento, das sobrecargas devido ao peso próprio dos operários e dos equipamentos utilizados durante a construção, enquanto o concreto não endurecia e adquiria resistência. Foi notado também, mais uma vantagem do uso da chapa como fôrma, que é a facilidade da passagem de dutos e a fixação de forros na laje (GOMES, 2001, p. 1).

Conforme o mesmo autor, ainda não era considerada a ação composta da chapa de aço e do concreto. As fôrmas metálicas permaneciam incorporadas ao piso, por conveniência ou por razões estéticas, suportando o concreto antes do endurecimento, as armaduras e as ações durante a construção. Entretanto, a laje de concreto, depois de adquirir resistência, era projetada para suportar sozinha todas as cargas de serviço durante a vida útil da edificação.

Foi, na década de 1940, que a ação composta entre as chapas de aço e o concreto foi considerada efetiva. Pois nessa época surgiram os chamados sistemas de lajes mistas com fôrma de aço incorporada e concreto moldado *in loco*, mais conhecidos comercialmente como *steel deck*. A chapa de aço e o concreto passam a trabalhar em conjunto para resistir aos esforços aplicados durante a vida útil da edificação. O perfil metálico deve ser capaz de



transmitir o cisalhamento horizontal na interface com o concreto, funcionando como armadura parcial ou total de tração da laje (GOMES, 2001, p. 2).

Segundo Alva (2000), no Brasil, as primeiras construções mistas restringiram-se a alguns edifícios e pequenas pontes construídas entre os anos de 1950 e 1960. As estruturas mistas foram normatizadas pela primeira vez em 1986, pela NBR 8800<sup>1</sup>, que tratava do projeto e do dimensionamento de estruturas de aço, incluindo o dimensionamento e execução de vigas mistas. Mas foi, na década de 1990, que o *steel deck* foi introduzido no mercado brasileiro da construção civil. Para Deliberato (2006), o sistema de lajes mistas tem se transformado em tecnologia padrão nos países industrializados, onde o seu uso destaca-se em grandes edificações que necessitem de boa racionalização e velocidade na execução, como pavilhões industriais, *shopping centers*, hotéis, hospitais, edifícios residenciais, comerciais e garagem.

Pode-se citar como exemplo recente de obra utilizando o sistema de lajes mistas *steel deck*, no Rio Grande do Sul, a construção do Hotel Ibis, realizada no ano de 2011, na cidade de Canoas, conforme mostra a figura 3. Este empreendimento de 7 andares, com 30 metros de altura, 15 metros de largura e 40 metros de comprimento, foi construído em apenas 67 dias e 8 horas. Nesse período foram concluídas a estrutura metálica de 7 pavimentos, a concretagem de todas as lajes, montagem das escadas e instalação da estrutura e das placas cimentícias que compõem a fachada do prédio, economizando 60% do tempo que seria necessário para a execução da estrutura em concreto armado de uma obra desse porte (GRUPO MEDABIL, 2011a).

Figura 3 – Montagem da estrutura mista do Hotel Ibis Canoas/RS



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011c)

---

<sup>1</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projeto e execução de estruturas de aço de edifícios (método dos estados limites) – procedimento. Rio de Janeiro, 1986. Substituída para nova versão em 2008: vide lista de referências.

## 3.2 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Diversos sistemas estruturais e construtivos aparecem com a ampliação do conhecimento técnico e científico na construção civil, principalmente os formados por elementos mistos de aço e concreto. O sistema de lajes mistas resulta da combinação de perfis de aço e concreto, aproveitando as vantagens de cada material.

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211):

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

Para uma melhor compreensão do sistema de lajes mistas, são descritas a seguir suas vantagens construtivas e seu comportamento misto.

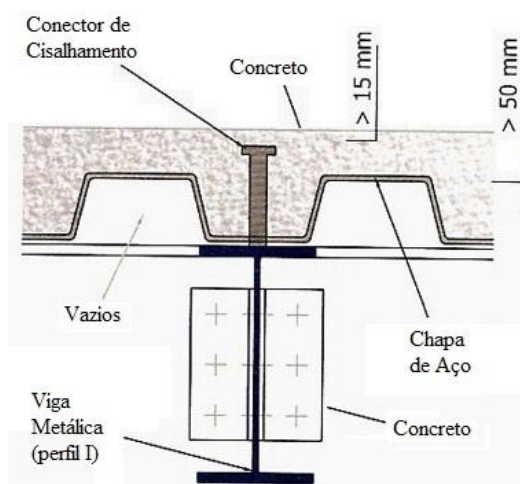
### 3.2.1 Vantagens Construtivas

Conforme Brendolan (2007), o sistema de lajes mistas *steel deck* apresenta diversas vantagens, começando pelo fato da chapa de aço funcionar como fôrma para o concreto fresco e permanecer incorporada no local, extinguindo a etapa da desforma, diminuindo custos e prazos na execução. Pode ser utilizada também como plataforma de serviço suportando as ações atuantes durante a construção (materiais, operários, equipamentos), fazendo com que os escoramentos sejam eliminados ou reduzidos, possibilitando o trabalho nos andares imediatamente inferiores. Sendo as chapas metálicas extremamente leves, são fáceis de serem movimentadas e instaladas, reduzindo o tempo de montagem e adquirindo maior rapidez construtiva. A leveza delas e a sua forma nervurada, formando vazios (ver figura 4), compõem um sistema estrutural de menor peso que os outros sistemas de lajes, como a maciça de concreto armado, que resulta em uma economia significativa nos custos das fundações.

O autor salienta também, que nesse sistema, há certa facilidade para a colocação de tubulação elétrica, hidráulica, de comunicação e de ar condicionado e fixação de forro suspenso. Mas

pode-se optar por deixar a fôrma metálica galvanizada aparente, apenas com um acabamento de pintura. Outro grande benefício é que, após o endurecimento do concreto, a fôrma metálica funciona como armadura total ou parcial da laje e, tão logo seja colocada no lugar, pode atuar como um diafragma efetivo de cisalhamento no plano horizontal.

Figura 4 – Detalhe dos vazios do sistema de lajes mistas *steel deck*



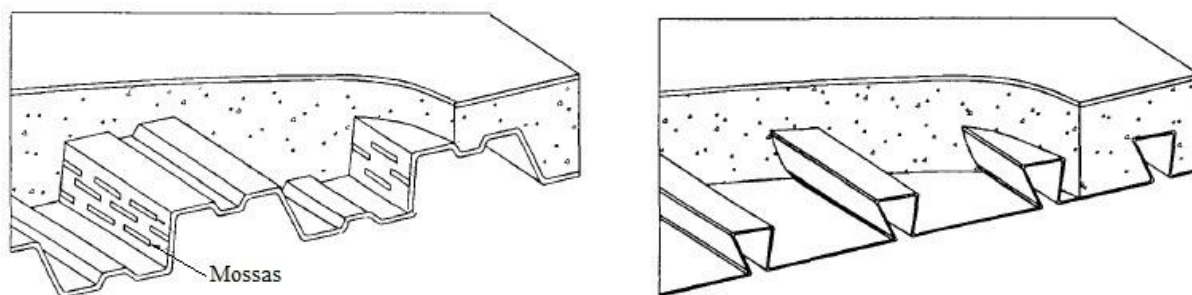
(fonte: CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2011b)

Em vista disso, por todas as vantagens já citadas, o sistema de lajes mistas *steel deck* resulta em construções mais eficientes, baratas e seguras, através da agilidade na execução, da diminuição do desperdício de materiais e da melhoria da organização no canteiro de obras. Portanto, o lucro proporcionado pelo empreendimento pode ser aumentado em grande escala, com isso tornou-se um sistema muito utilizado na construção civil dos Estados Unidos e da Europa (SANTOS, [2009]).

### 3.2.2 Comportamento Misto

No sistema *steel deck*, o comportamento misto só é atingido quando a chapa de aço e o concreto (já endurecido) obtêm uma aderência mecânica superior ao esforço longitudinal na interface dos dois elementos. Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211), a aderência natural entre esses materiais não é considerada efetiva para se obter um desempenho misto, o qual só é garantido pela ligação mecânica por meio de moedas nas fôrmas de aço trapezoidais ou por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes, conforme ilustra a figura 5.

Figura 5 – Fôrma de aço trapezoidal e fôrma de aço reentrante



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211)

Conforme o European Committee for Standardization<sup>2</sup> (2004 apud FABRIZZI, 2007, p. 49), o comportamento misto pode ser obtido também através da ancoragem nos extremos proporcionada por conectores soldados, pois, se bem dimensionados, são capazes de resistir ao cisalhamento longitudinal na interface entre o aço e o concreto.

### 3.3 PARTES CONSTITUINTES

De acordo com Fabrizzi (2007), a composição das estruturas das edificações é, na maioria dos casos, de aço e de concreto. Formando elementos mistos ou não, esses dois materiais trabalham em conjunto, pois têm características diferentes e complementares. O concreto apresenta a resistência à compressão, elevada rigidez e protege o aço contra corrosão e incêndio. Já o aço, possui elevada resistência à tração e esbeltez dos elementos. Há ainda o fato de eles possuírem coeficientes de dilatação térmicos parecidos, com isso não causam deformações térmicas diferenciais expressivas nos elementos em que constituem.

Esse autor ainda destaca que há diversas combinações entre os materiais e cabe aos profissionais da área da construção civil escolher o melhor sistema estrutural, que depende de vários fatores, como:

- a) utilização da edificação;
- b) projeto arquitetônico;
- c) ações atuantes;
- d) vãos a serem vencidos;
- e) método construtivo;

<sup>2</sup> EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 4**: design of composite steel and concrete structures. Part 1.1: general rules and rules for buildings. Brussels, 2004.

- f) mão de obra e tecnologia disponíveis;
- g) prazo de execução da obra;
- h) custo das fundações;
- i) custo final da obra;
- j) retorno do capital investido.

No caso de uma laje mista *steel deck*, a combinação da chapa de aço e do concreto aproveita cada uma das vantagens desses materiais. Com a introdução dos conectores de cisalhamento, que são elementos de custo relativamente baixo, e das armaduras, pode-se considerar que o conjunto formado por esses elementos trabalha com grande eficiência. A seguir, o concreto, a chapa de aço, os conectores de cisalhamento e as armaduras, que compõem as partes constituintes do sistema, são descritas.

### 3.3.1 Concreto

As principais propriedades do concreto, utilizado em lajes mistas *steel deck*, segundo Deliberato (2006, p. 23-24), são:

- a) massa específica igual a 24 kN/m<sup>3</sup> (podendo diminuir até 17 kN/m<sup>3</sup> quando se utiliza agregados leves);
- b) coeficiente de dilatação térmica à temperatura ambiente igual a 10<sup>-5</sup> m/m/°C;
- c) resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) na faixa usual de 20 a 40 MPa;
- d) para evitar agressão à chapa de aço, não deve conter aditivos à base de cloretos na sua dosagem;
- e) coeficiente de Poison nominal igual a 0,2, mas caso seja admitido que o concreto tracionado esteja fissurado, o valor considerado é igual a 0.

O concreto utilizado em lajes mistas *steel deck* é moldado *in loco*, podendo ser armado ou não. Conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 220), a espessura do concreto sobre a fôrma deve ser de no mínimo 50 mm e a dimensão máxima característica dos agregados graúdos utilizados nesse tipo de laje não deve exceder aos valores descritos nessa Norma.

De acordo com Campos (2001, p. 2), “O concreto [utilizado em lajes mistas *steel deck*], normal ou leve, deve resistir aos esforços de compressão e cisalhamento vertical. A

resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) é, usualmente, igual ou superior a 20 MPa [valor mínimo determinado pela NBR 12655<sup>3</sup> e NBR 6118<sup>4</sup>].”.

### 3.3.2 Chapa de Aço

Conforme descreve Deliberato (2006, p. 21), as chapas de aço são constituídas principalmente por uma liga ferro-carbono e outros elementos adicionais. O aço caracteriza-se por ser um material dúctil e é utilizado para a formação de diversos elementos como perfis, barras e parafusos. No caso dos perfis e chapas das fôrmas metálicas, o aço é laminado; para os parafusos e conectores, o aço é tratado termicamente; e para barras e fios, o aço pode ser laminado ou trefilado.

As chapas utilizadas em estruturas como o *steel deck* são muito finas, com espessuras que variam de 0,80 mm a 1,25 mm, (DELIBERATO, 2006, p. 22). Essas chapas, que funcionam também como fôrma metálica das lajes mistas, possuem saliências e reentrâncias, mais conhecidas como mossas (ver figura 6), com a finalidade de obter maior aderência entre o aço e o concreto. A resistência ao cisalhamento horizontal é influenciada pelas características, tais como geometria e profundidade, das mossas, e cada fabricante de fôrma desenvolve um padrão conveniente, que deve ter sua eficiência comprovada (CAMPOS, 2001, p. 2).

Para a proteção contra a corrosão da chapa metálica, para que não comprometa a sua vida útil, podem ser adotados diversos tipos de revestimentos que reduzem ou impedem a velocidade de corrosão. Os mais utilizados, que devem ser aplicados em todas as superfícies expostas do aço, são a zincagem, a galvanização e a pintura eletrostática. A escolha do tipo de proteção e sua correta aplicação são fatores determinantes para garantir a durabilidade das estruturas de aço (DELIBERATO, 2006, p. 22).

As lajes mistas *steel deck* podem ficar escondidas entre os acabamentos de forro de gesso ou podem ficar com sua face metálica galvanizada exposta. Todavia, Deliberato (2006, p. 23) ressalta que nesse último caso, como acabamento na face inferior, as chapas de aço devem

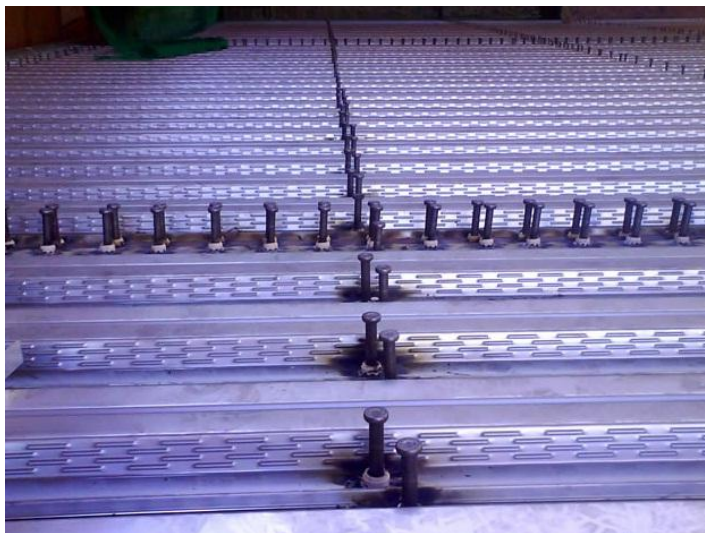
---

<sup>3</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento – procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

<sup>4</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

receber no mínimo uma pintura eletrostática e em seguida, para garantir sua fixação, passam por uma estufa de polimerização, garantindo que o aço não entre em processo de oxidação.

Figura 6 – Detalhes das mossas presentes nas chapas metálicas



(fonte: METFORM SA, 2010)

### 3.3.3 Conectores de Cisalhamento

A fim de proporcionar uma eficiente interação entre o aço e o concreto de lajes mistas, conectores de cisalhamento são aplicados nas vigas suporte. Se bem dimensionados, eles garantem a absorção do cisalhamento nas duas direções e impedem o afastamento vertical entre a laje e a viga de aço, pois promovem a ligação entre estes elementos. Os mais utilizados em lajes mistas são os flexíveis do tipo pino com cabeça (*stud bolt*), pois são de simples fabricação (processo de soldagem semiautomático) e apresentam a mesma resistência em todas as direções (ALVA, 2000). Segundo Saúde et al. (2006, p. 3-4), os conectores *stud bolt* são soldados através de uma pistola automática, e se inicia o processo quando a base do pino encosta na mesa superior do perfil, quando então se aperta o gatilho da pistola, fazendo assim a ligação entre a laje e a viga (figura 7).

Figura 7 – Instalação *stud bolt*

(fonte: SAÚDE et al., 2006, p. 4)

Conforme Fabrizzi (2007, p. 46), “Existem dois grupos principais de conectores: os rígidos e os flexíveis. No primeiro tipo, a ruptura se dá de maneira frágil, isto é, não apresenta patamar de escoamento. O segundo tipo apresenta este patamar e conseqüentemente apresenta ruptura dúctil.”. Sendo que ambos são definidos por meio da relação entre força do conector e deslocamento relativo entre o aço e o concreto.

Deliberato (2006, p. 25) afirma que dependendo dos custos relativos à aquisição, instalação e movimentação dos equipamentos, o uso dos conectores de cisalhamento é determinado ou não, principalmente em obras de pequeno porte, podendo ser substituído pela simples soldagem entre as chapas adjacentes.

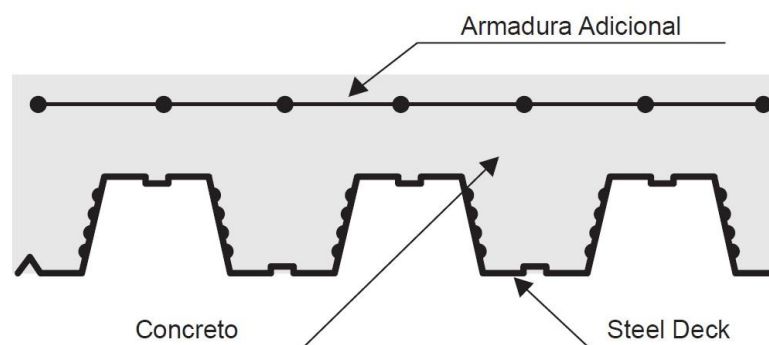
### 3.3.4 Armaduras

Mesmo a fôrma metálica funcionando como armadura positiva da laje e, normalmente, não ser necessária a utilização de armaduras nas zonas de momento negativo, é imprescindível o projetista estrutural verificar se há ou não a necessidade de adicionar barras para resistir às solicitações de momentos positivos e negativos calculadas.

Conforme Deliberato (2006, p. 24), “[...] são empregadas telas de aço soldadas, na parte superior da capa de concreto, visando controlar o aparecimento de fissuras provocadas por variação térmica e por retração no concreto. Essas telas são denominadas de armadura complementar [...]”, como mostra a figura 8.



Figura 8 – Corte esquemático mostrando a posição da armadura complementar (adicional)



(fonte: GRUPO ZÊNITE, 2011)

Segundo Saúde et al. (2006, p. 5-6), essa armadura complementar normalmente é do tipo em malha em forma quadrada e de pequeno diâmetro (figura 9), que atua principalmente na direção normal das vigas e cumpre as finalidades de:

- a) atuar como uma armadura transversal, para evitar a fissuração ao longo do alinhamento de conectores;
- b) obter uma resistência à flexão nos apoios da laje, no caso da ocorrência de fogo;
- c) ajudar na redução da fissuração nos apoios;
- d) controlar a fissuração sobre as vigas e apoios da laje, no caso de ambientes agressivos.

Os mesmos autores recomendam que:

[...] devem ser colocadas armaduras superiores em lajes de espessura reduzida a uma distância de 20 mm, suportadas sobre a superfície superior da chapa. Na prática, tendo em conta as sobreposições, a malha deve situa-se entre os 20 e os 45 mm da face superior da chapa. A sobreposição deve ser no mínimo de 300 mm no caso de malha leve e de 400 mm para malha pesada.

A colocação de armadura complementar é importante nos seguintes casos (SAÚDE et al., 2006, p. 6):

- a) barras no fundo das nervuras, para melhorar a resistência em situações de incêndio;
- b) armadura transversal na zona de conectores;
- c) barras adicionais, onde há grandes aberturas.

Figura 9 – Detalhe das armaduras em uma laje mista



(fonte: METFORM SA, 2010)

Conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, 2008, p. 219):

Para lajes calculadas como simplesmente apoiadas, deve-se colocar armadura para combater os efeitos de retração e temperatura com área não menor que 0,1 % da área de concreto acima da face superior da fôrma. Essa armadura deve ser colocada preferencialmente a 20 mm abaixo do topo da laje. Atenção especial deve ser dada a possibilidade de fissuração da laje nos locais onde possa haver tendência de continuidade dos elementos estruturais, como, por exemplo, nas ligações de vigas secundárias com vigas principais e em relação a pilares (ver anexo N).

### 3.4 VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

No Brasil, ainda não há uma norma específica disponível para verificação e dimensionamento de estruturas mistas. Mas, atualmente, está em fase de elaboração, numa Comissão de Estudos da Associação Brasileira de Normas Técnicas, a nova norma brasileira Projeto de Estrutura de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edificações com Perfis Tubulares, que abordará, entre outros assuntos, aspectos específicos de estruturas mistas com perfis tubulares e deve estimular, ainda mais, a utilização de sistemas mistos (CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2011a). No caso de lajes mistas, há duas normas brasileiras que auxiliam na verificação e no dimensionamento dessas estruturas, que são a NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999) e a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A verificação apenas da fôrma de aço na fase inicial, antes do procedimento da cura do concreto, quando ainda não existe um comportamento misto do sistema, deve ser feita

baseada na NBR 14762<sup>5</sup>/2010, assim como as demais estruturas de aço constituídas por perfis de aço formados a frio. Deve-se determinar os estados limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS) do perfil metálico adotado. Em relação às ações a serem consideradas, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219) apresenta como as seguintes ações que devem ser levadas em conta:

- a) pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço e da armadura;
- b) sobrecarga de construção;
- c) efeito de empoçamento.

Para o auxílio do projeto e do dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto, o anexo Q da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211) faz diversas recomendações sobre os critérios que devem ser adotados para o cálculo dessas estruturas. Essas são abordadas mais detalhadamente a seguir na verificação das lajes mistas, esta mesma Norma, recomenda em relação aos estados limites últimos, que sua resistência deve ser tal que suporte as solicitações de cálculo:

- a) do momento fletor;
- b) do cisalhamento longitudinal;
- c) do cisalhamento vertical;
- d) da punção.

Já para o estado limite de serviço, a Norma apresenta a verificação das lajes mistas em relação à fissuração do concreto e ao deslocamento vertical. Na análise das ações a serem consideradas, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219) recomenda que “Para os estados limites últimos de lajes mistas de aço e concreto, deve-se considerar que todo o carregamento é sustentado pelo sistema misto de aço e concreto.”.

### 3.5 SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A perda de vidas humanas é a preocupação fundamental em uma situação de incêndio, mas os prejuízos econômicos também devem ser considerados, como os danos causados a uma

---

<sup>5</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

edificação. Por isso, os Projetos de Prevenção Contra Incêndios (PPCI) são direcionados à segurança dos indivíduos e a diminuição das perdas econômicas. As medidas de segurança e proteção contra incêndio podem se classificar em ativas e passivas. As ativas preveem a existência de meios adequados à salvação das pessoas, começando pelo próprio projeto arquitetônico, e as passivas visam reduzir a probabilidade de colapso das estruturas sempre que ocorra um incêndio severo (PANNONI, 2011).

Os aços estruturais sofrem reduções progressivas em sua resistência mecânica quando submetidos a condições de temperaturas superiores à ambiente. Com isso, para a melhoria de sua capacidade de isolamento térmico, tem-se utilizado nas construções metálicas aços menos sensíveis às altas temperaturas ou a aplicação de materiais isolantes térmicos sobre a superfície dos componentes estruturais de aço, representando medidas de proteção passiva. A segunda alternativa representa uma solução mais barata e uma das mais utilizadas é a aplicação de argamassa projetada à base de vermiculita, composta basicamente de vermiculita expandida, cimento Portland e aglomerados minerais. Não necessitam, para sua aplicação, a retirada da carepa de laminação ou de alguma ferrugem formada. Antes da projeção, faz-se uma limpeza manual, retirando-se o material solto sobre a superfície, e, para melhorar sua aderência ao aço, costuma ser necessária a utilização de telas (PANNONI, 2011).

Conforme Alva (2000), a defesa contra o fogo influenciará na escolha do tipo de estrutura (de concreto, mista ou de aço) que será adotada, pois afeta o custo final da edificação. O preenchimento ou o revestimento de perfis de aço com concreto, oferecendo a estrutura um comportamento misto, podem ser soluções econômicas quando é necessária a proteção contra o fogo e contra a corrosão.

De acordo com Alva (2000, p. 182), “A resistência de um elemento de aço ao fogo corresponde ao tempo, indicado usualmente em minutos, necessário para se atingir o colapso estrutural, estando submetido a uma condição de incêndio preestabelecida e padronizada [...]”. Alva (2000) ressalta também que o modo de colapso por flexão é o mais comum em lajes mistas expostas ao fogo, e que as características que mais afetam o comportamento térmico dessas lajes são a geometria da fôrma de aço, o peso próprio e a espessura do concreto.

Para Deliberato (2006, p. 64), a edificação tem que ser capaz de preservar a estabilidade e a segurança estrutural durante um período mínimo, e isso só é obtido quando a ação do fogo é levada em conta no dimensionamento das peças, podendo acarretar em maior consumo de

material (como o aço e o concreto), maior peso do edifício e custos muito maiores para sua execução. O mesmo autor observa que é preciso considerar que durante uma situação de incêndio, há uma elevação da temperatura do ambiente, dessa forma todos os materiais, inclusive o aço e o concreto, apresentam alterações em suas propriedades mecânicas. Com isso, há a redução de suas resistências e rigidezes, e surgem outras solicitações que devem ser combinadas àquelas consideradas em temperatura ambiente.

No Brasil, a NBR 14323, mais precisamente no seu anexo C, trata do dimensionamento de lajes mistas em situação de incêndio e faz diversas considerações caso as lajes sejam ou não revestidas por um material de proteção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 68). No primeiro caso de verificação estrutural, para lajes sem material de proteção, considera-se o fogo agindo na face inferior da laje. Pela presença da fôrma de aço considera-se previamente que as lajes mistas são estanques e que a resistência em situação de incêndio é no mínimo de 30 minutos. Com isso deve-se dimensionar a estrutura atendendo a dois critérios: de isolamento térmico e de resistência ao carregamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999).

No critério de isolamento térmico, há uma relação entre a espessura mínima efetiva da laje com o tempo requerido de resistência ao fogo, o qual é atendido se a espessura efetiva da laje não for menor que os valores determinados pela Norma. Quando o concreto for de baixa densidade, os valores fornecidos podem ser reduzidos em 10%.

No critério de resistência ao carregamento, a capacidade da laje mista à flexão é calculada com base na análise plástica global, determinando a resistência do momento fletor positivo e negativo. As resistências à tração do concreto e da fôrma de aço são desconsideradas no dimensionamento.

Na obtenção da resistência ao momento fletor positivo, a influência da temperatura sobre a zona comprimida do concreto é ignorada, devendo-se tomar a resistência à compressão do concreto na temperatura ambiente. Quando obtida a temperatura da armadura, pode-se calcular a resistência dela com os fatores de redução da resistência ao escoamento dos aços treilados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 70).

Já na determinação da resistência ao momento fletor negativo, a laje pode ser analisada considerando a redução da resistência do concreto da parte inferior da laje, devido à influência

da temperatura. A temperatura do concreto na zona comprimida é função da distância acima da parte inferior da laje. Por integração através da espessura da laje, a resultante de compressão no concreto pode ser igualada à resultante de tração da armadura, obtendo-se a resistência ao momento fletor negativo. Com isso, uma vez que a armadura encontra-se no lado não exposto ao fogo, permite-se que ela esteja à temperatura ambiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 73).

No segundo caso de verificação estrutural, para lajes com material de proteção, a resistência em situação de incêndio de uma laje mista é aumentada através da pulverização de material de proteção térmica na face inferior da fôrma ou pela colocação de forros suspensos que proporcionem proteção térmica comprovada, por ensaios ou métodos recomendados por normas ou especificações estrangeiras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 76).

### 3.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

As chapas do *steel deck*, como qualquer estrutura metálica, são elementos pré-fabricados que passam por um processo de fabricação altamente industrializado que garante menos desperdício de material, minimiza as possibilidades de erro e aumentam o padrão de qualidade das obras que utilizam esse sistema. Após a liberação de cada projeto estrutural, ele chega à fábrica e é elaborado um projeto de fabricação, que contém todos os elementos e os detalhes dos componentes da estrutura. Com isso, as estruturas que foram usadas mais tarde na construção, são produzidas em torno de 45 dias antes de irem para o local da obra (GRUPO MEDABIL, 2011e).

### 3.7 ETAPAS DE EXECUÇÃO

Com o objetivo de atingir uma grande produtividade no canteiro de obra ao se utilizar o sistema de lajes mistas *steel deck*, é importante que todas as etapas, desde o transporte das chapas até a concretagem da laje, sejam previstas e planejadas, para que o mínimo de imprevistos ocorra. É imprescindível também, a descrição detalhada nos projetos das técnicas construtivas, ferramentas e materiais empregados em cada serviço. As etapas detalhadas da execução de uma laje mista são abordadas, mais detalhadamente, após a análise de dados de projeto e do diário de obra de uma construção metálica utilizando lajes mistas *steel deck*.

Silva (2010, p. 6) destaca as principais atividades do fluxo de execução de uma laje mista *steel deck*, que são:

- a) içamento, distribuição e espalhamento das chapas de aço;
- b) montagem da estrutura;
- c) escoramento nas áreas necessárias;
- d) fixação da estrutura, através dos conectores de cisalhamento;
- e) fixação dos arremates;
- f) aplicação de fita adesiva nas juntas;
- g) colocação da malha antifissuração;
- h) inserção dos espaçadores;
- i) proteção das áreas de recorte;
- j) colocação das mestras;
- k) concretagem;
- l) nivelamento;
- m) acabamento superficial.

É fundamental que, durante a execução e após a finalização das lajes mistas, haja uma grande fiscalização, tanto das empresas fornecedoras como das construtoras, dos empreendimentos com emprego do *steel deck*, pois a mão de obra disponível ainda não assimilou os procedimentos necessários à execução desse tipo de sistema estrutural (DELIBERATO, 2006, p. 118).

Os próximos itens descrevem algumas das etapas de execução do sistema de laje mistas *steel deck*.

### 3.7.1 Transporte

As chapas metálicas do *steel deck* devem ser transportadas em fardos firmemente cintados e de maneira que fiquem longe de substâncias químicas que possam agredi-las, por exemplo a água, pois podem sofrer corrosão (SANTOS, [2009], p. 63).

Deliberato (2006, p. 97) cita alguns procedimentos padronizados que os fabricantes devem tomar para o transporte das peças:

- a) seguro do transporte;

- b) os fardos devem ser acondicionados e fixados ao veículo de transporte de tal forma a inibir os movimentos repentinos e inesperados nas paradas e arrancadas, bem como garantir a estabilidade lateral nas curvas;
- c) a cada entrega, os fardos do *steel deck* devem ter seu carregamento e transporte planejado em virtude do peso e de suas dimensões, pois haverá necessidade do balanceamento da carga;
- d) os fardos devem ser separados tanto horizontalmente como verticalmente com calços de bitola mínima de 1 ½ polegadas;
- e) verificação nas cintas de fixação das peças integrantes de um fardo, e dos fardos no veículo de transporte, pois qualquer choque ou vibração tende a comprimir os fardos, o que pode resultar no afrouxamento dos cabos e provocar situações de perigo.

### 3.7.2 Recebimento e Armazenamento

Conforme Deliberato (2006), a entrega e o recebimento dos fardos de *steel deck*, devem ser previstos com antecedência para a adequação do canteiro e utilização de equipamentos de transporte, como empilhadeiras, guias ou guindastes. No recebimento dessas chapas de aço, devem ser verificadas a quantidade, o tipo de perfil, as dimensões, se há desvios dimensionais, como empenos e amassos, tipo de acabamento e espaçamento entre fardos. A figura 10 apresenta algumas operações de logística no canteiro, de como proceder no recebimento, armazenamento, manuseio e segurança dos operários da obra. Deliberato (2006, p. 100) recomenda ainda que “No caso dos fardos serem encaminhados a um local de estoque é necessário que seu acondicionamento seja feito em local seco, ventilado e com empilhamento máximo de três volumes, com leve inclinação longitudinal.”.



Figura 10 – Operações de logística no canteiro



(fonte: SILVA, 2010, p. 9)

### 3.7.3 Montagem e Fixação das Chapas de Aço

Conforme Deliberato (2006), durante a montagem do *steel deck* deve-se ter cuidado com a movimentação dos operários sobre as chapas, com isso elas devem ser bem posicionadas e alinhadas. Os perfis são alinhados sobre a estrutura da edificação e, normalmente, são necessários alguns recortes e ajustes nos cantos e no contorno de pilares. Depois de ajustar as fôrmas à estrutura, os painéis devem ser fixados para que não saiam da posição correta até sua fixação definitiva, com a concretagem.

O mesmo autor explica que, quando esta estrutura é metálica, as chapas podem ser fixadas com parafusos autoatarrachantes, pinos com fixação à pólvora ou por soldas. Já nos casos em que a estrutura é de concreto armado, as placas são fixadas normalmente por solda, sendo esta, inclusive, a técnica mais utilizada. Para fixação com solda, os conectores mais utilizados são os *stud bolt*, os quais são colocados nas nervuras alternadamente.

Deve-se analisar a necessidade de recortes nas chapas, para a passagem de dutos ou *shafts* através da laje. O planejamento dessa atividade é importante, pois as aberturas na laje devem ser marcadas antes da concretagem e os locais demarcados não receberão concreto (DELIBERATO, 2006).

### 3.7.4 Concretagem

A concretagem de uma laje mista é realizada de forma tradicional, mas sem a execução de um contrapiso, com o lançamento do concreto feito por bombeamento. O sentido de lançamento deve ser feito paralelo às nervuras dos perfis que compõem as fôrmas, de uma extremidade da estrutura à outra. A saída do concreto é feita em movimento frequente, com o cuidado de se observar sua acomodação nas fôrmas de modo uniforme. Para contenção lateral do concreto em arremates nas extremidades e nos vãos, normalmente é usado um gabarito de madeira, fixado nas chapas de aço. Em alguns casos, conforme o espaçamento entre as vigas suporte da laje, pode ser necessário o escoramento provisório durante a concretagem e o endurecimento do concreto. Não podem ser usados aditivos a base de cloretos, como os aceleradores de resistência e aceleradores de pega, pois eles podem comprometer a galvanização dos perfis de aço (DELIBERATO, 2006).

Sendo essa etapa uma das mais importantes na execução de lajes mistas *steel deck*, Souza et al. (1995, p. 33) consideram que para obtenção de lajes racionalizadas, é necessário a elaboração de um projeto de produção destinado a orientar os serviços de concretagem, que deve contemplar:

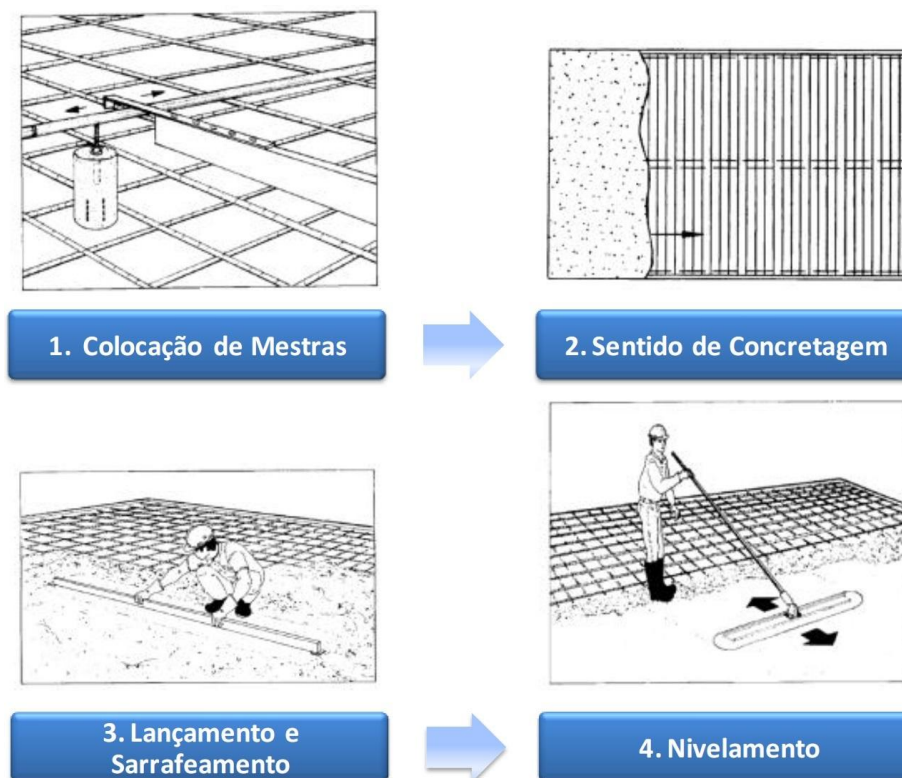
- a) definição das frentes de concretagem, em função da posição do elevador de cargas e da geometria do edifício;
- b) definição do caminhamento da concretagem, em função da dimensão da régua de sarrafeamento e outros equipamentos que cumpram a função;
- c) posicionamento das taliscas;
- d) posicionamento de componentes das instalações, que eventualmente sejam embutidos na espessura da laje;
- e) posicionamento dos caminhos empregados para circulação de operários e equipamentos, durante a concretagem.

Para Silva (2010, p. 8), a estes fatores também devem ser, obrigatoriamente, acrescentados:

- a) orientação para o recebimento do concreto: como a verificação do abatimento de tronco de cone, a moldagem de corpos de prova e o mapeamento da laje de acordo com cada caminhão betoneira, a fim de possibilitar o rastreamento do lote, caso a resistência do concreto não seja atingida;
- b) cura: cuidados especiais de acordo com a espessura da laje, localização da obra e o respectivo clima local.

Na figura 11, destacam-se quatro importantes fases da concretagem, além da última etapa de acabamento com desempenadeira motorizada, para a obtenção de um acabamento superficial sem a necessidade de execução de um contrapiso.

Figura 11 – Fases da concretagem



(fonte: SILVA, 2010, p. 8)

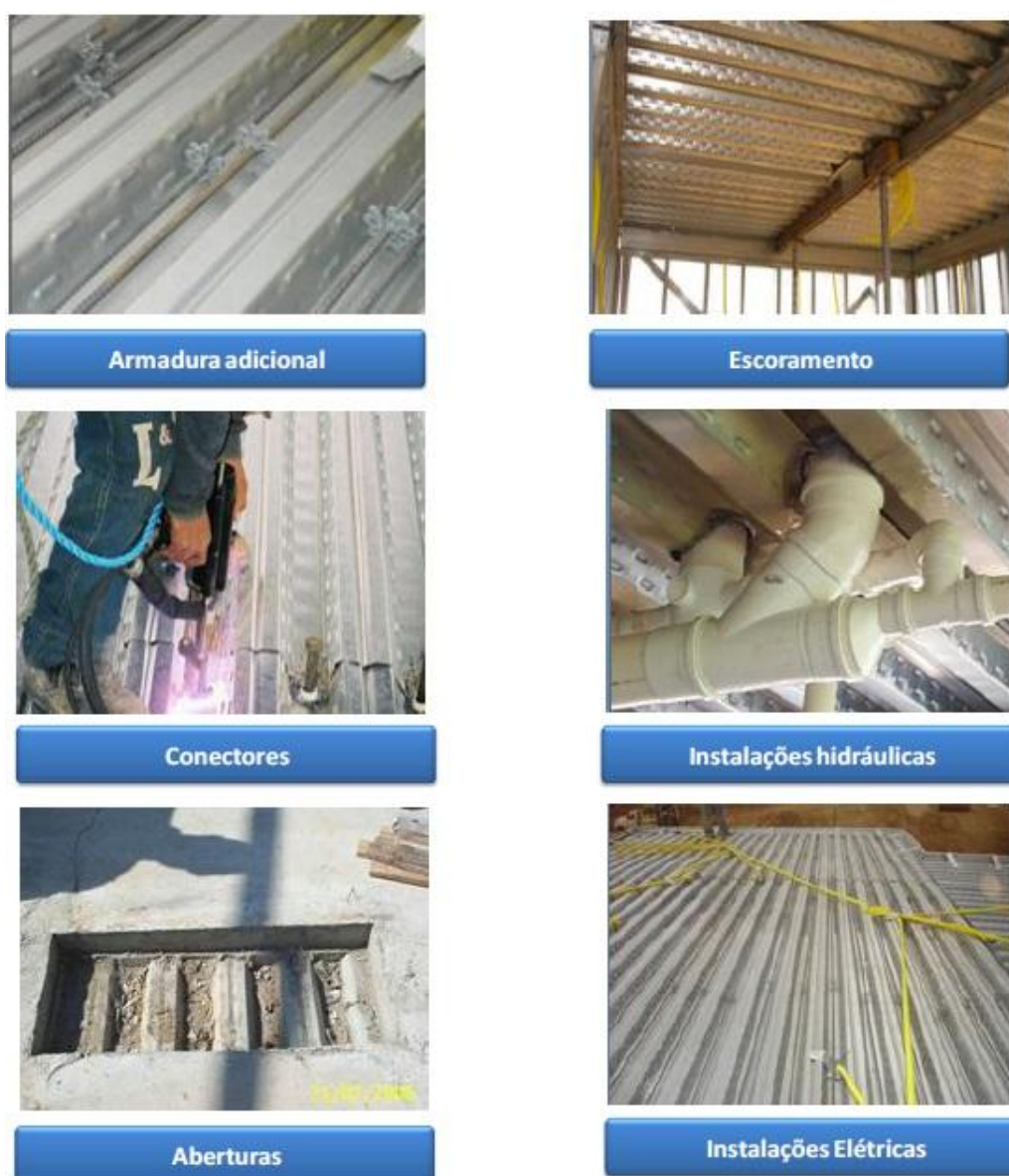
### 3.7.5 Interferências de Projeto

Silva (2010, p. 8) recomenda a elaboração de um estudo que apresente as soluções para as situações verificadas na compatibilização dos projetos. E para o caso de lajes mistas, ele cita algumas das interferências de projetos, ilustradas na figura 12, que podem ser encontradas durante a execução desse sistema, como:

- a) necessidade de proteção contra corrosão;
- b) necessidade de armadura adicional;
- c) necessidades específicas de proteção contra incêndios;
- d) espaçamento entre vigas superior ao recomendado pelo fabricante;
- e) aplicação de cargas dinâmicas sobre a laje;

- f) aberturas na laje;
- g) altura final da laje;
- h) trechos em balanço;
- i) utilização de conectores;
- j) altura e largura útil do *steel deck*;
- k) dutos elétricos e tubulações hidráulicas embutidas na laje.

Figura 12 – Interferências de projeto



(fonte: SILVA, 2010, p. 9)

## 4 SISTEMA DE LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO

As lajes zero em concreto armado diferenciam-se, principalmente, das lajes em concreto armado convencional em relação ao acabamento superficial após a concretagem. Nesse tipo de laje, há a eliminação do contrapiso, visando a redução de material e de mão de obra. Elas também são uma alternativa, assim como o *steel deck*, de obtenção de sistemas mais racionalizados na construção civil.

### 4.1 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Segundo Souza e Melhado (2002), existem três tipos de lajes conforme o acabamento superficial:

- a) convencional: necessita de camada de regularização (contrapiso) antes da colocação do piso, pois não é executada com controle de nivelamento e rugosidade da superfície;
- b) nivelada: há um controle no seu nivelamento por um projeto de produção que define uma tolerância de espessura, possibilitando uma camada mínima de contrapiso, que não pode ser dispensada;
- c) acabada ou laje zero: exige controles de nivelamento, de planeza e rugosidade mais rígidos, para que possa receber o revestimento final de piso sem a necessidade de execução de contrapiso.

### 4.2 FÔRMAS E ESCORAMENTOS

Para a obtenção do resultado de superfície nivelada, advindo da técnica construtiva de lajes zero em concreto armado, são necessários diversos cuidados e emprego de ferramentas e equipamentos especiais. Nos cuidados exigidos, destacam-se os procedimentos nas fôrmas e escoramentos das lajes (ALLGAYER, 2010).

As fôrmas, para a obtenção desse tipo de laje, devem receber um cuidado especial, pois devem estar perfeitamente niveladas, com o auxílio do uso de referência de nível a laser. Um projeto de produção para os escoramentos é imprescindível, para evitar decisões tomadas no canteiro de obras, que possam causar deformações na laje ou gastos desnecessários com o sistema. As escoras que trazem melhores resultados para a execução de lajes zero são as metálicas com controle de altura (SOUZA; MELHADO, 2002).

### 4.3 ARMADURAS

Uma laje de concreto armado convencional permite uma camada de regularização que pode, entre outras coisas, servir para encobrir falhas da colocação da armadura. Com isso, nas lajes zero a colocação da armadura precisa ser bem definida, projetada e executada, pois elas não recebem essa camada regularizadora. Os elementos da armadura devem ser colocados em seu perfeito posicionamento, sem conflitos com os eletrodutos e caixas de instalações elétricas. Com o auxílio de espaçadores, devem ser colocados afastados da superfície das fôrmas de modo a não se exporem após a concretagem. Por isso, é imprescindível que o projeto defina os parâmetros de sua colocação (ALLGAYER, 2010).

### 4.4 COLOCAÇÃO DE ELEMENTOS EMBUTIDOS NA LAJE

De acordo com Souza e Melhado (2002), outro fator importante na obtenção das lajes zero é em relação aos elementos embutidos na laje, elétricos e hidráulicos, pois são pontos normalmente responsáveis por problemas patológicos, como os vazamentos, e erros de instalação, como as caixas de passagens. Com isso, é necessária a existência de um projeto de furação que especifica a localização exata dessas instalações, minimizando os retrabalhos gerados por esse processo.

### 4.5 CONCRETO

Além da preocupação com a resistência à compressão do concreto, é importante também observar a consistência do concreto em todas as etapas da concretagem, não só no início dessa etapa com a verificação do ensaio de abatimento de tronco de cone. A consistência adequada deve ser mantida até a etapa de acabamento, pois um concreto com baixo teor de finos na sua composição não oferece uma superfície rica em argamassa (após o seu adensamento), fator desfavorável quando se deseja obter uma superfície lisa. Com isso, pode ser necessária a utilização de aditivos que melhoram sua consistência ao longo das etapas (SOUZA; MELHADO, 2002).

Conforme os mesmos autores, a coesão é outra propriedade importante, relacionada com o teor de pasta existente no material, sendo que o teor de finos deve ser bastante elevado quando

se procura uma alta qualidade no acabamento superficial. Entretanto, o concreto não deve ser muito coesivo, o que causa dificuldades da etapa de lançamento.

Para Allgayer (2010), o procedimento de cura também tem grande influência no acabamento do concreto e, por isto é importante que sejam seguidas todas as recomendações de execução desta etapa, para não comprometer a qualidade do acabamento da laje zero, gerados pela consequência de uma cura mal feita.

#### 4.6 NIVELAMENTO E ACABAMENTO

Os processos de nivelamento e acabamento durante a concretagem determinam a qualidade do acabamento superficial do concreto. Com isso, Souza e Melhado (2002) sugerem alguns passos fundamentais que devem ser seguidos, ou seja, aplicação:

- a) das desempenadeiras manuais de cabo longo;
- b) da acabadora de superfície (helicóptero) a partir do momento em que for possível caminhar sobre o concreto e deixar leves marcas dos sapatos;
- c) de desempenadeiras de aço manuais de cabo curto para retocar a superfície.

#### 4.7 CONTROLE DA PEÇA PRONTA

Conforme Souza e Melhado (2002), para verificação da planicidade e do nivelamento da laje, devem ser feito o controle do recebimento da peça pronta, um dia após a concretagem, através da medida das cotas da laje com nível laser. Com os resultados obtidos, deve ser feita a comparação com os valores de tolerância estabelecidos pela empresa responsável pelo projeto, aceitando ou não o serviço executado. Caso esses resultados tenham ultrapassados os limites de tolerância, deve ser feito um contrapiso para nivelar a laje. E se a peça pronta obtiver rugosidade superficial inadequada, deve ser adotada, como correção, a aplicação de uma fina camada de constituída de cimento e resina PVA (*Polyvinyl Acetate*).

Para evitar que desníveis e rugosidades indesejados sejam evitados, é importante salientar que o controle rigoroso deve ser feito durante todas as etapas de execução da laje. Caso seja necessário realizar uma camada de regularização (contrapiso), o sistema não se torna mais vantajoso, podendo até tornar-se inviável.



## 5 DADOS REFERENTES À OBRA COM SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*

Este capítulo trata da análise dos dados de projeto e do diário de obra da execução de uma edificação com pilares mistos, vigas metálicas e lajes em *steel deck*.

### 5.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação estudada foi a construção do Hotel Ibis, um empreendimento de 7 andares, com 30 metros de altura, 15 metros de largura e 40 metros de comprimento (construídos), localizado na cidade de Canoas, região metropolitana de Porto Alegre/RS. O projeto e a execução da estrutura metálica foram realizados pelo Grupo Medabil, empresa que forneceu diversos dados do projeto e permitiu o acesso ao diário de obra da construção para a realização deste trabalho. A figura 13 mostra a fachada do hotel.

Figura 13 – Fachada do Hotel Ibis



(fonte: PORTAL DA HOTELARIA, 2012)



O início da montagem da estrutura metálica iniciou dia 23 de agosto de 2011, com a colocação do 1º pilar, e finalizou dia 29 de novembro do mesmo ano, com a instalação da última placa de *steel frame*. Ou seja, em 68 dias a estrutura metálica dos 7 pavimentos, a concretagem das lajes em *steel deck*, a montagem e a concretagem das escadas (também em estrutura mista) e a instalação da estrutura e das placas cimentícias que compõem a fachada do prédio foram finalizadas.

É analisado para o trabalho apenas a execução da estrutura dos pilares, das vigas e das lajes, que inclui a montagem da estrutura metálica dos sete pavimentos e a concretagem de todas as lajes em *steel deck*. Dados anteriores e posteriores a essas etapas, como a execução das fundações, a instalação da fachada no sistema de *steel frame* e itens referentes ao acabamento interno do prédio, não serão considerados, apenas mencionados.

## 5.2 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO

A construção do empreendimento foi dividida em duas etapas, 1 (ala direita) e 2 (ala esquerda), e iniciou com a execução das fundações da etapa 1. Enquanto a estrutura da primeira etapa estava sendo montada, finalizavam-se as fundações da segunda etapa. Apenas após a conclusão da estrutura da primeira etapa (pilares, vigas e lajes dos 7 pavimentos), iniciou-se a segunda etapa de montagem. Então, os pilares da etapa 2 começam a ser montados simultaneamente com o início da instalação da fachada da etapa 1. A figura 14 mostra essa divisão.

Figura 14 – Etapas 1 e 2



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011b)

A divisão em etapas, que não seria possível em estruturas de concreto armado convencionais, teve como propósito a otimização do tempo da obra, pois libera espaço para a atuação de diversas equipes em atividades diferentes simultaneamente no canteiro; mesmo em um espaço reduzido, o planejamento da atuação de cada equipe garante também a segurança dos profissionais.

### 5.3 ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRA

Antes do início da construção da edificação, diversas atividades aconteceram no terreno onde está localizada a obra, como levantamentos topográficos, movimentações de terra, montagem do canteiro de obra (áreas operacionais e de vivência), e enquanto isso os perfis e as chapas metálicas estavam sendo produzidas na fábrica.

Para garantir qualidade e agilidade durante a construção da edificação, foi fundamental a organização de núcleos dentro do canteiro da obra, com etapas ocorrendo em paralelo. As construções metálicas caracterizam-se por serem obras com pouca geração de resíduos e desperdícios, com isso não houve a preocupação com a retirada constante desses materiais e favoreceu a simultaneidade dos trabalhos no canteiro.

Continuamente materiais eram descarregados no terreno, desde as peças da estrutura metálica, como os pilares, as vigas e as chapas metálicas do *steel deck* até os parafusos que fazem as suas ligações. O trânsito foi intenso durante as etapas da fundação e do início da montagem da estrutura metálica, pois mais da metade dos materiais necessários para a construção da obra já estava armazenada no canteiro. Após a descarga dos materiais, eles eram separados e encaminhados para seu local de utilização, fazendo com que os trabalhadores estivessem constantemente abastecidos de matéria prima para a execução de suas tarefas. Com o auxílio de dois guindastes e um caminhão Munck, ocorreu o transporte, o içamento e o posicionamento das peças até a sua posição definida em projeto. Na figura 15 tem-se um registro do canteiro de obra.

Figura 15 – Vista do canteiro de obra



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011d)

## 5.4 FUNDAÇÕES

Antes do início da montagem da estrutura metálica, a execução das fundações, como mostra a figura 16, exigiu um trabalho de preparação e de compactação do solo cuidadoso e essencial, feito além dos limites do local onde foi erguido o hotel, para suportar também o trânsito de guindastes e demais maquinários no entorno da obra durante toda a construção.

Por proporcionar cargas mais leves do que as de obras em estrutura de concreto armado, um empreendimento construído em estrutura metálica exige menos robustez da sua fundação. No caso da obra de Canoas, foram feitas 55 estacas escavadas interligadas por vigas de baldrames, utilizados mais de 20 ton de aço e uma média de 200 m<sup>3</sup> de concreto nas fundações, calculados de acordo com a carga total da estrutura e as condições de estabilidade oferecidas pelo solo.

Devido à precisão milimétrica exigida pela construção metálica, foram necessárias duas equipes experientes de topografia acompanhando todo o desenvolvimento da fundação, uma que faz o trabalho e garante a conformidade das medidas, e outra que verifica, por precaução, se todos os padrões foram aplicados.

Figura 16 – Execução das fundações



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011f)

## 5.5 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO

Neste item é descrito detalhadamente o processo executivo utilizado nos sete pavimentos da obra estudada, analisando também a mão de obra e os prazos de execução de cada tarefa.

### 5.5.1 Montagem da Estrutura Metálica dos Pilares e das Vigas

O início da montagem da estrutura metálica foi marcado pelo fim da execução das fundações. Começando pela etapa 1, com a colocação dos 18 pilares que estruturam 50% da área construída. Junto com os pilares da etapa 2, eles totalizam 36 pilares que suportam os pavimentos do hotel. Após a montagem de cada conjunto de pilares e vigas, eles foram apurados, alinhados e aparafusados. A união entre as peças foi feita através de parafusos, que são colocados com auxílio de cantoneiras ou talas de emenda e apertados, garantindo assim a resistência necessária para a ligação. Após a montagem de cada um dos elementos da estrutura metálica, é conferido o prumo, o nível e o posicionamento dos mesmos.

Tanto os pilares quanto as vigas, já estavam armazenados na obra, evitando problemas de atraso na chegada desse material. Dentro do canteiro, eles eram movimentados com o auxílio de dois guindastes e um caminhão Munck. Para a montagem dessa estrutura metálica foi necessária uma equipe de, no máximo, 15 pessoas e o tempo de execução foi, em média, de 2 dias para cada tramo de pilares e 2 dias para as vigas de um pavimento, em cada uma das

etapas (1 e 2). A seguir, os pilares e as vigas utilizados na construção do hotel serão caracterizados.

#### 5.5.1.1 Pilares

Os pilares utilizados foram perfis de aço com seção I com envolvimento parcial de concreto (com  $f_{ck}$  de 30 MPa), denominados pilares mistos. Essa combinação do pilar de aço com concreto tira proveito de cada um desses materiais, com o primeiro resistindo aos esforços de tração e o segundo aos esforços de compressão. Além disso, o concreto tem grande contribuição na proteção contra o fogo e a corrosão desses pilares.

Para adiantar a montagem da estrutura, os pilares metálicos da obra foram previamente concretados *in loco* e armazenados no canteiro, conforme ilustram as figuras 17 e 18, para que no final da execução das fundações já fossem iniciadas as colocações dos pilares do primeiro pavimento da etapa 1.

Os pilares do segundo ao sétimo andar são tramos que correspondem a 2 pavimentos. Ou seja, após o término da instalação do primeiro pavimento, os andares são montados de 2 em 2, o segundo junto com o terceiro, o quarto junto com o quinto e o sexto junto com o sétimo. As ligações entre pilares foram feitas através de chapas (talas) e parafusos.

Figura 17 – Pilares mistos previamente concretados



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011)



Figura 18 – Pilares mistos armazenados no canteiro



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011g)

#### 5.5.1.2 Vigas

As vigas metálicas principais e secundárias utilizadas para a construção do hotel também foram perfis de aço de seção I, mas não foram concretadas, conforme ilustra a figura 19. Elas foram colocadas logo em seguida que os pilares do pavimento foram instalados. As ligações viga com viga e viga com pilar foram feitas através de chapas e parafusos.

Figura 19 – Vigas metálicas

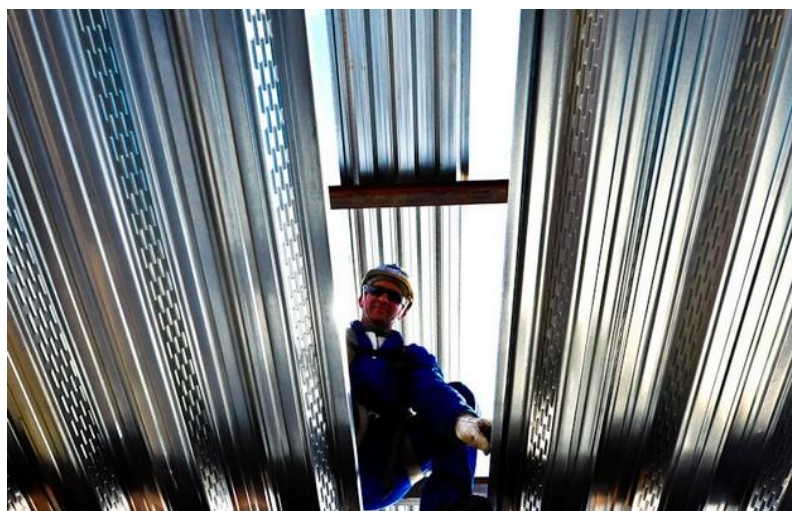


(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011h)

### 5.5.2 Montagem do *Steel Deck*

Antes do início da montagem, foi realizada a conferência do nivelamento da mesa superior da viga, atividade fundamental para se obter um perfeito contato entre as chapas metálicas galvanizadas do *steel deck* e a viga de aço. Com isso, as chapas foram assentadas sobre o vigaamento seguindo as orientações dos projetos estruturais e do fabricante, nas quais consta a paginação e o modo de fixação das chapas, detalhamento dos arremates perimetrais e pontos de aberturas, entre outros detalhes de montagem. Recortes, para algum encaixe nos cantos de pilares, e aberturas, para passagem de *shafts*, foram previstos e executados antes da concretagem, para que posteriores interferências no projeto não aconteçam. Ferrugens, rebarbas, respingos de solda, de oleosidades em geral, além da umidade nas proximidades da região de soldagem, foram totalmente removidas com a limpeza da superfície das chapas, com o auxílio de jatos de água e escovas. A figura 20 mostra a montagem das chapas do *steel deck*.

Figura 20 – Colocação das chapas do *steel deck*



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011d)

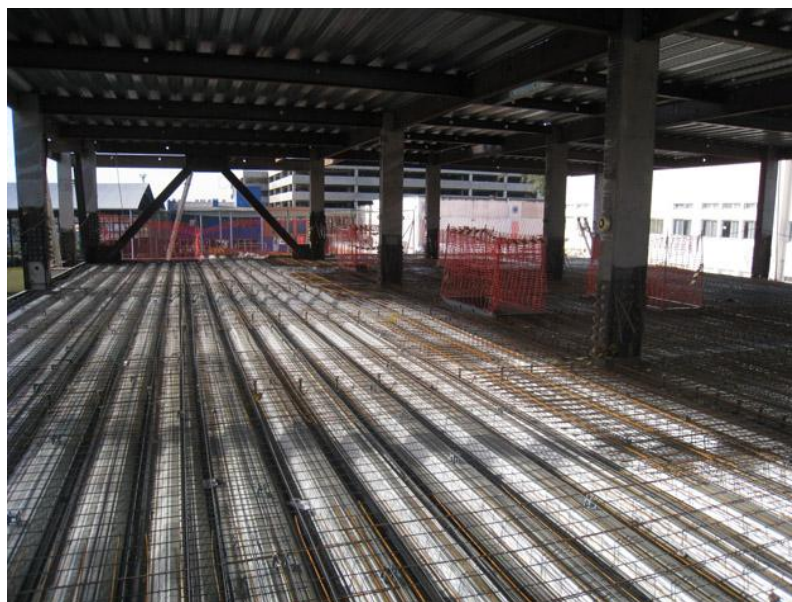
A ligação entre as vigas metálicas e as chapas de aço foi feita por meio de conectores de cisalhamento do tipo *stud bolts*, já ilustrados na figura 7, fixados na mesa superior da viga por eletrofusão, ficando embutidos no concreto da laje. Os *stud bolts* funcionam como peças que absorvem os esforços de cisalhamento longitudinais e impedem o afastamento vertical entre a laje e a viga. Devem ser fixados após o término da montagem da fôrma de aço e antes da concretagem. O ideal é que a aplicação dos conectores seja feita logo após a montagem da

fôrma de aço, evitando a possibilidade de acúmulo de água entre os painéis e a face superior das vigas.

O *stud bolt* foi introduzido em uma pistola automática ligada a um equipamento de soldagem. O processo foi iniciado quando se encostou a base do pino no *steel deck* e se apertou o gatilho da pistola. Neste momento, abriu-se um arco elétrico, que foi mantido por tempo suficiente para que uma parte do pino e do material-base atingisse o ponto de fusão. Então, a pistola automaticamente empurrou o pino na direção da poça de fusão, ao mesmo tempo em que cortou a corrente elétrica. Quando o material fundido se solidificou, o processo de soldagem se finalizou. O processo durou apenas alguns segundos (TAMAKI, 2012, p. 33).

Após a conclusão da montagem, da fixação das fôrmas, da instalação dos conectores de cisalhamento e aplicação das fitas adesivas (no encontro entre as chapas), foram colocadas as armaduras complementares (ver figura 21), para a distribuição de esforços e redução da fissuração do concreto. Similares a uma tela, elas ficaram posicionadas a 20 mm abaixo da superfície do concreto da laje e a taxa de armadura utilizada foi de aproximadamente 35 kg/m<sup>3</sup>.

Figura 21 – Armaduras complementares



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011h)

Para a montagem do *steel deck*, envolvendo todas as preparações para a estrutura receber o concreto (como a fixação das chapas e a colocação das armaduras complementares), foi



necessária uma equipe de 10 montadores e 1 soldador, e o tempo de execução dessa atividade foi, em média, de 3 dias para cada laje em cada uma das etapas.

### 5.5.3 Concretagem da Laje

A concretagem foi feita de forma semelhante ao da execução de uma laje zero em concreto armado, com isso os procedimentos foram o lançamento, o adensamento, o nivelamento, o acabamento e a cura do concreto, de 30 MPa. A altura final da laje ficou em 14 cm, sendo 7,3 cm do *steel deck* e 6,7 cm da capa de concreto. A conexão mecânica entre o concreto e a fôrma metálica se deu pelas mossas, saliências e reentrâncias, existentes na superfície da fôrma metálica.

O concreto utilizado foi produzido por uma central e transportado por um caminhão betoneira até a obra. Para chegar até o local específico da concretagem, foi bombeado com o uso de um caminhão-lança, onde a bomba fica acoplada no próprio veículo que possui também uma tubulação retrátil (lança). Para o recebimento do concreto em obra, foram seguidas as seguintes ações:

- a) ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*) a cada betonada, para avaliação da consistência do concreto;
- b) moldagem de corpos de prova, para testar a resistência do concreto em laboratório;
- c) mapeamento da laje de acordo com cada caminhão betoneira, com a finalidade de possibilitar o rastreamento do lote, caso a resistência do concreto não seja atingida.

Antes do lançamento do concreto, foi verificado se as chapas estavam corretamente soldadas e devidamente conectadas às vigas metálicas, se as armaduras estavam precisamente instaladas e se a superfície estava livre de sujeiras e fragmentos. Além disso, para maior controle da espessura da laje, o aparelho de nível laser foi nivelado com o ponto de partida do concreto. As áreas estabelecidas para a execução dos vazios, onde passam os *shafts*, foram isoladas com madeira antes da concretagem, conforme a figura 22.

Figura 22 – Preparação do *steel deck* para a concretagem

(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011j)

O concreto foi lançado uniforme e diretamente sobre o *steel deck* (ver figura 23), de baixa altura, para impedir grande impacto com as chapas, e espalhado na direção perpendicular às nervuras (ver figura 24), garantindo que toda a armadura seja coberta pela massa de concreto. Teve-se o cuidado de evitar a fuga de nata de concreto (estanqueidade) e de algumas chapas não ficarem mais sobrecarregadas que outras, pois isso poderia causar deformações excessivas que comprometeriam a capacidade estrutural da fôrma da laje.

Figura 23 – Lançamento do concreto



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011k)

Figura 24 – Espalhamento do concreto



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011j)

O adensamento foi realizado imediatamente após o lançamento, com a finalidade de remover o ar aprisionado no interior do concreto, com o uso de vibradores mecânicos de imersão. A altura das mestras para o nivelamento do concreto foi aferida com nível laser, com isso o concreto era reguado na cota dessas mestras com o auxílio de réguas metálicas, que tornavam a superfície mais lisa e uniforme.

Em seguida, foi iniciada a etapa de acabamento da superfície de concreto. Primeiramente o plano concretado era umedecido com jatos de água de mangueira (para ajudar no preenchimento dos poros do concreto) e em seguida era alisada com uma desempenadeira manual de cabo longo, denominada *bullfloat*. A área próxima das escadas foi a última a ser alisada, para que os operários não precisassem pisar nas zonas já acabadas.

O acabamento final foi feito com uma desempenadeira do tipo motorizada, mais conhecida como helicóptero, como ilustra a figura 25. Para que essa etapa pudesse ser iniciada, foi necessário aguardar que a superfície suportasse o peso próprio do equipamento e que fosse possível transitar pelas áreas sem deixar nenhuma marca. Essa etapa atribuiu ao concreto uma superfície lisa e polida, através das hélices existentes no equipamento.

Para impedir a perda de água e controlar a temperatura do concreto até que ele alcançasse a resistência desejada, foi utilizado como método de cura à molhagem contínua da superfície de concreto durante 3 dias. Para isso, foi utilizado aspersores de água para jardinagem.

Com a laje já concretada, no dia seguinte foi feito o controle do nivelamento e acabamento final da laje, com a conferência no nível laser e verificando visualmente se há falhas de concretagem. Para toda a etapa de concretagem, foi necessária uma equipe de 10 funcionários e o tempo de execução foi de 1 dia para cada laje em cada uma das etapas.

Figura 25 – Acabamento final da laje com helicóptero



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011i)

## 6 DADOS REFERENTES À OBRA COM SISTEMA DE LAJES ZERO EM CONCRETO ARMADO

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de execução dos pavimentos tipo de uma edificação com estrutura em concreto armado e lajes zero, através do acompanhamento em obra e de dados fornecidos pela empresa construtora responsável pela execução do empreendimento.

### 6.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A obra estudada foi a construção de um empreendimento comercial localizado na cidade de Porto Alegre/RS, trata-se de um edifício de 16 pavimentos mais 1 subsolo, sendo que os pavimentos tipos são do 5. ao 14. andar e possuem área construída de 700 m<sup>2</sup>. Na fase de acompanhamento dessa obra, estava sendo executado o 8. pavimento. A figura 26 mostra a fachada da edificação.

Figura 26 – Fachada da edificação com laje zero



(fonte: foto da empresa construtora)

Os pilares e as vigas dessa edificação foram construídos no sistema em concreto armado convencional e as lajes em concreto armado acabadas, ou seja, sem a camada de contrapiso. Para a análise deste trabalho, foi considerada apenas a execução da estrutura dos pavimentos tipo, pois é a que mais se aproximam da estrutura dos pavimentos tipo da construção em *steel deck*. Os dados da execução do 5., 6., 7., 9. e 10. andares foram fornecidos pela empresa construtora e os do 8. andar foram através do acompanhamento da execução da estrutura em obra, todos detalhados no anexo A ao L. O início da montagem das fôrmas dos pilares do 1. pavimento tipo, referente ao 5. andar, foi dia 11 de março de 2013 e o fim da concretagem da laje do 10º andar foi dia 13 de junho do mesmo ano.

Dados anteriores e posteriores à execução da estrutura dos pavimentos tipo, como a execução das fundações, a instalação da fachada no sistema em pele de vidro e itens referentes ao acabamento interno do prédio, não serão considerados para a análise desse trabalho.

## 6.2 ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRA

O canteiro foi organizado de maneira que as áreas de vivência ficassem nos fundos do terreno, para onde está projetado o espaço de paisagismo, com isso só serão desativadas e relocadas no final da construção. Já as áreas operacionais, ficavam no subsolo e no térreo da edificação, onde serão as vagas de estacionamento, que não tem grandes intervenções.

Uma área na lateral da edificação ficou determinada para o estacionamento de veículos de grande porte, como caminhões que trazem equipamentos e materiais e outros que auxiliam na concretagem. Para o transporte vertical de materiais e equipamentos foi utilizada uma mini grua, que fica sempre localizada na última laje que foi concretada, ou seja, de acordo com a subida dos andares ela vai sendo recolocada no pavimento seguinte.

## 6.3 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO

Neste item, serão especificadas detalhadamente as principais etapas acompanhadas em obra da execução de um pavimento em concreto armado com lajes acabadas, analisando também a mão de obra necessária e os prazos de execução de cada tarefa. Os dados de mão de obra e prazos de execução obtidos em cada etapa foram os observados no 8º pavimento.



### 6.3.1 Montagem das Fôrmas e Armaduras dos Pilares

Essa etapa iniciou com a marcação dos 37 pilares e colocação do gualho de cada um deles. Em seguida foi feita a ligação entre a armadura do pilar do pavimento inferior com a do pavimento em questão. Os espaçadores foram fixados na armadura de maneira que o cobrimento seja o especificado em projeto e que a fôrma não se feche durante a concretagem. Essas etapas podem ser visualizadas na figura 27. Enquanto isso, o desmoldante foi aplicado nas fôrmas, para simplificar a desmontagem da mesma após a cura do concreto e facilitar o reaproveitamento delas para os andares superiores. As chapas de madeira compensadas têm o acabamento superficial do tipo plastificado, que permite a reutilização das fôrmas até o final da obra.

Figura 27 – Montagem dos pilares



(fonte: foto da autora)

A montagem dos painéis laterais foi baseada na localização do gualho e é reforçada pela utilização de caibros de madeira colocados na posição longitudinal. No sentido transversal, foram colocadas gravatas metálicas, que têm como finalidade absorver os esforços laterais exercidos pelo concreto. Para evitar a deformação geométrica e a fuga de nata do concreto, foram fixados tensores que atravessam os pilares no sentido transversal. Em seguida, foi instalado o contraventamento com escoras metálicas inclinadas. Com o pilar finalizado (ver figura 28), foram feitas verificações gerais de prumo, de seção e de posicionamento. A etapa da montagem das fôrmas e armaduras dos pilares exigiu, em média, o trabalho de 12

carpinteiros, 2 serventes e 5 ferreiros, e foi executada em 3 dias. Dados que podem ser observados nos anexos G e H, referentes aos dias 6, 7 e 8 de maio.

Figura 28 – Pilar finalizado



(fonte: foto da autora)

### 6.3.2 Montagem das Fôrmas das Vigas e das Lajes

Após o término da montagem das fôrmas e armaduras dos pilares, foram executadas as fôrmas das vigas e das lajes, que utilizaram o mesmo tipo de compensado, desmoldante e escoras metálicas que os pilares. O processo iniciou pelas vigas, com a aplicação de desmoldante nos painéis e colocação dos painéis de fundo. Em seguida, foram instaladas algumas escoras metálicas, que auxiliam na sustentação do peso próprio da viga até a obtenção da cura do concreto. Foi conferido o nivelamento e seguiu-se com a colocação dos painéis laterais e do restante do escoramento. Também aconteceu a colocação de reforços laterais transversais de madeira, dando maior enrijecimento estrutural. Logo após, foram conferidas a locação, a geometria (esquadro, dimensões, prumo, nível) e a estabilidade da forma de viga.

A última etapa de execução das fôrmas se refere às lajes, e iniciou com a montagem das longarinas que foram apoiadas nas escoras metálicas. Essas peças são estruturas metálicas lineares muito parecidas com vigas metálicas, e o conjunto delas formou uma malha nas duas direções que possibilitou o apoio dos painéis do assoalho da laje sobre elas. Após a conclusão do barroteamento (ver figura 29), foi iniciada a montagem do assoalho, onde os painéis eram colocados lado a lado, junto com as tiras de reescoramento, e pregados nas longarinas,



cuidando para não deixar espaços vazios que permitam a perda de concreto. Os painéis foram instalados na mesma posição do pavimento anterior, para que recortes e marcações, como os das passagens elétricas e hidráulicas, fossem reaproveitados. Em seguida, aconteceu a aplicação do desmoldante e colocação de elementos embutidos (como os gabaritos das instalações hidráulicas) e instalações elétricas (caixas de passagem, pontos de iluminação e eletrodutos), conforme a figura 30. Por último, foram feitas as conferências de nível, contra flecha, número e posições das escoras e faixas de reescoramento. Para todas as atividades citadas que envolvem a montagem das fôrmas das vigas e das lajes, foi necessário, em média, uma equipe de 13 carpinteiros, 1 servente, 2 hidráulicos e 3 eletricitas, e foram necessários 3 dias para suas execução. Dados que podem ser observados no anexo G, referentes aos dias 8, 9 e 10 de maio.

Figura 29 – Barroteamento metálico



(fonte: foto da autora)

Figura 30 – Colocação de elementos embutidos



(fonte: foto da autora)

### 6.3.3 Concretagem dos Pilares

O concreto utilizado nessa obra foi produzido por uma central e o  $f_{ck}$  utilizado foi de 35 MPa. Os procedimentos no recebimento desse concreto foram, assim como os utilizados na obra anteriormente mencionada, o ensaio de abatimento de tronco de cone, moldagem de corpos de prova e mapeamento dos pilares de acordo com cada caminhão betoneira.

O concreto foi lançado, após o bombeamento, por uma tubulação rígida fixada no interior da construção, pelo poço do elevador. Com o auxílio do mangote, que pode ser ajustado de acordo com a distância necessária, o concreto foi lançado para dentro dos pilares, introduzido no fundo e sendo levantado na medida em que aumenta o nível do concreto, para evitar a segregação do mesmo. Enquanto isso, um vibrador de imersão fazia o adensamento desse concreto. Essas etapas podem ser visualizadas na figura 31. Para essa etapa foi necessária, em média, uma equipe de 10 funcionários e teve a duração de 1 dia, conforme podemos observar no anexo G, referente ao dia 13 de maio.

Figura 31 – Concretagem dos pilares



(fonte: foto da autora)

### 6.3.4 Montagem das Armaduras das Vigas e das Lajes

Com as armaduras das vigas já montadas, elas foram colocadas dentro das fôrmas com os espaçadores fixados. Após esta colocação, foram conferidas as barras de aço de todas as vigas, em relação às quantidades, às bitolas, aos espaçamentos e aos posicionamentos delas.

A montagem das armaduras das lajes iniciou com o posicionamento das armaduras positivas com seus espaçadores, que evitam o contato entre elas e o fundo da forma, garantindo o cobrimento das mesmas. Logo após, foram colocadas as treliças metálicas, que funcionam como espaçadores e barra de distribuição da armadura negativa. Em seguida, as barras da armadura negativa foram apoiadas sobre as treliças metálicas e fixadas através de arames, garantindo seu posicionamento em relação ao assoalho da laje. Para finalizar, foi feita a verificação de todas as fôrmas e armaduras, assim como a limpeza das fôrmas da laje, retirando todos os resíduos de armadura e instalações hidráulicas provenientes das suas colocações, a fim de que as fôrmas fiquem prontas para serem concretadas. Na figura 32, pode-se visualizar a laje pronta para receber o concreto. Nessa etapa foi necessária, em média, uma equipe de 7 ferreiros e teve duração de 3 dias, conforme podemos observar no anexo H, referente aos dias 14, 15 e 16 de maio.

Figura 32 – Laje pronta para a concretagem



(fonte: foto da autora)

### 6.3.5 Concretagem das Vigas e das Lajes

A interrupção da concretagem nos pilares teve como objetivo prevenir o aparecimento de fissuras no topo dos mesmos, com isso os pilares foram concretados separadamente das vigas e lajes, com a diferença de mínimo 24 horas. Assim, para a retomada do processo de concretagem, foi feita uma limpeza com água do concreto do topo dos pilares e das fôrmas e armaduras das vigas e lajes.

Para o recebimento de cada caminhão betoneira que chegava à obra, foram feitos os mesmos procedimentos citados anteriormente, como o ensaio de abatimento de tronco de cone, moldagem de corpos de prova e mapeamento das vigas e lajes. A resistência do concreto empregado nas vigas e nas lajes foi de 35 MPa. Antes de iniciar o lançamento do concreto, o aparelho de nível laser foi nivelado com o ponto de partida do concreto, que é a referência para as demais alturas das lajes.

O concreto foi bombeado pela mesma tubulação fixa utilizada na concretagem dos pilares, e conduzido ao local desejado pelo mangote. Antes, as fôrmas foram molhadas para evitar a absorção da água do concreto pela madeira. Os trabalhos de espalhamento e adensamento desse concreto foram feitos, respectivamente, com uma enxada e um vibrador mecânico de imersão. Enquanto isso, nas áreas já espalhadas e adensadas, era iniciado o nivelamento, conforme ilustra a figura 33. Primeiramente as áreas eram conferidas com o nível laser (ver figura 34), e quando a medida correta era alcançada, faziam-se círculos (com o uso de uma desempenadeira) com o concreto, que em pares, serviram de mestras. Logo após, utilizando uma régua metálica, o concreto foi reguado até obter uma superfície lisa, que ficasse toda no nível das mestras.

Figura 33 – Etapas de lançamento, adensamento e nivelamento



(fonte: foto da autora)



Figura 34 – Conferência com nível laser



(fonte: foto da autora)

Após o nivelamento de cada área, era feita a etapa de acabamento. Primeiramente a superfície do concreto era umedecida e em seguida era alisada com uma desempenadeira manual de cabo longo, conforme ilustra a figura 35.

Figura 35 – Aplicação do *bullfloat*

(fonte: foto da autora)

Logo após que a superfície pudesse suportar o peso próprio do equipamento e que fosse possível transitar pelas áreas sem deixar nenhuma marca, foi feito o acabamento final com

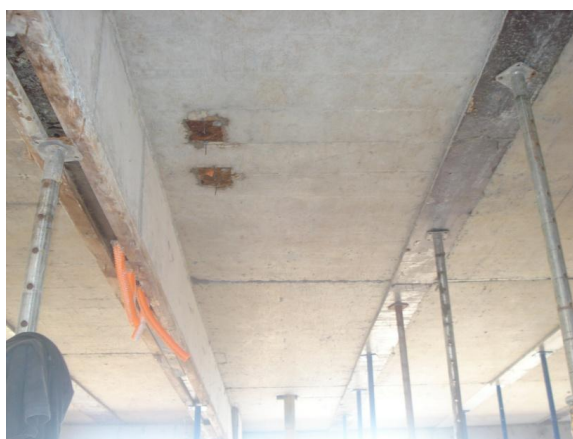
uma desempenadeira do tipo motorizada. Essa etapa atribuiu ao concreto uma superfície lisa e polida. A espessura final das lajes ficou em torno de 13 cm.

Para finalizar, o método de cura utilizado foi o emprego de sacos de panos úmidos, os quais eram molhados frequentemente para que a superfície da laje estivesse sempre em contato com a água. Para todas as atividades que envolvem a etapa de concretagem das vigas e lajes, foi necessária uma equipe de 13 carpinteiros, 2 ajudantes, 2 ferreiros, 1 hidráulico e 1 eletricista, e o tempo de duração foi de 1 dia. Dados que podem ser observados nos anexos G e H, referentes ao dia 17 de maio.

### 6.3.6 Desforma e Retirada dos Escoramentos

A desforma dos pilares começou no mesmo dia em que se iniciou a montagem das fôrmas dos pilares do próximo pavimento (conforme o anexo I referente ao dia 20 de maio), pois, como só existia um jogo de fôrmas, elas foram aproveitadas em todos os andares. Na sequência, foi feita a desforma das vigas e lajes, 5 dias após as suas concretagens, conforme o anexo I referente aos dias 22 e 23 de maio. Essas etapas seguem um plano de desforma previamente estabelecido. A retirada dos escoramentos seguiu uma sequência que foi determinada pelo projetista estrutural, deixando apenas escoramentos remanescentes nos fundos das vigas e nas faixas de reescoramento, conforme ilustra a figura 36. A retirada das fôrmas e dos escoramentos foi feita de maneira que não comprometesse a segurança e o desempenho da estrutura. Essas atividades envolveram 13 carpinteiros e 2 ajudantes, e foram executadas em aproximadamente 1 dia para os pilares e 2 dias para as vigas e as lajes.

Figura 36 – Escoramentos remanescentes



(fonte: foto da autora)

## 7 COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS

Neste capítulo é apresentada a comparação entre o sistema construtivo de lajes mistas *steel deck* e o de lajes zero em concreto armado. Para isso, foram fundamentais as atividades acompanhadas em obra, os dados obtidos com as empresas responsáveis pela execução das edificações estudadas e as informações adquiridas com a pesquisa bibliográfica sobre os sistemas. No quadro 1, tem-se um comparativo geral observado entre os dois sistemas de lajes estudadas.

Quadro 1 – Comparativo geral entre os sistemas de lajes

Sistema de Laje Mista <i>Steel Deck</i>	Sistema de Laje Zero em Concreto Armado
Parte executada em fábrica, parte executada em obra	Execução em obra
Maior garantia da qualidade	Dificuldade de garantia da qualidade
Grande precisão dimensional	Média precisão dimensional
Pouca quantidade de mão de obra, mas com maior qualificação	Maior quantidade de mão de obra, mas com pouca qualificação
Obra mais seca	Obra com maior uso de água
Menos desperdício de material	Maior geração de resíduos

(fonte: elaborado pela autora)

Em seguida, serão analisadas as principais diferenças entre os dois sistemas, não só as que influenciaram diretamente a execução de um pavimento tipo (como suas etapas e seus prazos de execução), mas também as que interferiram na construção das edificações.

### 7.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO

Uma das primeiras diferenças a ser observada entre os dois sistemas é em relação ao número de etapas necessárias para a execução de um pavimento tipo. No diário de obra da construção do Hotel Ibis, foi analisada a eliminação de algumas atividades em relação à obra que utilizou o sistema de lajes zero, como a montagem dos escoramentos, concretagem de pilares e vigas,

desforma das estruturas, reescoramento, entre outras. O quadro 2 mostra as etapas envolvidas na execução de um pavimento tipo com a adoção de cada um dos sistemas.

Quadro 2 – Etapas de um pavimento tipo de cada sistema

<b>Pavimento Tipo – <i>Steel Deck</i></b>	<b>Pavimento Tipo – Laje Zero</b>
Pilares concretados antecipadamente	-
Montagem dos pilares mistos	Montagem das fôrmas e armaduras dos pilares
Montagem das vigas metálicas	Montagem das fôrmas das vigas e das lajes
-	Instalação dos escoramentos
-	Concretagem dos pilares
-	Colocação das esperas para as instalações elétricas e hidráulicas
Montagem das chapas metálicas das lajes	Montagem das armaduras das vigas e das lajes
Concretagem das lajes	Concretagem das vigas e das lajes
Cura do concreto	Cura do concreto
-	Desforma de pilares, vigas e lajes
-	Desinstalação dos escoramentos
-	Reescoramento

(fonte: elaborado pela autora)

Nos próximos itens serão analisadas as principais diferenças na execução da estrutura dos pavimentos tipo dos dois sistemas estudados, como as armaduras positivas, os escoramentos, a desforma e as instalações elétricas e hidráulicas.

### **7.1.1 Armadura Positiva**

As chapas do *steel deck* exercem a mesma função das barras de tração de uma laje zero em concreto armado. Ou seja, elas funcionam como armadura positiva da laje. Há uma significativa redução de prazos no sistema de lajes mistas devido a essa função, pois nas lajes zero além da etapa da montagem das fôrmas, existe também a montagem das armaduras. Etapas que envolveram, no total, uma equipe de 13 carpinteiros, 1 ajudante, 2 hidráulicos, 3

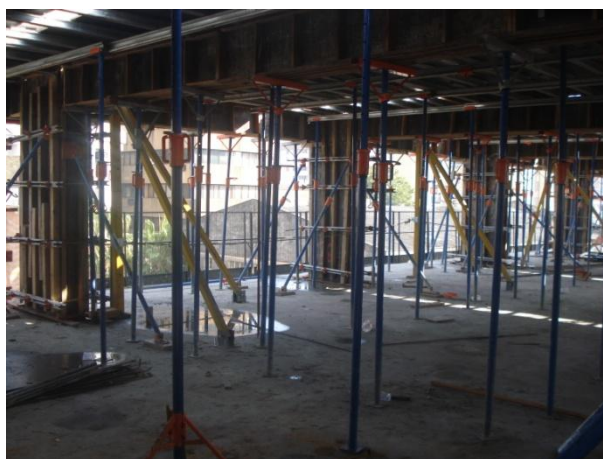


eletricistas e 7 ferreiros e são executadas em 3 dias cada (incluindo as vigas), totalizando 6 dias. Já para as lajes mistas, isso foi feito em apenas uma etapa, pois a fôrma e a armadura positiva são o mesmo elemento, que envolveu uma equipe de 10 montadores e 1 soldador, executada, no máximo, em 3 dias. Com isso, é notável que a execução tornou-se mais rápida e houve uma diminuição da quantidade de mão de obra.

### 7.1.2 Escoramentos

As fôrmas de aço do *steel deck* são muito mais resistentes que as fôrmas tradicionais de madeira utilizadas no sistema de lajes zero. Com isso, elas são capazes de sustentar o peso dos funcionários, seus equipamentos e do concreto fresco, até que ele endureça e obtenha resistência, sem a necessidade de utilização dos escoramentos. Além de eliminar as etapas de montagem e desmontagem das escoras e do reescoramento, possibilita o livre trabalho nos andares inferiores, inclusive a concretagem de duas lajes simultaneamente. A dificuldade em trabalhar nos pavimentos com um grande número de escoras pode ser visualizada na figura 37. A exclusão dessa etapa, ao executar lajes mistas, reduziu o tempo de execução de um pavimento e poderá representar economia nos gastos da obra, pois não há a necessidade do aluguel desses equipamentos e teve diminuição da quantidade de mão de obra.

Figura 37 – Pavimento com grande número de escoras



(fonte: foto da autora)

### 7.1.3 Desforma

Uma das grandes vantagens do sistema de lajes mistas *steel deck*, em relação ao sistema de lajes zero em concreto armado, é que a etapa da desforma não é necessária. Pois as chapas, que funcionam também como fôrma para o concreto fresco, permanecem incorporadas ao sistema após a concretagem e durante toda a vida útil da edificação. A inexistência das tradicionais fôrmas de madeira, tanto para as lajes quanto para os pilares e vigas, diminui consideravelmente entulhos e bota-foras no canteiro. Como foi visto no capítulo anterior, na obra que utilizou o sistema de lajes zero, para a etapa da desforma junto com a retirada dos escoramentos foi necessária uma equipe de 15 funcionários e durou em torno de 2 dias (incluindo as vigas). Ou seja, sem essa etapa na execução de lajes em *steel deck* houve redução da mão de obra necessária, do tempo de execução da estrutura de cada pavimento e do desperdício de materiais (figura 38).

Figura 38 – Desperdício de madeira



(fonte: foto da autora)

### 7.1.4 Instalações Elétricas e Hidráulicas

Na edificação estudada que utilizou lajes mistas, as instalações elétricas e hidráulicas, entre outras, ficaram embutidas entre as nervuras das chapas metálicas na parte inferior do *steel deck*, diferente das instalações elétricas feitas em lajes zero, que foram embutidas na parte superior da laje. No primeiro caso, a colocação dessas instalações independe da etapa de concretagem, podendo ser feita em outro momento da obra, e tem a simplicidade de manutenção das instalações elétricas durante a execução da obra, pois são fáceis de ser acessadas e não necessitam quebras na laje de concreto (gerando retrabalhos). Na outra

situação, quando as instalações são embutidas no concreto, deve-se cuidar para que não haja conflitos entre elas e as armaduras da laje, pois pode acontecer de não ficarem corretamente posicionadas.

## 7.2 PRAZOS DE EXECUÇÃO

A partir das diferenças observadas de cada um dos sistemas de lajes, foi elaborado um comparativo de tempo de execução dos pavimentos tipo das edificações estudadas. A tabela 1 mostra o ciclo de execução da estrutura dos sete pavimentos da construção do Hotel Ibis. O dia 1 é referente ao dia em que foram colocados os primeiros pilares mistos e o dia 50 é quando foi concretada a última laje mista. Por exemplo, para a conclusão do 2. pavimento da etapa 1, foram necessários 14 dias até a concretagem da laje, do dia 4 ao dia 17. Como já foi explicado anteriormente, os tramos de pilares do 2. ao 7. pavimento foram instalados de 2 em 2 andares.

Tabela 1 – Ciclo de execução dos pavimentos com lajes mistas *steel deck*

<b>Pavimentos Tipo – Etapa 1</b>							
	<b>1. pav.</b>	<b>2. pav.</b>	<b>3. pav.</b>	<b>4. pav.</b>	<b>5. pav.</b>	<b>6. pav.</b>	<b>7. pav.</b>
<b>Montagem pilares [dias]</b>	1	4		10		16	
<b>Concretagem <i>steel deck</i> [dias]</b>	14	17	19	22	24	26	29
<b>Pavimentos Tipo – Etapa 2</b>							
	<b>1. pav.</b>	<b>2. pav.</b>	<b>3. pav.</b>	<b>4. pav.</b>	<b>5. pav.</b>	<b>6. pav.</b>	<b>7. pav.</b>
<b>Montagem pilares [dias]</b>	19	24		32		36	
<b>Concretagem <i>steel deck</i> [dias]</b>	33	37	39	42	46	47	50

(fonte: elaborado pela autora)

A rapidez de execução dos pavimentos foi consequência da possibilidade de montar a estrutura simultaneamente, pois para instalação dos pilares de um pavimento, não foi necessário que as lajes dos andares anteriores estivessem prontas e a execução das lajes não foi condicionada ao tempo de endurecimento (ganho de resistência) do piso de concreto. Apesar da chuva estar presente nas primeiras semanas da construção, não houve atrasos em

relação ao planejamento da obra. Nesses 50 dias estão incluídos também os domingos, mesmo que não tenham acontecido atividades nesse dia da semana, pois os dados disponíveis pela empresa Medabil, no diário de obra, foram analisados 50 dias “corridos”.

A tabela 2 apresenta o ciclo de execução da estrutura em concreto armado com lajes zero. O dia 1 é referente ao dia que iniciaram a montagem das fôrmas e armaduras do 5. pavimento, e o dia 93 é quando foram concretadas as vigas e as lajes do 10. pavimento, conforme consta nos anexos A ao L. Os demais pavimentos superiores ainda estão sendo executados, com um planejamento de aproximadamente 2 semanas para cada pavimento (10 dias úteis). Na transição das fôrmas da estrutura do 4. para o 5. pavimento, aconteceram muitas adaptações, pois o 4. pavimento tem uma área muito superior que o 5., gerando um grande atraso no prazo da obra. Então, com exceção do 5. pavimento, que levou 26 dias até a concretagem da laje, todos os outros pavimentos tipo seguiram um ciclo de, aproximadamente, duas semanas, ou seja, 14 dias “corridos”, incluindo os domingos. Para melhor comparação dos prazos com o sistema de lajes mistas, não estão incluídas as etapas da desforma e reescoramento e o tempo analisado também é em dias “corridos”. A dificuldade observada em relação aos prazos de execução de uma estrutura em concreto armado está relacionada, principalmente, à dependência entre as etapas e da cura do concreto.

Tabela 2 – Ciclo de execução dos pavimentos com lajes zero

<b>Pavimentos Tipo</b>						
	<b>5. pav.</b>	<b>6. pav.</b>	<b>7. pav.</b>	<b>8. pav.</b>	<b>9. pav.</b>	<b>10. pav.</b>
<b>Montagem Fôrmas e Armaduras Pilares [dias]</b>	1	29	43	57	71	84
<b>Concretagem Vigas e Lajes [dias]</b>	26	40	54	68	81	93

(fonte: elaborado pela autora)

Com isso, é notável a diferença entre os prazos de execução dos dois sistemas. Para o primeiro sistema, fazendo a divisão de 50 dias para 7 pavimentos, tem-se uma média de aproximadamente 7 dias por pavimento. Já no segundo sistema, mesmo que não seja considerado o grande atraso na execução do 5. pavimento, fazendo a divisão de 65 dias para 5

pavimentos, tem-se uma média de 13 dias para cada pavimento. Isso significa um aumento de 85,7% em relação ao tempo do primeiro sistema na execução de cada pavimento.

### 7.3 COMBINAÇÃO COM ESTRUTURA METÁLICA

O uso do *steel deck* junto com pilares e vigas metálicos apresenta muitas alterações na execução de um empreendimento em relação ao uso de lajes zero junto com pilares e vigas em concreto armado. Com isso, nesse item é feito um comparativo dos dados observados na construção das duas edificações estudadas.

#### 7.3.1 Fundações

O conjunto das chapas aço do *steel deck* com a estrutura metálica dos pilares e vigas torna esse sistema estrutural muito mais leve e com maior espaço na planta arquitetônica que o de concreto armado. Com isso, se as condições do terreno forem as mesmas para os dois sistemas, pode haver uma economia significativa nos custos das fundações. O quadro 3 apresenta as principais diferenças nas fundações.

Quadro 3 – Diferenças nas fundações

<i>Steel Deck</i> e Estrutura Metálica	Laje Zero e Estrutura em Concreto Armado
Estrutura mais esbelta e mais precisa	Estrutura mais robusta e menos precisa
Leveza estrutural	Peso estrutural maior
Menores cargas no solo	Maiores cargas no solo
Volumes menores nos blocos	Volumes maiores nos blocos
Fundações mais econômicas	Fundações mais onerosas

(fonte: elaborado pela autora)

#### 7.3.2 Situação de Incêndio

Uma das desvantagens das estruturas metálicas em relação às de concreto armado, é a grande alteração das propriedades mecânicas e do comportamento do aço quando está exposto ao fogo. Para isso, na obra do Hotel Ibis, foi adotada uma medida de proteção para a estrutura em aço, que é a aplicação de uma argamassa projetada composta por cimento e vermiculita. Esse

revestimento, mais conhecido como proteção passiva, foi aplicado nas áreas em que o aço ficava exposto. Para a obra estudada, essa atividade iniciou no dia 35 no 1. pavimento da ala direita, quando os pilares do 2. pavimento da ala esquerda já estavam sendo instalados, e no dia seguinte já tinha atingido o 3. pavimento. A aplicação dessa argamassa projetada, além de representar mais uma etapa na execução do empreendimento, pode determinar aumentos de custos devido o uso de equipamentos específicos e mão de obra especializada. A figura 39 ilustra a aplicação dessa proteção passiva.

Figura 39 – Aplicação da proteção passiva



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011k)

### 7.3.3 Rapidez Construtiva

O uso de lajes mistas *steel deck* combinado com pilares e vigas metálicos traz vantagens e desvantagens às construções que utilizam esse sistema. As vantagens estão relacionadas com a redução do tempo de construção, racionalização do uso de materiais e mão de obra e aumento da produtividade, como já foram analisadas anteriormente. E as desvantagens relacionadas com o provável aumento de custo da edificação devido à industrialização na confecção das peças metálicas, necessidade de mão de obra especializada, utilização do aço em grande escala e de equipamentos de guindar.

A industrialização dos processos é um fator determinante, tanto para a confecção de peças de maior qualidade, quanto para o adiantamento da construção. Enquanto as peças da estrutura metálica estão sendo confeccionadas na fábrica, em torno de 45 dias, os trabalhos iniciam no terreno, como os levantamentos topográficos, movimentações de terra, montagem dos canteiros, execução das instalações provisórias, entre outros. Diferente das estruturas que são

moldadas em obra, que estão sujeitas a menor qualidade na execução e somente após as fundações podem iniciar sua confecção.

Outra diferença observada nas construções estudadas é a dos equipamentos utilizados para a içamento e movimentação de materiais, de aparelhos e de peças da estrutura no canteiro. Enquanto que na construção do Hotel Ibis foram necessárias duas guias e um caminhão Munck, na outra edificação foi utilizado apenas uma mini grua. A vantagem da 1ª edificação é a rapidez com que os elementos são movimentados, mas as desvantagens estão no alto custo, no grande espaço que é necessário para a locação e na dependência desses equipamentos, pois sem a eles a rapidez de montagem não é mais um fator determinante. No caso da obra que utilizou o sistema de lajes zero, por não haver espaço suficiente no entorno do empreendimento para a utilização de equipamentos de guindar, o uso do *steel deck* combinado com estrutura metálica poderia não ser vantajoso (ou até não ser viável).

O quadro 4 apresenta algumas diferenças entre o uso do *steel deck* combinado com estrutura metálica e de laje zero com estrutura em concreto armado que influenciam no prazo de execução da obra.

Quadro 4 – Comparação entre prazos

<b><i>Steel Deck</i> e Estrutura Metálica</b>	<b>Laje Zero e Estrutura em Concreto Armado</b>
Simultaneidade de execução da estrutura e das fundações	Dependência de terminar as fundações para iniciar a execução da estrutura
Avanços simultâneos em mais de um pavimento	Avanços de um em um pavimento
Possibilidade de execução da fachada mesmo a estrutura não estando totalmente pronta	Dificuldade de execução da fachada enquanto a estrutura ainda estiver escorada
Prazos finais reduzidos e antecipação da utilização	Prazos mais extensos para a utilização
Retorno financeiro pode ser mais rápido	Maiores prazos podem aumentar os custos

(fonte: elaborado pela autora)

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a análise das vantagens e desvantagens do sistema de lajes mistas *steel deck* em relação ao de lajes zero em concreto armado. O que possibilitou o conhecimento detalhado desses dois sistemas foi a pesquisa bibliográfica feita dos assuntos estudados, a descrição das etapas de um pavimento tipo analisadas em situações de execução reais e as informações obtidas pelas empresas responsáveis pelos projetos e execução das edificações.

Foi observado que a utilização do *steel deck* é mais vantajosa quando combinada com uma estrutura metálica de pilares e vigas, pois, como já foi mencionado, isso possibilita a simultaneidade dos trabalhos e a independência em relação ao alcance de resistência do concreto ao longo do tempo. Já uma desvantagem dos sistemas que utilizam peças metálicas, é a dependência de uma mão de obra especializada, difícil de encontrar no mercado brasileiro. O Grupo Medabil possui um grande número de funcionários capacitados, que trabalham com esse tipo de estrutura há anos, e com isso não sofreu com a escassez de mão de obra para a execução do Hotel Ibis. Mas, antes de decidir pelo tipo de sistema a adotar em uma construção, deve-se analisar sempre esse fator que pode determinar o andamento e os custos da obra.

Se o tempo necessário para a etapa inicial de uma obra com sistema de lajes mistas *steel deck* e estrutura metálica é praticamente o mesmo de uma obra com lajes zero e estrutura em concreto armado, a vantagem é que durante a construção da estrutura metálica os prazos de execução e a equipe de trabalho no canteiro são significativamente reduzidos. Pois a eliminação de diversas etapas na confecção dos pavimentos tipo com lajes mistas adianta prazos e simplifica a construção.

A grande vantagem observada da utilização de lajes mista *steel deck* em relação às lajes zero em concreto armado é a redução dos prazos de execução da obra, devido a utilização de peças industrializadas, a eliminação de etapas na execução de cada pavimento e o uso de equipamentos de guindar. Entretanto, como limitações pode-se citar a necessidade de uma mão de obra especializada, o uso de procedimentos a mais para a proteção contra o fogo e a obrigatoriedade do uso de equipamentos de guindar (para manter a rapidez construtiva e



viabilidade do uso do sistema), que também podem encarecer significativamente o uso do sistema.

A análise dos custos dos sistemas estudados, apesar de ser muito importante na escolha do sistema a ser utilizado, não foi possível fazer devido à indisponibilidade das empresas responsáveis pelo projeto e execução dos empreendimentos de fornecer esses dados.

Com isso, quando comparado com um sistema de lajes zero em concreto armado, sem considerar a avaliação dos custos do empreendimento, o *steel deck* torna-se uma solução mais vantajosa ao observar as construções estudadas nesse trabalho. Mas, ao escolher um sistema construtivo em estrutura metálica, mista ou de concreto armado, cada caso deverá ser analisado tecnicamente e financeiramente, visando um custo-benefício satisfatório.

## REFERÊNCIAS

ALLGAYER, M. O. **Laje Zero em Edificações de Múltiplos Pavimentos:** comparação com o sistema construtivo tradicional. 2010. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto.** 2000. 297 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323:** dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

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

BRENDOLAN, G. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes com fôrma de aço incorporada.** 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em:  
<<http://www.pos.dees.ufmg.br/dissertacoes/205.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2012.

CAMPOS, P. C. de. **Efeito da continuidade no comportamento e na resistência de lajes mistas com fôrma de aço incorporada.** 2001. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em:  
<<http://www.pos.dees.ufmg.br/dissertacoes/87.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Aço construindo a Copa 2014.** Rio de Janeiro, 2011a. Disponível em: <<http://cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/noticias/techne177.pdf>>. Acesso em 5 nov. 2012.

\_\_\_\_\_. **Cursos CBCA.** Rio de Janeiro, 2011b. Disponível em:  
<<http://www.cursoscbca.com.br/mod/resource/view.php?id=5222>>. Acesso em 5 nov. 2012.

DELIBERATO, C. **Diretrizes para o projeto e execução de lajes mistas de concreto e chapas metálicas trapezoidais (steel deck).** 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Departamento de Planejamento, Gestão e Projeto, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2006. Disponível em:  
<[http://cassiopea.ipt.br/teses/2006\\_HAB\\_Celso\\_Deliberato.pdf](http://cassiopea.ipt.br/teses/2006_HAB_Celso_Deliberato.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2012.

FABRIZZI, M. de A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto.** 2007. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GOMES, L. C. **Estudo do sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada empregando concreto estrutural leve**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em:

<[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AMJFA/estudo\\_do\\_sistema\\_de\\_lajes\\_mistas...\\_luciano\\_carvalhais\\_gomes.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AMJFA/estudo_do_sistema_de_lajes_mistas..._luciano_carvalhais_gomes.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 20 set. 2012.

GRUPO MEDABIL. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011a. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011b. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/category/diariodaobra/page/19/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011c. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/category/diariodaobra/page/23/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011d. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/category/diariodaobra/page/24/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011e. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/a-estrutura-por-tras-do-recorde/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011f. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/a-fundacao-de-uma-construcao-em-tempo-recorde/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011g. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/dia-3-olhando-para-o-alto/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011h. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/dia-12-depois-do-steel-deck-e-antes-da-concretagem/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011i. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/dia-15-%E2%80%93-um-reforco-na-construcao/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011j. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/dia-17-mais-um-andar-concretado/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011k. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/dia-44-diferenca-aparente/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Construção em Tempo Recorde**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/diariodaobra/fazendo-a-escolha-pela-construcao-mista/>>. Acesso em: 27 maio 2013.

GRUPO ZÊNITE. **Conjunto Habitacional do Carianos**. Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://grupozenite.files.wordpress.com/2011/12/esquema-de-laje-steel-deck.jpg>>. Acesso em: 5 dez. 2012.

METFORM SA. **Telhas Forma**. Betim, 2010. Disponível em: <<http://www.metform.com.br/telha-forma.php>>. Acesso em: 5 dez. 2012.

PANNONI, F. D. **Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.metallica.com.br/protecao-de-estruturas-metalicas-frente-ao-fogo>>. Acesso em: 28 jun. 2013.

PORTAL DA HOTELARIA. **Hotel Ibis Canoas Shopping**. Gramado, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldahotelaria.com.br/?Hotsite/1254/82/17/1>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

SANTOS, J. O. dos. **Estudo de Lajes Mistas Aço-Concreto (Steel Deck)**. 2009. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, [2009]. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/JACKSON%20OLIVEIRA%20DOS%20SANTOS.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2012.

SAÚDE, J.; RAIMUNDO, D.; PROLA, L. C.; PIERIN, I. Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações do Eurocódigo 4. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2., 2006, São Paulo. [São Paulo: ABCEM,2006]. Disponível em: <<http://www.construmetal.com.br/2006/arquivos/Lajes%20Mistas.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

SILVA, R. da. Projeto de Produção para Construção Metálica Aplicado em Lajes Mistas *Steel Deck*. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 4., 2010, São Paulo. [São Paulo: ABCEM,2004]. Disponível em: <<http://www.construmetal.com.br/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/10-projeto-de-producao-para-construcao-metalica-aplicado-em-lajes-mistas-steel-deck.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

SOUZA, A. L. R. de.; BARROS, M. M. B.; MELHADO, S. B. **Projeto e Inovação Tecnológica na Construção de Edifícios**: implantação no processo tradicional e em processos inovadores. São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n. 145.

SOUZA, A. L. R. de.; MELHADO, S. B. **Projeto e Execução de Lajes Racionalizadas de Concreto Armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

TAMAKI, L. Soluções industrializadas viabilizam execução de estrutura e fechamento de hotel de sete andares em apenas 67 dias. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 20, n. 183, p. 32-35, jun. 2012.

## ANEXO A – Controle Produção Fôrmas 5. Pavimento

TAREFA: FÔRMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 5º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM									
Data	Dia da semana	Efetivo Presente		Produção Diária (média) Fôrmas (m²/dia)	Média diária (carpinteiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (carpinteiros) (m²/dia/homem)	Produção diária (serventes) (m²/dia/homem)	
		Carpinteiros	Ajudantes						
11/03/2013	Segunda	8	2						
12/03/2013	Terça	9	2						
13/03/2013	Quarta	9	2						
14/03/2013	Quinta	9	2						
15/03/2013	Sexta	7	2						
18/03/2013	Segunda	10	1						
19/03/2013	Terça	7	2						
20/03/2013	Quarta	8	1						
21/03/2013	Quinta	6	0						
22/03/2013	Sexta	13	1						
25/03/2013	Segunda	13	2	83,86	11,00	2,00	7,62	41,93	
26/03/2013	Terça	16	1						
27/03/2013	Quarta	14	2						
28/03/2013	Quinta	14	2						
01/04/2013	Segunda	15	2						
02/04/2013	Terça	14	1						
03/04/2013	Quarta	16	2						
04/04/2013	Quinta	13	1						
05/04/2013	Sexta	6	1						
Total de profissionais		207	29						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		1821,60 hh	255,20 hh						
Área total de fôrma		1509,50 m²	1509,50 m²						
Produtividade (hh/m²)		1,21	0,17						
Produtividade (m²/hh)		0,83	5,91	0,89 hh/m²	1343,46 hh	8,80 h	152,67 homens	9,00 homens/dia	

## ANEXO B – Controle Produção Armaduras 5. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 5º PAVIMENTO										
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FÓRMAS										
Data	Dia da semana	Ferreiros			Média diária (ferreiros)			Média diária (serventes)		
		Serventes	Ferreiros	Serventes	Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (ferreiros) (Kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (Kg/dia/homem)	Produção diária (ferreiros) (Kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (Kg/dia/homem)
11/03/2013	Segunda	0	3	0						
12/03/2013	Terça	0	3	0						
13/03/2013	Quarta	0	3	0						
14/03/2013	Quinta	0	4	0						
15/03/2013	Sexta	0	4	0						
18/03/2013	Segunda	0	6	0						
19/03/2013	Terça	0	5	0						
20/03/2013	Quarta	0	4	0						
21/03/2013	Quinta	0	6	0						
22/03/2013	Sexta	0	8	0						
25/03/2013	Segunda	0	7	0	6	0	1155,17	0	192,53	--
26/03/2013	Terça	0	8	0						
27/03/2013	Quarta	0	7	0						
28/03/2013	Quinta	0	7	0						
01/04/2013	Segunda	0	6	0						
02/04/2013	Terça	0	6	0						
03/04/2013	Quarta	0	6	0						
04/04/2013	Quinta	0	8	0						
05/04/2013	Sexta	0	2	0						
Total de profissionais		0	103	0						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h	8,80 h						
Homens hora		0,00 h	906,40 h	0,00 h						
Total de aço (kg)		20793,00 kg	20793,00 kg	20793,00 kg						
Produtividade (hh/kg)		0,00	0,04	0,00						
Produtividade (kg/hh)		--	22,94	--						
		0,07 hh/kg	1455,51 hh	8,80 h						
		165,40 homens	10,00 homens/dia							

## ANEXO C – Controle Produção Fôrmas 6. Pavimento

TAREFA: FÔRMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 6º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM									
Data	Dia da semana	Efetivo Presente		Produção Diária (média) Fôrmas (m <sup>2</sup> /dia)	Média diária (carpinteiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (carpinteiros) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	Produção diária (serventes) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	
		Carpinteiros	Ajudantes						
08/04/2013	Segunda	15	2						
09/04/2013	Terça	8	2						
10/04/2013	Quarta	12	2						
11/04/2013	Quinta	10	2						
12/04/2013	Sexta	11	2						
15/04/2013	Segunda	11	2	162,77	12,00	2,00	13,56	81,38	
16/04/2013	Terça	14	1						
17/04/2013	Quarta	12	2						
18/04/2013	Quinta	12	2						
19/04/2013	Sexta	13	2						
Total de profissionais		118	19						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		1058,40 hh	167,20 hh						
Área total de fôrma		1464,92 m <sup>2</sup>	1464,92 m <sup>2</sup>						
Produtividade (hh/m <sup>2</sup> )		0,71	0,11	0,73 hh/m <sup>2</sup>	1069,39 hh	8,80 h	121,52 homens	13,00 homens/dia	
Produtividade (m <sup>2</sup> /hh)		1,41	8,76						

## ANEXO D – Controle Produção Armaduras 6. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 6º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FÓRMAS									
Data	Dia da semana	Ferreiros	Serventes	Produção diária média Ferragem (Kg/dia)	Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (ferreiros) (Kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (Kg/dia/homem)	#DIV/0!
05/04/2013	Sexta	4	0						
08/04/2013	Segunda	8	0						
09/04/2013	Terça	7	0						
10/04/2013	Quarta	7	0						
11/04/2013	Quinta	6	0						
12/04/2013	Sexta	5	0						
15/04/2013	Segunda	7	0	1860,20	6	0	314,80		#DIV/0!
16/04/2013	Terça	6	0						
17/04/2013	Quarta	7	0						
18/04/2013	Quinta	5	0						
19/04/2013	Sexta	3	0						
Total de profissionais		65	0						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		572,00 h	0,00 h						
Total de aço (kg)		18602,00 Kg	18602,00 Kg						
Produtividade (hh/Kg)		0,03	0,00	0,04 hh/kg	744,08 hh	8,80 h	84,55 homens		
Produtividade (Kg/hh)		32,52	0,00				9,00 homens/dia		



## ANEXO E – Controle Produção Fôrmas 7. Pavimento

TAREFA: FÔRMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 7º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM									
Data	Dia da semana	Efetivo Presente:		Produção Diária (média) Fôrmas (m²/dia)	Média diária (carpinteiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (carpinteiros) (m²/dia/homem)	Produção diária (serventes) (m²/dia/homem)	
		Carpinteiros	Ajudantes						
22/04/2013	Segunda	13	1						
23/04/2013	Terça	13	0						
24/04/2013	Quarta	10	0						
25/04/2013	Quinta	12	0						
26/04/2013	Sexta	13	1						
29/04/2013	Segunda	13	0	161,85	12,00	1,00	13,49	161,85	
30/04/2013	Terça	12	2						
01/05/2013	Quarta	1	0						
02/05/2013	Quinta	13	1						
03/05/2013	Sexta	12	2						
Total de profissionais		112	7						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens/hora		985,60 hh	61,60 hh						
Área total de fôrma		1456,68 m²	1456,68 m²						
Produtividade (hh/m²)		0,68	0,04	0,73 hh/m²	1063,37 hh	8,80 h	120,84 homens	13,00 homens/dia	
Produtividade (m²/hh)		1,48	23,65						

## ANEXO F – Controle Produção Armaduras 7. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 7º PAVIMENTO										
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FORMAS										
Data	Dia da semana	Ferreiros	Serventes	Produção diária média Ferragem (kg/dia)	Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (ferreiros)		Produção diária (serventes)	
							(Kg/dia/homem)	(Kg/dia/homem)	(Kg/dia/homem)	(Kg/dia/homem)
18/04/2013	Quinta	2	0							
19/04/2013	Sexta	5	0							
22/04/2013	Segunda	7	0							
23/04/2013	Terça	2	0							
24/04/2013	Quarta	4	0							
25/04/2013	Quinta	4	0							
26/04/2013	Sexta	6	0							
29/04/2013	Segunda	4	0	1851,80	5	0	399,41		---	
30/04/2013	Terça	5	0							
01/05/2013	Quarta	6	0							
02/05/2013	Quinta	6	0							
03/05/2013	Sexta	2	0							
Total de profissionais		51	0							
Horas/dia		8,80 h	8,80 h							
Homens hora		448,80 h	0,00 h							
Total de aço (kg)		18518,00 Kg	18518,00 Kg							
Produtividade (hh/Kg)		0,02	0,00	0,04 hh/kg	740,72 hh	8,80 h			84,17 homens	
Produtividade (Kg/hh)		41,26	0,00						9,00 homens/dia	

## ANEXO G – Controle Produção Fôrmas 8. Pavimento

TAREFA: FÔRMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 8º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM									
Data	Dia da semana	Efetivo Presente		Produção Diária (média) Fôrmas (m <sup>2</sup> /dia)	Média diária (carpinteiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (carpinteiros) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	Produção diária (serventes) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	
		Carpinteiros	Ajudantes						
06/05/2013	Segunda	10	2						
07/05/2013	Terça	14	2						
08/05/2013	Quarta	12	2						
09/05/2013	Quinta	13	1						
10/05/2013	Sexta	14	0						
13/05/2013	Segunda	10	0	161,85	13,00	1,00	12,45	161,85	
14/05/2013	Terça	14	0						
15/05/2013	Quarta	13	0						
16/05/2013	Quinta	14	0						
17/05/2013	Sexta	13	2						
Total de profissionais		127	9						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		1117,60 hh	79,20 hh						
Área total de fôrma		1456,68 m <sup>2</sup>	1456,68 m <sup>2</sup>						
Produtividade (hh/m <sup>2</sup> )		0,77	0,05	0,73 hh/m <sup>2</sup>	1063,37 hh	8,80 h		120,84 homens	
Produtividade (m <sup>2</sup> /hh)		1,30	18,39					13,00 homens/dia	

## ANEXO H – Controle Produção Armaduras 8. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 8º PAVIMENTO						
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FORMAS						
Data	Dia da semana	Ferreiros	Serventes	Produção diária média Ferroagem (kg/dia)	Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)
					Produção diária (ferreiros) (kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (kg/dia/homem)
06/05/2013	Segunda	5	0			
07/05/2013	Terça	5	0			
08/05/2013	Quarta	5	0			
09/05/2013	Quinta	5	0			
10/05/2013	Sexta	5	0			
13/05/2013	Segunda	6	0	1600,50	5	0
14/05/2013	Terça	8	0			293,97
15/05/2013	Quarta	6	0			
16/05/2013	Quinta	7	0			
17/05/2013	Sexta	2	0			
<b>Total de profissionais</b>						
	Horas/dia	49	0			
	Homens hora	8,80 h	8,80 h			
	Total de aço (kg)	431,20 h	0,00 h			
	Produtividade (hh/kg)	16005,00 Kg	16005,00 Kg			
	Produtividade (kg/hh)	0,03	0,00	0,04 hh/kg	640,20 hh	8,80 h
		37,12	0,00			72,75 homens 8,00 homens/dia

## ANEXO I – Controle Produção Fôrmas 9. Pavimento

TAREFA: FÔRMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 9º PAVIMENTO											
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM, LINHA DE VIDA											
Data	Dia da semana	Efetivo Presente		Produção Diária (média) Fôrmas (m <sup>2</sup> /dia)	Média diária (carpinteiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (carpinteiros) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	Produção diária (serventes) (m <sup>2</sup> /dia/homem)			
		Carpinteiros	Ajudantes								
20/05/2013	Segunda	13	2								
21/05/2013	Terça	15	2								
22/05/2013	Quarta	13	2								
23/05/2013	Quinta	15	2								
24/05/2013	Sexta	15	2								
25/05/2013	Sábado	13	2								
27/05/2013	Segunda	15	2								
28/05/2013	Terça	15	1								
29/05/2013	Quarta	15	1								
30/05/2013	Quinta	Feriado									
31/05/2013	Sexta	15	1								
Total de profissionais		144	17								
Horas/dia		8,80 h	8,80 h								
Homens hora		1267,20 hh	149,60 hh								
Área total de fôrma		1456,68 m <sup>2</sup>	1456,68 m <sup>2</sup>								
Produtividade (hh/m <sup>2</sup> )		0,87	0,10	0,68 hh/m <sup>2</sup>	990,54 hh	8,80 h	112,56 homens				
Produtividade (m <sup>2</sup> /hh)		1,15	9,74				12,00 homens/dia				

## ANEXO J – Controle Produção Armaduras 9. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 9º PAVIMENTO										
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FÓRMAS										
Data	Dia da semana	Ferreiros	Serventes	Produção diária média		Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (ferreiros) (kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (kg/dia/homem)	
				Ferragem (kg/dia)	Serventes					
20/05/2013	Segunda	7	0							
21/05/2013	Terça	6	0							
22/05/2013	Quarta	7	0							
23/05/2013	Quinta	6	0							
24/05/2013	Sexta	7	0							
25/05/2013	Sábado	5	0							
27/05/2013	Segunda	6	0							
28/05/2013	Terça	7	0							
29/05/2013	Quarta	7	0							
30/05/2013	Quinta	7	0							
31/05/2013	Sexta	7	0							
Total de profissionais		72	0							
Horas/dia		8,80 h	8,80 h							
Homens hora		633,60 h	0,00 h							
Total de aço (kg)		15383,00 Kg	15383,00 Kg							
Produtividade (hh/Kg)		0,04	0,00							
Produtividade (kg/hh)		24,28	0,00							
				0,03 hh/kg	461,49 hh	8,80 h	52,44 homens	6,00 homens/dia		

## ANEXO K – Controle Produção Fôrmas 10. Pavimento

TAREFA: FORMAS DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 10º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: ESCORAMENTO, BARROTEAMENTO, APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE, MONTAGEM, LINHA DE VIDA									
Data	Dia da semana	Efetivo Presente		Produção Diária (média) Fôrmas (m <sup>2</sup> /dia)	Média diária (serventes)	Média diária (carpinteiros)	Produção diária (carpinteiros) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	Produção diária (serventes) (m <sup>2</sup> /dia/homem)	
		Carpinteiros	Serventes						
03/06/2013	Segunda	14	1						
04/06/2013	Terça	13	1						
05/06/2013	Quarta	13	1						
06/06/2013	Quinta	14	0						
07/06/2013	Sexta	14	0						
08/06/2013	Sábado	12	0						
10/06/2013	Segunda	15	1						
11/06/2013	Terça	15	1						
12/06/2013	Quarta	15	1						
13/06/2013	Quinta	7	0						
Total de profissionais		132	6						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		1161,60 hh	52,80 hh						
Área total de fôrma		1456,68 m <sup>2</sup>	1456,68 m <sup>2</sup>						
Produtividade (hh/m <sup>2</sup> )		0,80	0,04	0,88 hh/m <sup>2</sup>	1281,88 hh	8,80 h	145,67 homens	15,00 homens/dia	
Produtividade (m <sup>2</sup> /hh)		1,25	27,59						

## ANEXO L – Controle Produção Armaduras 10. Pavimento

TAREFA: FERRAGEM DE PILARES, VIGAS E LAJES DO 10º PAVIMENTO									
SUBTAREFA: MONTAGEM, COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS NAS FORMAS									
Data	Dia da semana	Ferreiros	Serventes	Produção diária média		Média diária (ferreiros)	Média diária (serventes)	Produção diária (ferreiros) (Kg/dia/homem)	Produção diária (serventes) (Kg/dia/homem)
				Ferragem (Kg/dia)	Ferragem (Kg/dia)				
03/06/2013	Segunda	6	0						
04/06/2013	Terça	7	0						
05/06/2013	Quarta	7	0						
06/06/2013	Quinta	7	0						
07/06/2013	Sexta	7	0						
08/06/2013	Sábado	7	0						
10/06/2013	Segunda	7	0	1491,50	6	0	0	233,05	0,00
11/06/2013	Terça	7	0						
12/06/2013	Quarta	7	0						
13/06/2013	Quinta	2	0						
Total de profissionais		64	0						
Horas/dia		8,80 h	8,80 h						
Homens hora		563,20 h	0,00 h						
Total de aço (kg)		14915,00 Kg	14915,00 Kg						
Produtividade (hh/kg)		0,04	0,00	0,04 hh/kg	596,60 hh	8,80 h		67,80 homens	
Produtividade (kg/hh)		26,48	0,00					7,00 homens/dia	