

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

Verônica Chaves Fleck

**SISTEMAS DE FÔRMAS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
OS SISTEMAS FÔRMAS VOADORAS E CONVENCIONAL
NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO
ARMADO**

Porto Alegre
julho 2014

VERÔNICA CHAVES FLECK

**SISTEMAS DE FÔRMAS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
OS SISTEMAS FÔRMAS VOADORAS E CONVENCIONAL
NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS 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

julho 2014

VERÔNICA CHAVES FLECK

**SISTEMAS DE FÔRMAS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
OS SISTEMAS FÔRMAS VOADORAS E CONVENCIONAL
NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS 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, julho de 2014

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

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

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

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

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

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela experiência compartilhada, pela disponibilidade e pela atenção durante o desenvolvimento do trabalho.

À Prof. Carin Maria Schmitt pela sua dedicação e ajuda indispensáveis para o aperfeiçoamento e conclusão deste trabalho.

Ao Eng. Renan Currial e ao assistente de engenharia Fernando Rodrigues pelo conhecimento transmitido, paciência e disponibilidade durante as visitas de campo.

À Eng. Bruna pela amizade e pela ajuda no decorrer do trabalho.

Aos meus colegas e amigos por todo o apoio nas disciplinas, diversão e amizade durante a graduação.

Aos meus pais, Luis Reinaldo e Andrea, pelos valores transmitidos e pelo amor incondicional.

Ao meu irmão, Carlos Eduardo, pelo companheirismo e amizade.

Às minhas avós, Arminda e Marlene, pela força, amor e ensinamentos.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

No mercado competitivo no qual o setor da construção civil encontra-se atualmente, desenvolver e utilizar novas tecnologias são questões de sobrevivência para as construtoras. O desafio em comum entre elas é a redução de prazos, custos e mão de obra, a qual se tornou escassa nos últimos anos. Nesse cenário, o estudo do sistema de fôrmas, caracterizado como estrutura provisória que serve para moldar o concreto fresco, é de extrema importância uma vez que o sistema influencia tanto na qualidade da construção quanto na segurança da estrutura e dos funcionários. Além disso, apresenta significativa participação no custo total da estrutura de concreto armado, tendo de ser analisados fatores como o custo dos materiais adotados, o número de reaproveitamento das peças, a produtividade da equipe de mão de obra e o prazo de execução que afeta diretamente o custo de elementos locados. Este trabalho versa sobre a comparação entre os sistemas fôrmas voadoras e convencional. Para a comparação dos sistemas, são consideradas as questões: restrições dos processos executivos, cumprimento dos ciclos, segurança do trabalho e produtividade. As informações expostas são provenientes de revisão bibliográfica e de acompanhamento de atividades em canteiro de obras. O sistema convencional é o mais utilizado nas edificações atualmente. Entretanto, apresenta utilização intensiva de mão de obra e grande desperdício de materiais. O sistema fôrmas voadoras é um sistema que incorpora a fôrma da laje ao escoramento, proporcionando maior agilidade no processo construtivo. Por meio da pesquisa, observou-se que há mais restrições no processo do sistema fôrmas voadoras que impedem a execução do pavimento no ciclo ideal. Além disso, o sistema apresenta forte dependência de grua, o que pode provocar maior variabilidade na duração dos ciclos, dependendo da disponibilidade deste equipamento. Em contrapartida, o sistema fôrmas voadoras é mais seguro quando comparado ao sistema convencional, além de demandar uma equipe reduzida para as atividades de fôrma.

Palavras-chave: Sistemas de Fôrmas para Estruturas em Concreto Armado. Sistema Fôrmas Voadoras para Estruturas em Concreto Armado. Sistema Convencional para Estruturas em Concreto Armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa.....	18
Figura 2 – Componentes do sistema de fôrmas.....	21
Figura 3 – Classificação do sistema de fôrmas.....	27
Figura 4 – Sistema tramado para fôrmas de pilares.....	28
Figura 5 – Sistema modular para fôrmas de pilares.....	29
Figura 6 – Sistema tramado para fôrmas de lajes e vigas.....	30
Figura 7 – Sistema modular para fôrmas de lajes.....	31
Figura 8 – Sistema estrutural convencional.....	36
Figura 9 – Movimentação de mesa voadora.....	37
Figura 10 – Garfo metálico.....	39
Figura 11 – Gancho metálico.....	39
Figura 12 – Equipamento para desforma e movimentação das mesas.....	40
Figura 13 – Transporte de mesas voadoras.....	41
Figura 14 – Laje lisa.....	41
Figura 15 – Localização das gruas.....	45
Figura 16 – Ciclo de concretagem com sistema fôrmas voadoras.....	46
Figura 17 – Locação dos pilares em pavimento ímpar.....	47
Figura 18 – Espelhos.....	48
Figura 19 – Arremates entre as mesas.....	49
Figura 20 – Plano de movimentação das mesas.....	49
Figura 21 – Macaco hidráulico.....	50
Figura 22 – Amarração da mesa.....	51
Figura 23 – Voo da mesa.....	51
Figura 24 – Colocação das hastes de base.....	52
Figura 25 – Colocação das cordoalhas.....	53
Figura 26 – Caixas de passagem.....	54
Figura 27 – Retirada do cabo de aço superior.....	55
Figura 28 – Movimentação da mesa.....	56
Figura 29 – Posicionamento das mesas.....	56
Figura 30 – Ciclo de concretagem com sistema convencional.....	58
Figura 31 – Posicionamento dos pilares.....	59
Figura 32 – Painéis internos e fundos de vigas.....	59
Figura 33 – Assoalho da laje.....	60

Figura 34 – Guincho de coluna.....	61
Figura 35 – Instalações elétricas.....	62
Figura 36 – Estaiamento.....	63
Figura 37 – Ciclo da segurança para o sistema convencional.....	64
Figura 38 – Duração dos ciclos no sistema convencional.....	66
Figura 39 – Duração dos ciclos da torre 1.....	68
Figura 40 – Ancoragem da grua.....	69
Figura 41 – Duração dos ciclos da torre 2 e da torre 3.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem das durações dos ciclos no sistema convencional.....	67
Tabela 2 – Relação de empreiteiros.....	67
Tabela 3 – Porcentagem das durações dos ciclos no sistema fôrmas voadoras.....	71
Tabela 4 – Índice RUP de fôrma no sistema fôrmas voadoras.....	72
Tabela 5 – Índice RUP de fôrma no sistema convencional.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação dos sistemas de fôrmas: segurança.....	73
--	----

LISTA DE SIGLAS

Abrasfe – Associação Brasileira das Empresas de Sistemas de Fôrmas e Escoramentos

EPC – Equipamento de Proteção Coletiva

EPI – Equipamento de Proteção Individual

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

RUP – Razão Unitária de Produção

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.2 Objetivo Secundário	16
2.3 PRESSUPOSTO.....	17
2.4 PREMISA.....	17
2.5 DELIMITAÇÕES	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	17
3 SISTEMAS DE FÔRMAS.....	20
3.1 CONCEITUAÇÃO E ELEMENTOS CONSTITUINTES.....	20
3.2 REQUISITOS PARA O SISTEMA DE FÔRMAS.....	22
3.2.1 Qualidade.....	22
3.2.2 Segurança.....	24
3.2.3 Economia.....	25
3.3 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE FÔRMAS.....	26
3.3.1 Sistema tramado para fôrmas de elementos verticais.....	27
3.3.2 Sistema modular para fôrmas de elementos verticais.....	28
3.3.3 Sistema tramado para fôrmas de elementos horizontais.....	29
3.3.4 Sistema modular para fôrmas de elementos horizontais.....	30
3.4 PROCESSO DE ESCOLHA DO SISTEMA DE FÔRMAS.....	31
3.4.1 Condicionantes internos.....	31
3.4.2 Condicionantes externos.....	32
3.5 TIPOS DE MATERIAIS.....	33
3.5.1 Madeira.....	33
3.5.2 Metálicos.....	34
3.5.3 Sintéticos.....	34
3.6 APLICAÇÕES DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	35
3.6.1 Sistema de fôrmas convencional.....	35
3.6.2 Sistema de fôrmas voadoras.....	36
4 PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE FÔRMAS	44

4.1 SISTEMA FÔRMAS VOADORAS.....	44
4.1.1 Caracterização da obra.....	44
4.1.2 Processo executivo.....	45
4.1.2.1 Pilares.....	46
4.1.2.2 Protensão.....	47
4.1.2.3 Fôrma da laje.....	48
4.1.2.4 Armaduras da laje.....	52
4.1.2.5 Instalações.....	53
4.1.3 Procedimento de segurança.....	54
4.2 SISTEMA CONVENCIONAL.....	57
4.2.1 Caracterização da obra.....	57
4.2.2 Processo executivo.....	57
4.2.2.1 Fôrma.....	58
4.2.2.2 Armaduras.....	60
4.2.2.3 Instalações.....	61
4.2.3 Procedimento de segurança.....	62
5. COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE FÔRMAS.....	65
5.1 RESTRIÇÕES DOS PROCESSOS EXECUTIVOS.....	65
5.2 CUMPRIMENTO DOS CICLOS.....	66
5.2.1 Sistema Convencional.....	66
5.2.2 Sistema Fôrmas Voadoras.....	68
5.3 PRODUTIVIDADE.....	71
5.4 SEGURANÇA.....	72
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a construção civil tem se direcionado a um cenário de elevado crescimento. Com isso, sua participação na economia do Estado e do País tornou-se muito significativa e seu mercado cada vez mais atraente e competitivo. Fruto dessa expansão, o setor enfrenta alguns desafios, sobretudo a escassez e o encarecimento de mão de obra qualificada. Sendo assim, as empresas necessitam adaptar-se frente às novas necessidades do mercado atual. Fatores como racionalização da produção e emprego de novas tecnologias são caminhos para essa demanda.

As atividades que envolvem os serviços de fôrmas para estruturas de concreto armado estão relacionadas a três importantes fatores da construção civil: prazo, custo e qualidade. Segundo Peurifoy e Oberlender (c2011, p. 7, tradução nossa), a eficiência nos sistemas de fôrmas pode não só acelerar o cronograma da construção, o que proporciona redução de custos e aumento da produtividade, como também melhorar a segurança do processo e reduzir a ocorrência de erros. No final da década de 1980, Hurd (c1989, p. 1-1, tradução nossa) já descrevia que a tendência do sistema de fôrmas era de aumento da pré-fabricação, montagem em grandes unidades, movimentação das peças por meio mecânico e contínua reutilização dos elementos.

É válido destacar também que os serviços de fôrmas representam uma considerável parcela no custo, não só do concreto armado, mas também no custo total da obra. Além disso, a fôrma é um componente temporário e, portanto, é preciso analisar métodos que proporcionem maior redução de custos diretos e indiretos (BARROS; MELHADO, 1998, p. 6).

O sistema de fôrmas voadoras, também chamado de mesas voadoras, é uma das inovações tecnológicas com essa finalidade. Adotado no Brasil, desde a década de 1980, o sistema vincula a fôrma da laje e o escoramento, por meio de treliças, torres ou escoras metálicas (CICNHINELLI, 2011, p. [1, 5]). Constitui-se, assim, uma estrutura única que possibilita a desforma e o deslocamento de todo o elemento para próximo pavimento a ser concretado, o que torna as etapas mais rápidas (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]).

É importante ressaltar que, para o sistema fôrmas voadoras apresentar bom desempenho, este tem de ser adotado a partir da definição do projeto estrutural. Isso é devido ao fato de que o sistema é concebido para grandes lajes, com poucas interferências de vigas na estrutura e, portanto, seu emprego é mais indicado em lajes lisas (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]).

Destaca-se que o processo de montagem das fôrmas ocorre somente para sua primeira aplicação e o de desmontagem somente no término do último ciclo de concretagem. Portanto, para o sistema ser eficiente, é preciso haver certa repetitividade na concepção estrutural do projeto. Além disso, fatores como disponibilidade de equipamentos para transporte e sua capacidade devem ser analisados na escolha do método a ser empregado (CICNINELLI, 2011, p. [2])¹.

Com base nisso, o trabalho tem como propósito descrever o sistema fôrmas voadoras, com suas principais vantagens e desvantagens, frente ao sistema convencional. Por fim, apresentar um estudo sobre um empreendimento no qual se optou pelo sistema de mesas voadoras e uma comparação com o sistema convencional.

Assim, o trabalho foi desenvolvido em seis capítulos, sendo o primeiro capítulo composto por essa introdução. Na sequência, o segundo capítulo apresenta o método de pesquisa, abordando a questão de pesquisa, os objetivos, as delimitações, limitações e o delineamento da pesquisa. No capítulo 3, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica a qual abordou sobre sistemas de fôrmas, suas características e, por fim, foi dada uma ênfase nos sistemas fôrmas voadoras e convencional, métodos abordados no trabalho. Em seguida, no quarto capítulo, foram descritos os processos executivos do sistema fôrmas voadoras e do sistema convencional, com base no acompanhamento realizado em duas obras. No capítulo 5, fez-se o comparativo entre os dois sistemas, nos quesitos de restrições do processo, cumprimento do ciclo, produtividade e segurança. Por fim, no capítulo seguinte, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

¹Informações indicadas pela autora junto a Fernando Santos, diretor da Associação Brasileira de Empresas de Fôrmas e Escoramentos (Abrasfe)

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: quais são as vantagens, desvantagens e condicionantes no processo executivo de estruturas de concreto armado com o sistema fôrmas voadoras frente a utilização do sistema convencional em edifícios com estruturas de concreto armado?

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 análise comparativa das vantagens, desvantagens e das condicionantes do sistema fôrmas voadoras, quando comparado ao sistema de fôrmas convencional, em edifícios com estruturas de concreto armado.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a comparação entre os sistemas fôrmas voadoras e convencional nos seguintes aspectos:

- a) restrições dos processos executivos;
- b) cumprimento dos ciclos;
- c) segurança do trabalho;
- d) produtividade.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que tanto o sistema fôrmas voadoras como o sistema convencional são adequados para a execução de estruturas em concreto armado.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que, devido aos problemas gerados principalmente pela escassez de mão de obra qualificada, o setor da construção civil necessita empregar novas tecnologias para tornar a produção mais racional e eficiente.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a análise do emprego do sistema fôrmas voadoras com treliças na execução de concreto armado em edificações residenciais.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a comparação do uso de fôrmas voadoras para execução de laje lisa protendida com o sistema de fôrmas convencional, que utiliza chapas de madeira compensada e escoramento metálico, para a execução de estrutura composta por vigas, lajes e pilares. Os critérios de comparação foram observados por meio de visitas e de acompanhamento diário em duas obras localizadas em Porto Alegre.

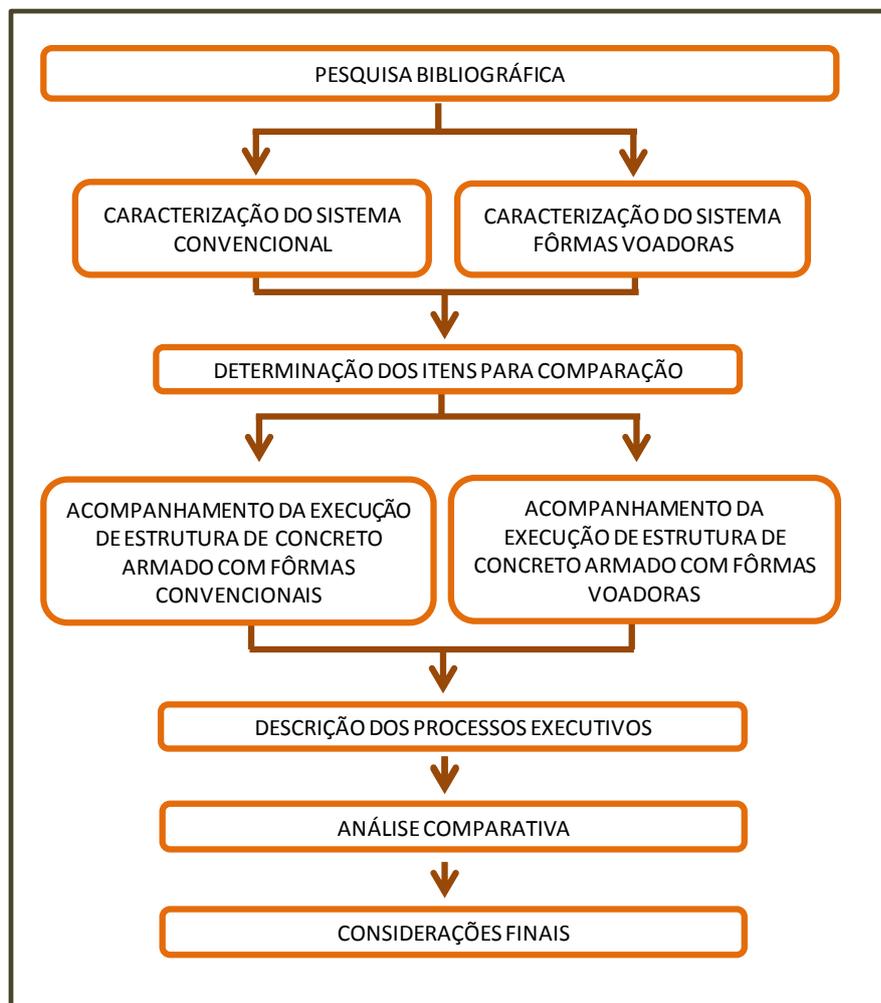
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização do sistema de fôrmas convencional;
- c) caracterização do sistema fôrmas voadoras;
- d) determinação dos itens para comparação;

- e) acompanhamento da execução de estrutura de concreto armado com fôrmas convencionais;
- f) acompanhamento da execução de estrutura de concreto armado com fôrmas voadoras;
- g) descrição dos processos executivos;
- h) análise comparativa;
- i) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Inicialmente, foi realizada uma **pesquisa bibliográfica** com a finalidade de adquirir maior conhecimento a respeito de sistema de fôrmas para estruturas de concreto armado. Foram estudadas questões como sua definição, requisitos de desempenho, elementos constituintes e principais materiais utilizados.

As etapas de **caracterização de sistemas** consistiram em um aprofundamento do estudo do sistema de fôrmas voadoras para a execução de lajes lisas protendidas e do sistema de fôrmas convencional para a execução de estrutura composta por vigas, lajes e pilares. Nesse momento, a pesquisa bibliográfica concentrou-se nesses dois sistemas.

A **determinação dos itens de comparação** teve por finalidade conduzir e otimizar a etapa de acompanhamento das atividades em obra. Destacaram-se quais aspectos deveriam ser analisados para posterior comparação dos sistemas.

A próxima fase foi caracterizada pela coleta de dados por meio de **acompanhamento de execução de concreto armado com fôrmas convencionais e com fôrmas voadoras**. Posteriormente, ocorreu a **descrição dos processos executivos** para os dois sistemas, observando as principais diferenças entre os dois métodos.

Após as observações das atividades no canteiro de obra, desenvolveu-se uma **análise comparativa**, dos critérios anteriormente definidos, entre os dois sistemas. Por fim, foram efetuadas as **considerações finais** da pesquisa tendo em vista as principais questões analisadas durante o desenvolvimento do trabalho.

3. SISTEMA DE FÔRMAS

O sistema de fôrmas é um conjunto de elementos essencial para a execução de estruturas em concreto armado. Segundo Hurd (c1989, p. 3-1, tradução nossa), sua evolução iniciou-se durante o século XX, a partir do crescimento da utilização do concreto armado na construção civil. No momento em que o concreto passou a assumir tarefas não só estruturais, mas também arquitetônicas, as fôrmas tiveram de progredir. Desde então, projetistas de fôrmas e construtores devem atentar-se ao avanço da tecnologia, a fim de desenvolver inovações criativas com o objetivo de manter a qualidade e economia do sistema frente aos desafios vivenciados.

Com base nesse cenário, esse capítulo apresenta as principais características do sistema de fôrmas, como suas funções, requisitos, elementos constituintes, classificação e influências em obras civis.

3.1 CONCEITUAÇÃO E ELEMENTOS CONSTITUINTES

Sistema de fôrmas é definido como uma estrutura provisória cujos elementos, quando combinados em harmonia, apresentam as seguintes funções (FREIRE; SOUZA, 2001, p. [2]):

- a) moldar o concreto;
- b) sustentar o concreto fresco até que este se torne autoportante;
- c) permitir à estrutura de concreto a textura desejada;
- d) oferecer sustentação provisória para os serviços de armação, posicionamento de passagens hidráulicas e elétricas e concretagem, tendo de resistir não só a cargas de seu peso próprio, mas também as de serviço;
- e) impedir a ocorrência de choques mecânicos no concreto novo;
- f) diminuir a perda de água, auxiliando a etapa de cura.

De acordo com Freire e Souza (2001, p.[2-3]), o sistema de fôrmas é constituído pelos seguintes elementos:

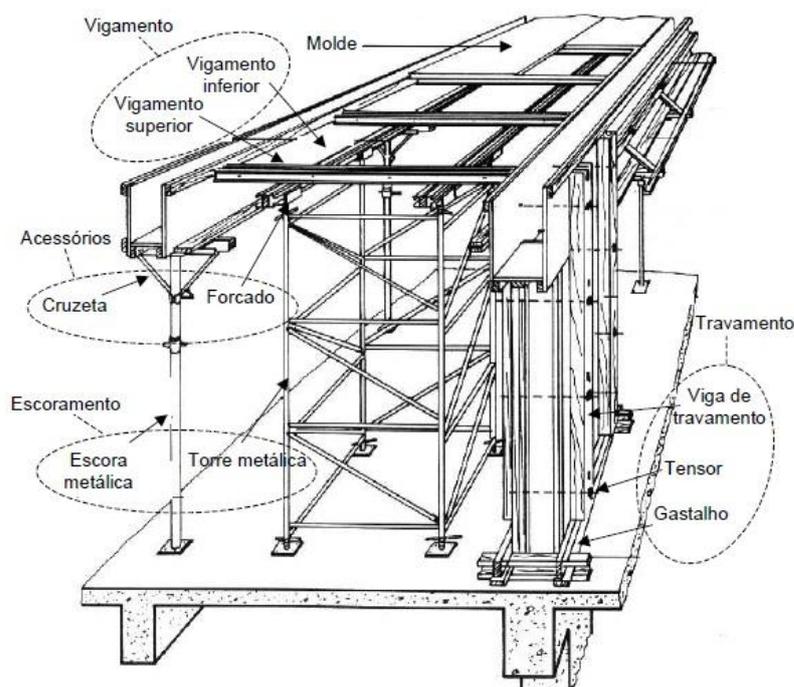
- a) molde: é o componente que se encontra em contato direto com o concreto e, assim, define seu formato e sua textura. É constituído por painéis estruturados, que possuem peças complementares para o enrijecimento posicionadas

permanentemente, ou por painéis não estruturados, que não apresentam nenhum elemento fixado definitivamente;

- b) cimbramento: conjunto de peças que absorve ou transfere os esforços que atuam no molde,
- escoramento: elementos verticais submetidos a esforços verticais;
 - vigamento: peças horizontais que transferem esforços de flexão gerados por carregamentos verticais;
 - travamento: peças verticais ou horizontais sujeitas a esforços de tração e/ou flexão ocasionadas por cargas horizontais;
- c) acessórios: elementos que ajudam no desempenho das demais peças do sistema.

Na figura 2 está a representação dos elementos constituintes do sistema de fôrmas.

Figura 2 – Componentes do sistema de fôrmas



(fonte: CRISTIANI², 1995 apud FREIRE; SOUZA, 2001, p. [9])

A NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 8) afirma essas definições ao indicar que as fôrmas são:

² CRISTIANI, J. E. E. **Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios de andares múltiplos**. 1995. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

Estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante.

Além disso, a mesma Norma descreve escoramento como:

Estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante.

Por fim, a Norma define reescoramento como “Estruturas provisórias auxiliares, colocadas sob uma estrutura de concreto que não tem capacidade de resistir totalmente às ações provenientes de cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis.”.

3.2 REQUISITOS PARA O SISTEMA DE FÔRMAS

De acordo com Assahi ([2005], p. [3-4]), os serviços que se referem ao sistema de fôrmas são caracterizados por iniciarem uma sequência de atividades na etapa de supraestrutura. Devido a essa grande relação com o restante das tarefas, o sistema de fôrmas estabelece o ritmo de execução da estrutura, pode gerar manifestações patológicas na estrutura ou em outros sistemas e intervém no prazo total do projeto. O autor destaca esta influência ao indicar que o sistema de fôrmas é responsável por 30% do prazo total da obra, sendo eleita uma das atividades de maior influência no prazo de execução de obras civis. Assim, para que haja eficiência em toda a sequência de atividades, o sistema de fôrmas precisa apresentar os requisitos apresentados a seguir.

3.2.1 Qualidade

É importante que o sistema de fôrmas possua alguns quesitos que juntos atestam o nível de qualidade do sistema. De acordo com Barros e Melhado (1998, p. 5), o sistema de fôrmas deve possuir resistência suficiente para suportar as cargas geradas pelo seu peso próprio e pelas atividades que envolvem o preparo e a execução da concretagem, tais como peso de equipamentos, trânsito de pessoas sobre o assoalho e vibrações devido ao adensamento do concreto. Além disso, durante esse processo, é preciso que haja baixa e controlada

deformação do sistema para que as dimensões das peças estruturais determinadas em projeto sejam mantidas. Dessa forma, fôrmas e escoramentos necessitam apresentar alta rigidez.

Quanto à estanqueidade, os mesmos autores descrevem que as emendas das peças das fôrmas devem ser estanques para evitar a perda de água e de finos de cimento. Essa redução de componentes do concreto pode ser prejudicial ao seu desempenho e à sua textura superficial exigida em projeto. Segundo a NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 14), pode-se admitir como limite para esse requisito o aparecimento do agregado miúdo na superfície do concreto.

Barros e Melhado (1998, p. 5) salientam também a importância das fôrmas apresentarem geometria compatível com as especificações do projeto. Observa-se que uma pequena variação na geometria do molde pode resultar em uma redução na resistência do elemento estrutural, que pode interferir em sua eficiência. Além disto, o sistema de fôrmas não deve conter detalhes de montagem e de desforma que dificultem o posicionamento da armadura no local correto e o lançamento e o adensamento do concreto.

A qualidade do sistema de fôrmas também pode ser determinada pelo grau de sua aderência com o concreto. A pequena aderência é necessária para evitar imperfeições na superfície do concreto, diminuição da durabilidade do material utilizado e da baixa produtividade no serviço de desforma. Para isso, recomenda-se aplicar um líquido desmoldante sobre o molde a ser empregado, desde que não danifique a superfície do elemento estrutural (BARROS; MELHADO, 1998, p. 5).

Além disso, os mesmos autores destacam que os materiais utilizados para a fabricação das fôrmas devem ser inertes ao concreto e ainda não podem apresentar absorção de água que possa comprometer o processo de hidratação do cimento. Caso contrário, podem ocorrer reações que alterem as características do concreto, prejudicando sua resistência e sua durabilidade.

É importante salientar também que as fôrmas são produzidas de materiais sujeitos a danos causados por mau uso ou má gestão. Para que o desempenho das fôrmas seja garantido, cuidados na limpeza e no armazenamento, por exemplo, devem ser tomados. Em intervalos periódicos, todas as fôrmas devem ser analisadas com o objetivo de verificar se há peças que

precisam ser reforçadas ou substituídas (PEURIFOY; OBERLENDER, c2011, p. 3, tradução nossa).

3.2.2 Segurança

Definido como um sistema provisório que proporciona sustentação para o serviço de concretagem e para aqueles que o antecedem, a segurança do sistema de fôrmas é uma grande preocupação de todas as partes envolvidas em um projeto. Segundo Barros e Melhado (1998, p. 5), para o sistema de fôrmas apresentar segurança em todo o processo, é preciso que haja rigidez e estabilidade suficientes para não gerar riscos tanto aos operários quanto a estrutura em construção. Além disso, Peurifoy e Oberlender (c2011, p. 2, tradução nossa) destacam que é necessário não somente determinar as cargas que serão aplicadas no sistema, mas também analisar cuidadosamente as condições de trabalho de cada etapa e selecionar e empregar materiais adequados para a segurança. Ainda, a verificação cuidadosa do projeto e a fiscalização durante a obra são necessárias para garantir a segurança e a confiabilidade das fôrmas.

Conforme a NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 14), todas as etapas que compreendem os processos de montagem, lançamento do concreto, desmontagem, armazenamento e transporte devem ser realizadas de acordo com a norma regulamentadora NR 18 e a NBR 7678. Alguns dos pontos evidenciados são:

- a) os suportes e os escoramentos de fôrmas devem ser vistoriados antes e durante a concretagem para impedir colapsos (BRASIL, 1978)³;
- b) os resultados dos ensaios de resistência, em corpos de prova recolhidos durante a concretagem, devem preceder a desforma da fôrma. Esta etapa somente pode ser realizada após a autorização do responsável da obra, com a finalidade de evitar desformas prematuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983, p. 95);
- c) são imprescindíveis cuidados com peças soltas durante a desforma. As mesmas precisam ser antes escoradas para que sejam desprendidas com segurança. A desforma deve ser efetuada sem choques e obedecer a programa elaborado de acordo com o tipo de estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983, p. 94);
- d) equipamentos utilizados para movimentação de elementos do sistema, como guias, devem dispor de chaves e trancas que possam ser acionadas em caso de

³ Norma regulamentadora atualizada em 09 de maio de 2013.

falha de energia ou defeito na máquina (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983, p. 95).

No entanto, acidentes não são raros durante a execução da estrutura de concreto armado. Muitas dessas ocorrências são em virtude de falhas no sistema de fôrmas, principalmente no momento da concretagem (HURD, c1989, p. 2-1, tradução nossa). Peurifoy e Oberlender (c2011, p. 185-186, tradução nossa) evidenciam algumas causas desses acontecimentos:

- a) escoramento impróprio;
- b) erro na localização do reescoramento;
- c) desforma antecipada;
- d) resistência inadequada dos materiais constituintes das fôrmas;
- e) negligência dos trabalhadores.

Segundo Hurd (c1989, p. 2-1, tradução nossa), planejamento de segurança é fundamental para haver um ambiente controlado e seguro. As precauções que possam reduzir os riscos do meio de trabalho devem ser determinadas junto à concepção do empreendimento. Além disto, deve-se prever desde então os custos de supervisão, equipamentos e procedimentos que garantam a segurança dos trabalhadores e da estrutura.

3.2.3 Economia

Economia é um quesito essencial na concepção do sistema de fôrmas, já que as fôrmas, para exercerem suas funções, podem apresentar o custo de 35 a 60% do valor total da estrutura de concreto armado (HURD, c1989, p. 2-1, tradução nossa). Barros e Melhado (1988, p. 6) destacam que, além dessa expressiva contribuição no custo total da estrutura, as fôrmas são elementos provisórios na edificação. Assim sendo, o sistema exige estudo e emprego de métodos racionalizados que proporcionem melhor aproveitamento e, conseqüentemente, redução de custos.

Em uma análise econômica do sistema, devem ser considerados fatores como o custo dos materiais adotados, o número de reaproveitamento das peças, a produtividade da equipe de mão de obra e o prazo de execução, o qual influencia diretamente no custo de elementos locados (ASSAHI, [2005], p. [4-5]). De acordo com Peurifoy e Oberlender (c2011, p. 10, tradução nossa), eficiência e economia também são alcançadas por meio da repetitividade dos

serviços. Este conceito pode ser aplicado durante a concepção da estrutura de concreto armado. A repetição dos projetos e a padronização das seções estruturais podem proporcionar redução de erros durante a produção, aumento na produtividade e, conseqüentemente, redução dos custos envolvidos no processo.

Assahi ([2005], p. [5]) destaca o grande potencial do sistema de fôrmas de gerar custos indiretos, tais como custos necessários para correções da estrutura ou de outros elementos em virtude da falta de qualidade desempenhada pelas fôrmas. Portanto, o sistema deve ser econômico sem prejudicar a qualidade, condição fundamental para a eliminação de custos não planejados em todos os demais subsistemas.

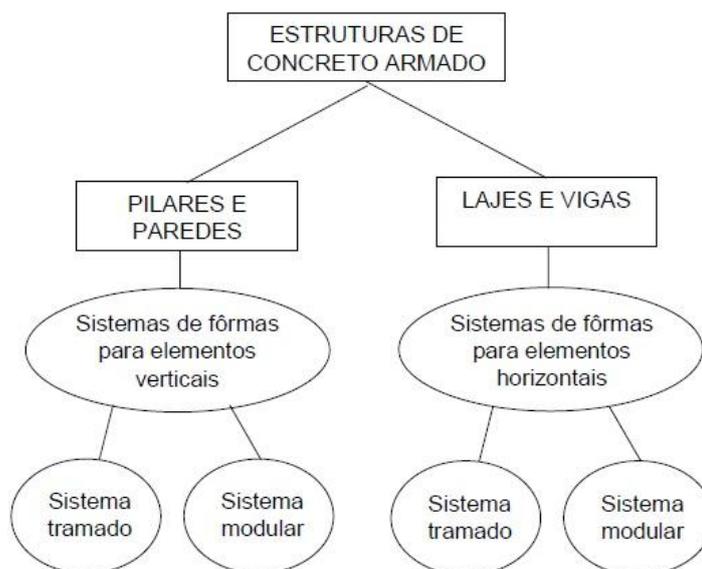
3.3 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE FÔRMAS

Segundo Freire e Souza (2001, p. [9]), é possível classificar o sistema de fôrmas por meio de duas avaliações seguidas (figura 3). A primeira baseia-se no conjunto de componentes estruturais a ser moldado, o que divide o sistema em dois grupos: um constituído por elementos verticais, como pilares e paredes, e outro formado por elementos horizontais como lajes, vigas e escadas. Estas últimas, embora não serem horizontais, são consideradas nesse grupo devido as suas características de execução e de solicitações.

O segundo critério é de acordo com os moldes existentes no mercado. De um lado, há os sistemas modulares constituídos por módulos pré-fabricados em um processo altamente industrializado e relacionados ao cimbramento menos intenso. Na outra perspectiva, há os sistemas tramados compostos por painéis sem padronização dimensional, geralmente fabricados para um determinado projeto, e ligados a um cimbramento relevante.

É importante salientar que esta classificação apresentada difere da descrita na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 74-75). Esta norma classifica os elementos estruturais de acordo com as proporções das dimensões dos componentes. Assim, vigas e pilares são considerados como elementos estruturais lineares, uma vez que seu comprimento horizontal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal. Já as lajes, por apresentarem uma dimensão relativamente muito menor frente às demais, são classificadas como elementos estruturais de superfície.

Figura 3 – Classificação do sistema de fôrmas



(fonte: FREIRE; SOUZA, 2001, p. [10])

As características de cada agrupamento são abordadas a seguir, conforme abordagem de Freire e Souza (2001, p. [9]).

3.3.1 Sistema tramado para fôrmas de elementos verticais

O sistema tramado é o mais utilizado na execução de pilares e de paredes em concreto armado na construção civil nacional. Constitui-se de painéis e da relação de elementos verticais e horizontais que formam o travamento do sistema, conforme figura 4. Esse sistema é qualificado pela flexibilidade dimensional, versatilidade e facilidade para unir-se com as fôrmas de lajes e vigas. Desse modo, na maioria dos casos é possível adaptar as fôrmas ao projeto estrutural adotado. Além disso, uma das grandes vantagens desse método é o elevado domínio por parte da mão de obra existente no mercado.

Figura 4 – Sistema tramado para fôrmas de pilares



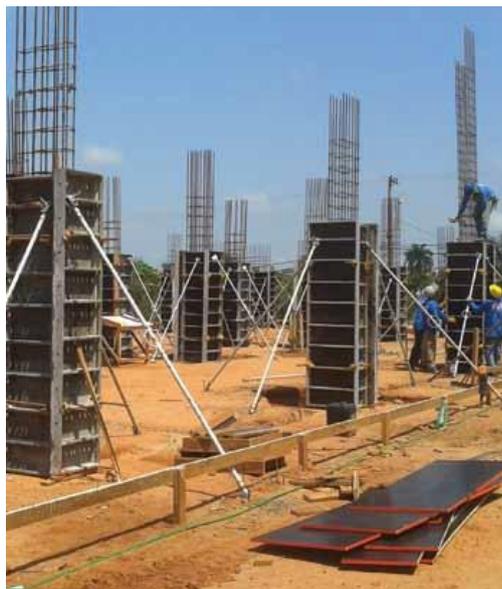
(fonte: FREIRE; SOUZA, 2001, p. [14])

Embora versátil, o sistema apresenta utilização intensiva de mão de obra, baixa mecanização, baixa produtividade e grande desperdício de materiais. Freire e Souza (2001, p. [13]) salientam que essa caracterização não é gerada pelo sistema em si, já que este poderia ser usado de maneira racional, mas sim pelo modo que o sistema é conduzido nas construções. Devido a falta de planejamento e de projetos claros, em algumas situações pessoas desqualificadas precisam tomar decisões em relação a fabricação, montagem e desforma dos elementos.

3.3.2 Sistema modular para fôrmas de elementos verticais

O sistema modular utilizado em fôrmas de pilares e de paredes é constituído por painéis modulares unidos por meio de grampos ou *clips*, como representado pela figura 5. Esse método apresenta como vantagem a rapidez nas etapas de montagem e desforma e grande durabilidade dos elementos. Aliado a isto, verifica-se elevada possibilidade de racionalização do processo. Porém, para o sistema ser empregado de modo eficiente, é preciso haver uma coordenação modular da estrutura. Em razão da padronização dos painéis modulares, geralmente é necessário compatibilizar o projeto estrutural ao sistema de fôrmas modulares.

Figura 5 – Sistema modular para fôrmas de pilares



(fonte: SH FÔRMAS, AINDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA, [2013])

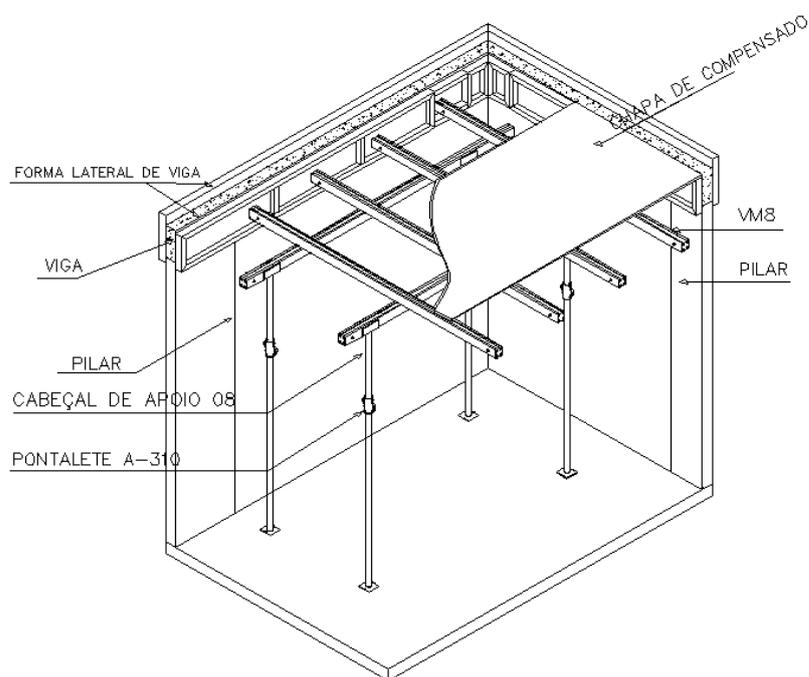
Freire e Souza (2001, p. [11]) destacam que diferentemente no exterior, esse método é pouco utilizado no Brasil devido a falta de coordenação modular dos projetos, a ausência de planejamento junto a concepção da edificação e a dificuldade de compatibilização com os outros elementos da estrutura. Desse modo, o potencial de racionalização e de redução de custos conferidos ao sistema são verificados somente em alguns casos.

3.3.3 Sistema tramado para fôrmas de elementos horizontais

Para a execução de lajes em concreto armado, o sistema tramado é composto na maioria dos casos por chapas de madeira associadas a vigamentos superiores e inferiores os quais formam a trama. No caso das vigas, o método é praticamente o único em uso e caracteriza-se por painéis laterais e de fundo travados e escorados de diversas formas (figura 6).

Esse sistema é o mais utilizado atualmente, já que proporciona versatilidade e boa adequação às estruturas reticuladas, condição em que as vigas impossibilitam o uso satisfatório de sistemas modulares. De acordo com Freire e Souza (2001, p. [17]), o sistema pode não só ser empregado como suporte para os elementos da laje nervurada, mas também resultar, a partir da conexão e fixação entre a fôrma da laje e o escoramento, no sistema de fôrmas voadoras. Entretanto, essa definição pode ser questionada, uma vez que o sistema fôrmas voadoras apresenta maior eficiência em lajes lisas, como é descrito adiante.

Figura 6 – Sistema tramado para fôrmas de lajes e vigas

(fonte: obra não publicada⁴)

3.3.4 Sistema modular para fôrmas de elementos horizontais

O sistema modular para fôrmas de elementos horizontais assemelha-se com o utilizado para fôrmas de elementos verticais, distinguindo-se deste somente em relação ao cimbramento adotado. Para sustentar os painéis, utilizam-se escoras, com ou sem auxílio de vigas metálicas, ou torres metálicas (figura 7).

Importante destacar que esse método é mais indicado em lajes lisas, para as quais o processo pode ser conduzido com mais rapidez, sem interferências de vigas. Além disto, também pode ser empregado como base para as peças plásticas da laje nervurada.

⁴ Procedimento operacional para estruturas de concreto armado de construtora situada em Porto Alegre.

Figura 7 – Sistema modular para fôrmas de lajes



(fonte: SH FÔRMAS, AINDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA, [2013])

3.4 PROCESSO DE ESCOLHA DO SISTEMA DE FÔRMAS

De acordo com Fajersztajn e Landi (1992, p. 6), no processo de escolha do sistema de fôrmas, é preciso analisar não só fatores intrínsecos ao projeto, mas também condições externas a edificação, como exibido a seguir.

3.4.1 Condicionantes internos

A escolha do sistema de fôrmas mais apropriado está vinculada aos seguintes fatores do projeto:

- a) acabamento superficial: a qualidade do acabamento superficial especificada em projeto conduz ao tipo de material que deve ser utilizado como molde do sistema de fôrmas;
- b) estrutura de concreto armado: a repetição, os elementos e os detalhes estruturais orientam para o sistema mais eficiente a ser empregado;
- c) cronograma da obra: o prazo de execução da obra interfere no número de utilizações que das fôrmas. Quando o prazo total é curto, por exemplo, é necessário usar número maior de conjuntos sem reaproveitamento elevado;
- d) equipamentos para movimentação: sistemas de fôrmas pesados ou que são transportados sem a completa desforma necessitam de equipamentos no processo de movimentação dos elementos;

- e) espaço físico no canteiro: fator significativo na escolha devido aos processos de armazenamento e movimentação das peças. A utilização de fôrmas pré-fabricadas, por exemplo, pode ser determinada pelo espaço físico disponível no canteiro.

Além disso, Fajersztajn e Landi (1992, p. 6) também salientam que para o sistema de fôrmas apresentar o ganho pretendido, é necessário considerar a interação do sistema de fôrmas com os demais serviços envolvidos na execução da estrutura em concreto armado, como armação, instalações elétricas e hidráulicas, e concretagem. Todo o fluxo de atividades deve ser analisado para que interferências e conflitos entre demais serviços possam ser identificados e a eficiência de todo o processo seja garantida.

3.4.2 Condicionantes externos

Além dos fatores específicos do projeto, é preciso analisar os fatores externos os quais dependem, por exemplo, das condições locais do terreno, do mercado e da empresa construtora. Nesse contexto, Fajersztajn e Landi (1992, p. 6-7) destacam as seguintes questões:

- a) etapa de fabricação: em comparação com a fabricação das fôrmas no canteiro de obra, a alternativa do emprego de fôrmas pré-fabricadas é mais interessante já que reduz a quantidade de mão de obra necessária no processo;
- b) meio de fornecimento: a possibilidade de alugar os elementos do sistema de fôrmas deve ser avaliada. Essa escolha, dependendo das condições do mercado e da empresa, pode apresentar vantagens financeiras quando comparado com a alternativa de compra;
- c) local da fabricação das fôrmas: nos casos de fabricação das fôrmas na obra, é sempre mais vantajosa a fabricação no solo em vez de no local da concretagem, devido a maior segurança dos serviços realizados no chão.

É válido salientar que os quesitos citados dificilmente são atendidos simultaneamente. Na escolha do sistema de fôrmas, é necessário ponderar e definir quais as vantagens essenciais no sistema de acordo com os recursos e objetivos da empresa construtora.

3.5 TIPOS DE MATERIAIS

A escolha dos materiais para o sistema de fôrmas é uma etapa de extrema importância, já que envolve o desempenho técnico e financeiro do conjunto, devendo ser baseada na economia, na segurança e na qualidade. Por muitos anos a madeira foi o único material utilizado na construção. Entretanto, esse sistema tradicional, com o emprego primordial da madeira, é caracterizado pelo elevado consumo de mão de obra e consideráveis desperdícios. A partir do cenário atual, marcado pelo elevado custo da mão de obra, aumento da necessidade de economia e introdução de princípios de industrialização, novos materiais foram incorporados ao sistema de fôrmas e novas maneiras de utilização de materiais tradicionais foram desenvolvidas (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 19-20).

Com objetivo de um melhor entendimento a respeito desse assunto, são detalhadas a seguir as características dos principais materiais utilizados no sistema de fôrmas.

3.5.1 Madeira

A madeira pode ser utilizada na forma bruta, serrada ou chapas industrializadas. Como molde do sistema, as peças serradas apresentam seu emprego restrito em razão da falta de padronização e da dificuldade de desforma. Os componentes mais utilizados como molde de fôrmas para edificações são, dentre as chapas industrializadas, as compensadas que podem ter dois tipos de acabamento superficial: resinado e plastificado (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 20). Os resinados são mais baratos e apresentam menor durabilidade. Já os plastificados são mais caros, entretanto permitem maior número de reutilizações e resultam em superfícies de concreto de melhor acabamento (trabalho não publicado⁵). A grande utilização desses componentes é devido aos seguintes fatores (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 20):

- a) adequação aos diversos formatos de peças estruturais;
- b) domínio da mão de obra;
- c) facilidade de aquisição;
- d) facilidade na desforma.

⁵ Apostila de aula do Professor Dr. Ruy Alberto Cremonini, disciplina Edificações I, março 2007, curso de graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

Como escoramento do sistema de fôrmas, a madeira pode ser utilizada tanto serrada como na condição bruta. Seu emprego para essa finalidade é caracterizado por falta de padronização entre as peças, baixa precisão geométrica, e grande volume de entulho gerado. Contudo, ainda é utilizada em algumas construções (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 25).

Além disso, os mesmos autores destacam a grande utilização da madeira como vigamento e travamento do sistema de fôrmas. É comum o emprego destes elementos associados a outros materiais, como aço e alumínio.

3.5.2 Metálicos

O emprego de aço ou de alumínio para o molde do sistema de fôrmas é caracterizado pela grande capacidade de reutilização e pelo ótimo acabamento superficial. Entretanto, o uso em obras de projetos únicos não é comum devido ao custo elevado e à dificuldade, em relação à madeira, de modificação de seções (trabalho não publicado⁶).

Os materiais metálicos são bastante utilizados como escoras tubulares ou em elementos de torres. Apresentam uma excelente capacidade de carga, possuem grande durabilidade, são de fácil manuseio e atingem alturas superiores ao escoramento de madeira (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 25).

Assim como a madeira, estes materiais também são bastante utilizados como elementos de vigamento e de travamento do sistema. Seu emprego proporciona precisão geométrica ao processo e elevada durabilidade das peças.

3.5.3 Sintéticos

Segundo Araújo e Freire (2004, p. 22), por apresentarem boa capacidade de reutilização e serem mais baratos e leves, quando comparados aos materiais metálicos, o plástico e a borracha têm sido utilizados como molde de alguns sistemas de fôrmas. A utilização de plástico é basicamente por meio de elementos pré-fabricados em formato de prismas para a execução de lajes nervuradas. No Brasil, os plásticos mais usados são o polietileno rígido e o poliéster reforçado com fibra de vidro.

⁶Apostila de aula do Professor Dr. Ruy Alberto Cremonini, disciplina Edificações I, março 2007, curso de graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

A borracha, apesar de pouco difundida no Brasil, é utilizada no exterior com a vantagem de proporcionar superfícies do concreto em formatos curvos. Além disso, permite recortes sinuosos e grande variação na textura superficial. Para isso, é necessária uma estrutura de suporte bastante robusta em razão de sua baixa resistência a flexão (ARAÚJO; FREIRE, 2004, p. 23).

3.6 APLICAÇÕES DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os sistemas construtivos para estruturas em concreto armado analisados no trabalho são os sistemas de fôrmas convencional e voadoras. Nos próximos itens, suas características são apresentadas.

3.6.1 Sistema de fôrmas convencional

Na composição dos elementos estruturais para o emprego do sistema convencional de fôrmas, utiliza-se chapas de madeira compensada para a execução dos moldes na grande parte das edificações. Já para o vigamento e travamento do sistema, normalmente emprega-se componentes de madeira, como sarrafos e caibros, ou perfil metálicos. Ainda, para o escoramento dos elementos, mesmo que seja possível o uso de madeira, as escoras metálicas são as mais utilizadas (BARROS; MELHADO, 1998, p. 8).

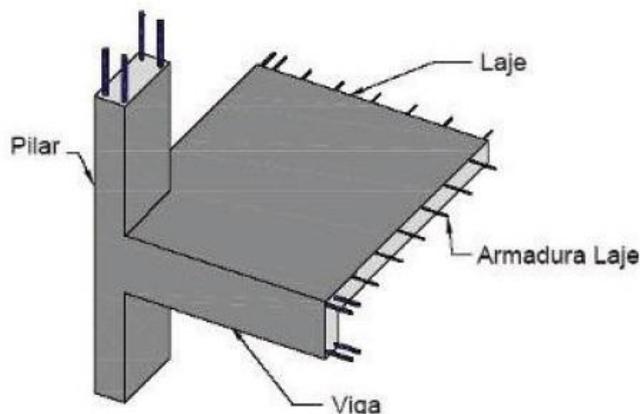
Além disso, é importante destacar que, no sistema convencional, a prática comum é montar as fôrmas para os pilares, vigas e lajes no próprio local da concretagem, o que gera um trabalho considerável. Após o concreto tornar-se autoportante, as peças são removidas seção por seção e transportadas para o próximo local onde serão reutilizadas. Este processo gera um custo elevado devido ao trabalho necessário e aumenta o tempo de conclusão da estrutura (PEURIFOY; OBERLENDER, c2011, p. 451-453, tradução nossa).

Tradicionalmente, o sistema convencional de fôrmas é adotado a partir do sistema estrutural composto por lajes maciças, pilares e vigas. Spohr (2008, p.30) define essencialmente esse sistema como:

[...] aquele que pode ser constituído basicamente por lajes convencionais, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos oriundos da utilização, ou seja, das pessoas, móveis acrescidos de seu peso próprio, os quais são transmitidos às vigas, que por sua vez descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações.

Na figura 8 está a ilustração do sistema.

Figura 8 – Sistema estrutural convencional



(fonte: SPOHR, 2008, p.30)

Como vantagens do sistema estrutural convencional podem-se citar:

- a) a existência de vigas garante uma boa rigidez à estrutura de contraventamento (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21);
- b) a experiência da mão de obra empregada, já que, durante muito tempo, foi o sistema mais utilizado nas edificações (ALBUQUERQUE, 1999, p. 23);
- c) a facilidade, em geral, no lançamento e no adensamento do concreto (FARIA, 2010, p. 20⁷).

Entretanto, o sistema apresenta desvantagens, como (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21):

- a) a diminuição da produtividade da construção devido aos grandes recortes para a fabricação das fôrmas das vigas;
- b) os recortes diminuem a possibilidade de reaproveitamento das fôrmas;
- c) o elevado consumo de aço, concreto e fôrmas.

3.6.2 Sistema de fôrmas voadoras

O sistema fôrmas voadoras é caracterizado pelo transporte vertical de uma estrutura monolítica formada por meio da união entre a fôrma da laje e o escoramento (figura 9).

⁷ Informação obtida em versão resumida da dissertação Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-Moldados e Nervuradas, de Sérgio C. B. Nappi, no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

Diferentemente do sistema convencional, as etapas de desforma e transporte são realizadas sem a desmontagem das peças, o que pode proporcionar ciclos na execução da estrutura com alta produtividade (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]).

Figura 9 – Movimentação de mesa voadora



(fonte: MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012])

A Abrasfe (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SISTEMAS DE FÔRMAS E ESCORAMENTOS, [2012]) apresenta as seguintes vantagens das mesas voadoras frente aos outros sistemas:

- a) diminuição considerável de mão de obra;
- b) redução de ciclo da estrutura;
- c) menores custos por perdas e possibilidades de erros: conjunto único utilizado durante todo o período da estrutura;
- d) maior ergonomia e segurança: toda a montagem das fôrmas é feito no solo e as mesas de borda já incorporam guarda corpos.

No mercado, existem três tipos de mesas voadoras: com treliças, com escoras e com torres metálicas. Algumas questões devem ser analisadas na escolha do sistema (CICNHINELLI, 2011, p. [5])⁸:

- a) pé direito: em estruturas com pequenas alturas, até 4 metros, o mais indicado é a utilização das mesas com escoras ou com treliças. A solução com torres metálicas são mais usuais e alturas maiores;

⁸ Dados fornecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Fôrmas e Escoramentos (Abrasfe).

- b) espessuras na laje: as torres metálicas são mais apropriadas para lajes com maiores espessuras, uma vez que suportam mais cargas em comparação com as escoras;
- c) capacidade da grua: o tamanho da fôrma precisa ser avaliado de acordo com a capacidade da grua, equipamento necessário no emprego do sistema. A utilização de gruas com maior capacidade de cargas pode ser mais vantajoso, já que possibilita o uso de mesas maiores com a consequente diminuição do número de voos.

Independentemente do tipo, os conjuntos são montados no solo e posteriormente movidos para o local da concretagem. Cada elemento é posicionado em locais determinados na laje e sua altura é ajustada, conforme especificada em projeto. Para os arremates entre as mesas, é necessária a colocação de tiras de compensado as quais, dependendo da sua dimensão e dos esforços impostos, podem necessitar de escoramento e de travamento (PEURIFOY; OBERLENDER, c2011, p. 453, tradução nossa).

Para a desforma, movimentação e transporte das mesas entre os pavimentos, há diferentes mecanismos. Em um deles, o deslocamento vertical é realizado com o auxílio de um garfo (figura 10) ou gancho metálico (figura 11). Após a fixação deste na parte inferior da mesa e nos cabos da grua, ocorre o transporte para o próximo pavimento a ser concretado (PERI GMBH, 2008, tradução nossa).

Entretanto, estes elementos conseguem alcançar somente as mesas que estão na periferia da estrutura. Para a movimentação das mesas, do centro para as extremidades da laje, utiliza-se um equipamento com rodízios, que além de permitir movimentos horizontais e pequenos movimentos verticais, auxilia no processo de desforma das mesas, como ilustrado na figura 12 (PERI GMBH, 2008, tradução nossa).

Figura 10 – Garfo metálico



(fonte: PERI GMBH, 2008)

Figura 11 – Gancho metálico



(fonte: PERI GMBH, 2008)

Figura 12 – Equipamento para desforma e movimentação das mesas

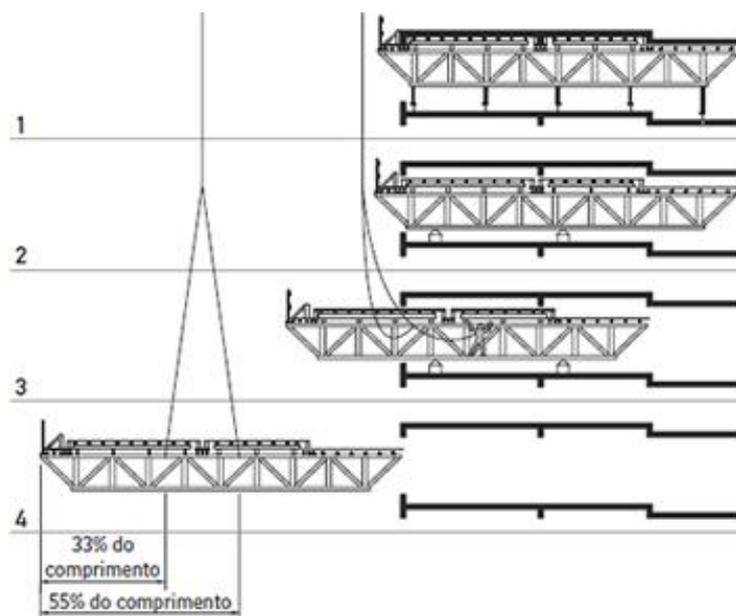


(fonte: PERI GMBH, 2008)

No outro método, a desforma ocorre com o auxílio de macacos hidráulicos até que as mesas apoiem-se sobre roletes ou cavaletes fixos. Estes apresentam a função de movimentar as mesas até a periferia, sendo os cabos da grua fixados em pontos previamente determinados nas superfícies das mesas e, então, as mesmas são transportadas para a mesma posição na laje superior. Estes pontos de fixação são definidos durante a elaboração do projeto das mesas e devem ser posicionados de maneira a proporcionar perfeito equilíbrio durante o voo e a possibilidade de amarração das mesas de forma mais rápida possível. Geralmente, localizam-se a 33% e 55% do comprimento total da mesa (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]). A figura 13 ilustra essas etapas do processo de transporte das mesas.

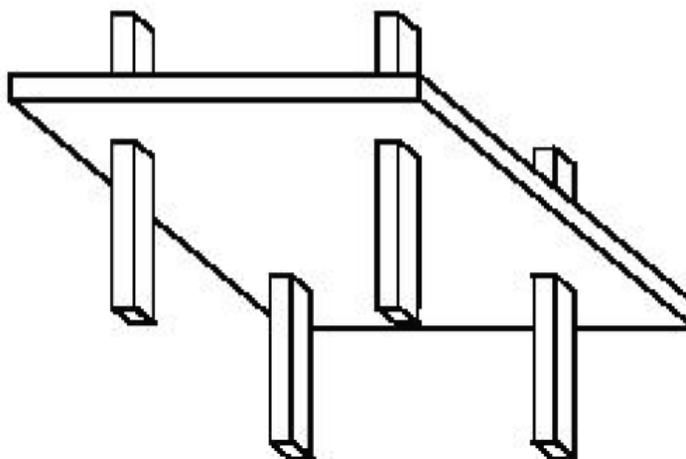
Antes de escolher por esse sistema, entretanto, é preciso verificar algumas condicionantes para que as vantagens tornem-se benefícios reais para a edificação. Em relação ao sistema estrutural, o sistema mesas voadoras é mais apropriado para lajes lisas (figura 14), uma vez que a existência de vigas pode dificultar, dependendo de sua altura, as etapas de movimentação das fôrmas para a retirada do pavimento (CICNINELLI, 2011, p. [1-2]). Nesse sistema estrutural, as lajes são apoiadas sobre os pilares ou sobre vigas, sendo que estas devem apresentar altura igual à espessura da laje (HENNRICHS, 2003, p. 23).

Figura 13 – Transporte de mesas voadoras



(fonte: CICHINELLI, 2011, p. [4])

Figura 14 – Laje lisa



(fonte: MELGES, 1995, p. 1)

Além disso, para que haja redução efetiva do ciclo de cada laje no sistema fôrmas voadoras, é preciso que o elemento concretado atinja resistência suficiente para absorver esforços atuantes e possibilite a desforma das mesas em poucos dias. Com essa finalidade, utilizam-se concretos especiais, de ganho de resistência mais rápido do que os convencionais. Essa agilidade do processo é favorecida nos casos em que as lajes são protendidas, visto que as fôrmas podem ser retiradas logo após a protensão, que normalmente ocorre três ou quatro dias após a concretagem. Já se as lajes forem armadas no processo convencional, a desforma e

movimentação das mesas dependem unicamente da resistência do concreto (CICNHINELLI, 2011, p. [2-3]).

A repetitividade dos projetos também é uma condicionante do sistema. Já que as mesas são montadas uma única vez, é necessário que a concepção da edificação permita um número considerável de reutilizações que justifique o elevado custo e tempo inicial para a fabricação (PEURIFOY; OBERLENDER, c2011, p. 451, tradução nossa).

Outro requisito para a utilização do sistema de mesas voadoras é a disponibilidade de grua com capacidade adequada e o espaço físico necessário para a movimentação dos conjuntos. Esses fatores devem ser analisados cuidadosamente no momento da elaboração do projeto das mesas, no qual precisam ser detalhados os seguintes aspectos (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]):

- a) identificação das mesas pelas suas dimensões;
- b) indicação das movimentações e saídas;
- c) planta de locação das mesas e das tiras entre elas;
- d) relação dos acessórios necessários para a retirada das mesas do pavimento;
- e) detalhamento da forma das vigas e cabeça dos pilares para a análise das interfaces da fôrma.

O estudo a respeito das características do projeto com o objetivo de determinar a melhor solução para a movimentação das mesas é fundamental no planejamento do sistema. O posicionamento dos pilares e a área de alcance da grua precisam ser avaliados. Além disso, é necessário programar o período de utilização da grua requerido para a movimentação das mesas frente às demandas de outros serviços para que não haja conflito e, conseqüentemente, atraso no término das atividades (MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA, [2012]).

Ainda, o sistema mesas voadoras apresenta dois pontos críticos: a desqualificação da mão de obra e a elevada interferência causada por fenômenos naturais. As chuvas e os ventos influenciam diretamente na movimentação e no transporte das mesas. De acordo com Brasil (1978)⁹, todas as operações com grua devem ser interrompidas na ocorrência de ventos com velocidade superior a 42 km/h. Cichinelli (2011, p. [2])¹⁰ destaca que os voos são

⁹ Norma regulamentadora atualizada em 9 de maio de 2013.

¹⁰ Informações indicadas pela autora junto a Alexandre Vansconcelos, diretor da empresa Método Estrutura.

prejudicados nessas condições, uma vez que a carga pode oscilar e colidir com a estrutura, comprometendo o seu desempenho e a segurança dos trabalhadores.

4. PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE FÔRMAS

Nesse capítulo são apresentadas as diretrizes que determinam os processos de execução dos sistemas fôrmas voadoras e convencional para estruturas de concreto armado.

4.1 SISTEMA FÔRMAS VOADORAS

Os próximos itens abordam as etapas relacionadas à execução do sistema fôrmas voadoras com treliças metálicas em uma obra a qual foi acompanhada durante a realização do trabalho.

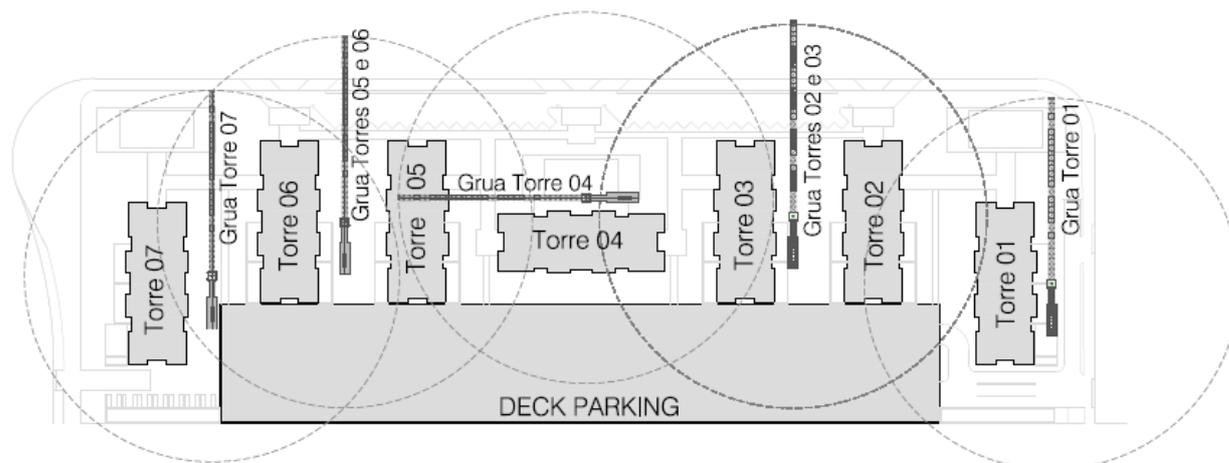
4.1.1 Caracterização da obra

A obra estudada está localizada no bairro Humaitá, em Porto Alegre. O empreendimento constitui-se em sete edifícios residenciais idênticos e um prédio garagem. Cada torre residencial possui 17 pavimentos, sendo 16 pavimentos tipo. No pavimento tipo, há 8 apartamentos, sendo quatro com dois dormitórios (50,64 m²) e quatro com três dormitórios (65,23 m²). O pavimento tipo possui uma área total de 537 m².

O amplo terreno onde o empreendimento está situado representa uma grande vantagem para a construção. Sem interferências de edificações próximas, é possível a instalação de guias, fator condicionante para o emprego do sistema de fôrmas voadoras, e a livre circulação de diversas máquinas, como guindastes e caminhão *munck*. No total, foi determinada a montagem de cinco guias: três na proporção de uma guia para cada torre e duas na proporção de uma para duas torres (figura 15).

O sistema estrutural adotado pela construtora é a laje lisa em concreto protendido. Nesse método, há uma significativa redução do número de vigas, presentes somente na região da escada do pavimento, e a armadura principal é alongada por equipamentos especiais a fim de produzir forças de protensão e, conseqüentemente, melhorar o comportamento do concreto.

Figura 15 – Localização das guas

(fonte: obra não publicada¹¹)

A empresa adotou também outros sistemas construtivos inovadores, com o objetivo de reduzir os prazos e de racionalizar a produção. Para a vedação vertical das torres, optou-se pelo sistema de painéis arquitetônicos, que são painéis de concreto pré-fabricados, com textura e pintura já aplicados. Além disso, definiu-se pela estrutura pré-moldada para a execução do prédio garagem. Diferente do sistema convencional inicialmente orçado, esse sistema proporciona, além de execução mais rápida, uma construção mais limpa.

A construtora trabalha com mão de obra terceirizada para todos os serviços que envolvem a execução da estrutura das torres. As equipes apresentam, conforme proposta oferecida pela empresa terceirizada, a meta de ciclo de uma laje a cada cinco dias úteis, para as torres atendidas com guas independentes, ou a cada sete dias úteis, para o restante das torres.

4.1.2 Processo executivo

O processo executivo do sistema de fôrmas em questão foi analisado em diversos pavimentos, principalmente na primeira torre do empreendimento, a qual é atendida por uma torre independente e representa, assim, a situação ideal para o sistema. As etapas seguidas são descritas a seguir (figura 16).

¹¹ Projeto de uma empresa construtora situada na cidade de Porto Alegre, RS.

Figura 16 – Ciclo de concretagem com sistema fôrmas voadoras

SISTEMA FÔRMAS VOADORAS E LAJE LISA PROTENDIDA					
DIA	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia
ATIVIDADES	Locação dos Pilares	Desforma dos Pilares			
	Protensão da Laje	Desforma das Mesas e Arremates			
	Fôrma e Armadura dos Pilares	Voo das Mesas			
	Concretagem dos Pilares	Arremates			
			Colocação dos Espelhos		
			Forma e Armadura Escadas e Vigas		
			Cordoalha		
			Armadura Positiva e Negativa		
			Instalações Elétricas e Hidráulicas		
					Limpeza
				Concretagem da Laje	

(fonte: elaborado pela autora)

4.1.2.1 Pilares

A primeira atividade no ciclo da estrutura é a locação dos pilares. Nesse primeiro momento, é feita a marcação dos colarinhos, base para posicionar os pilares conforme projeto. Em seguida, as fôrmas, anteriormente montadas no solo, são erguidas e posicionadas com o auxílio da grua (figura 17).

Com a finalidade de agilizar o processo, a empresa optou por trabalhar com a altura da armadura dos pilares suficiente para atender dois pavimentos. Assim, os pilares não são armados em todos os ciclos, mas somente nos pavimentos pares. Nesses casos, uni-se a armadura na fôrma e o conjunto inteiro é transportado do solo para o local de trabalho. Para essa atividade e para a concretagem dos pilares, os funcionários utilizam um andaime como suporte.

Figura 17 – Locação dos pilares em pavimento ímpar



(fonte: foto da autora)

4.1.2.2 Protensão

Diferente do sistema convencional, no sistema fôrmas voadoras não há faixas de reescoramento que sustentam a laje no momento da desforma e, portanto, o concreto precisa atingir a máxima resistência em poucos dias. Para isso, optou-se por um concreto de 35 MPa, com uma resistência de 20 MPa em 48 horas.

Três dias após a concretagem da laje, são rompidos os corpos de prova do concreto. Após a entrega do relatório da empresa responsável pelo ensaio ao engenheiro da obra, realiza-se o serviço de protensão. Nessa atividade, o concreto aumenta sua resistência de 20 MPa para 35MPa, permitindo, assim, a desforma da laje.

A atividade inicia-se com o encaixe do macaco hidráulico em uma das extremidades dos cabos de protensão que são, no momento de sua instalação, passados por um orifício localizado na parte lateral da fôrma da laje. Em seguida, utiliza-se uma bomba com a finalidade de aplicar uma pressão no macaco hidráulico, possibilitando que ele alongue os cabos. Este processo é realizado numa sequência de protensão especificada em projeto e, após

finalizado, os alongamentos são medidos e passados para aprovação do projetista. Somente após essa autorização, a desforma da laje pode ser realizada.

Importante destacar que a atividade de protensão acontece somente no primeiro dia do ciclo se a concretagem da laje ocorrer na sexta-feira. Dessa maneira, o prazo necessário para a protensão incide no final de semana e o procedimento pode ser seguido no prazo determinado.

4.1.2.3 Fôrma da laje

A fôrma da laje é constituída pelas mesas voadoras, por chapas de compensado e por tiras de madeira, chamados de espelhos. Estes são responsáveis por delimitar não só as dimensões da laje, mas também a sua espessura (figura 18). Já as chapas de compensado são necessárias para os arremates entre as mesas e para outros acabamentos da laje (figura 19). Elas são identificadas e dimensionadas em projeto e a partir de 60 cm de largura precisam ser escoradas.

Figura 18 – Espelhos



(fonte: foto da autora)

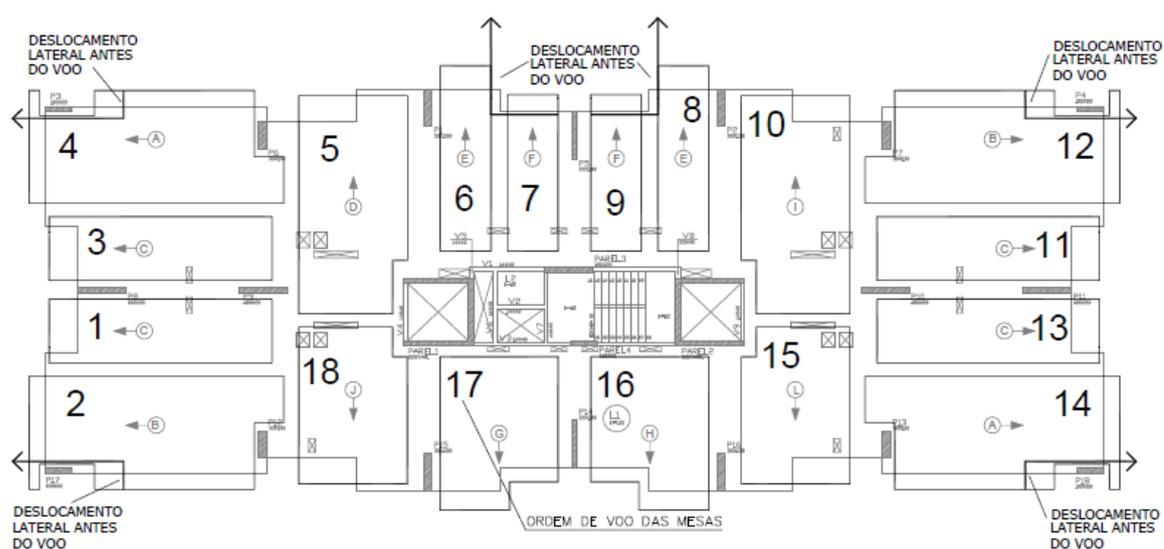
Figura 19 – Arremates entre as mesas



(fonte: foto da autora)

As mesas voadoras são montadas somente no início da estrutura e utilizadas até o final do serviço. A cada novo ciclo, elas são içadas com auxílio da grua para o pavimento superior. Tanto a movimentação das mesas quanto a sequência do processo são especificados em projeto, como indica a figura 20.

Figura 20 – Plano de movimentação das mesas

(fonte: obra não publicada¹²)

¹² Projeto de uma empresa construtora situada na cidade de Porto Alegre, RS.

Na primeira etapa do processo de desforma das mesas, as hastes de base, perfis metálicos que sustentam as treliças, são desprendidas do conjunto para que as mesas possam ser apoiadas nos macacos hidráulicos, previamente posicionados. Em seguida, as mesas são baixadas, com auxílio do macaco hidráulico, até apoiarem em roletes, situados em cima de cavaletes móveis de aço (figura 21). Estes roletes são responsáveis pelo deslocamento das mesas para a periferia da laje, local em que é feita a amarração da mesa à grua por meio de duas aberturas deixadas no assoalho (figura 22).

Após essa etapa, inicia-se o processo de subida da mesa para a laje superior na sua posição determinada em projeto (figura 23). Nesse momento, ainda com a mesa sendo sustentada pela grua, as hastes de base são colocadas e ajustadas conforme o pé direito do pavimento para que, assim, os cabos da grua sejam soltos (figura 24). Depois do voo de todas as mesas, os arremates e os espelhos da laje são fixados para que os serviços de armadura e instalações possam ser iniciados.

Figura 21 – Macaco hidráulico



(fonte: foto da autora)

Figura 22 – Amarração da mesa



(fonte: foto da autora)

Figura 23 – Voo da mesa



(fonte: foto da autora)

Figura 24 – Colocação das hastes de base



(fonte: foto da autora)

A desforma no sistema fôrmas voadoras é caracterizada pelo alívio total de carga, já que todo o escoramento é retirado durante o processo. Uma vez que o concreto já atingiu a resistência especificada, o reescoramento, posicionado conforme projeto em dois pavimentos subjacentes ao nível de trabalho, não apresenta a função de impedir grandes deformações causadas pelo peso próprio da laje, mas sim aquelas causadas pelo peso das mesas situadas no pavimento acima. Além disso, é importante destacar que a etapa de desforma da laje é facilitada pelo uso de desmoldante nas chapas em todos os ciclos da estrutura.

4.1.2.4 Armaduras da laje

Após a montagem dos espelhos e dos arremates da laje, a próxima etapa é a colocação da armadura positiva. Ela é montada no térreo, onde há uma central de armação, e é içada pela grua para ser posicionada no local especificado.

Em seguida, as cordoalhas engraxadas, armaduras ativas da laje, são colocadas. De acordo com sua localização, elas são classificadas em horizontais e verticais. Após o seu posicionamento, uma das pontas do cabo é fixada em um orifício localizado no espelho, deixando um trecho da cordoalha para fora das delimitações da laje, necessário para a protensão (figura 25). A seguir, as cordoalhas são apoiadas em cadeirinhas, com cotas especificadas em projeto.

Figura 25 – Colocação das cordoalhas



(fonte: foto da autora)

Por fim, posiciona-se armadura negativa da laje. Do mesmo modo que a armadura positiva, ela também é montada na central de armação e movida para o local de trabalho com o auxílio da grua.

4.1.2.5 Instalações

As instalações hidráulicas iniciam no mesmo momento que o da armação positiva. Para o seu posicionamento, utilizam-se eixos de referência marcados nos espelhos da laje.

A disposição das caixas elétricas também ocorre nesse instante. Entretanto, a instalação de eletrodutos acontece somente após o término da colocação das cordoalhas, em razão da quebra dos eletrodutos localizados entre os cabos. Este fato não pode ser admitido na laje protendida, devido à impossibilidade de quebra da estrutura. Caso essa situação ocorra, pode acarretar o rompimento de uma cordoalha, sendo perigoso tanto para os funcionários quanto para a estrutura.

Além disso, em virtude da diminuição da armadura passiva da laje na estrutura de concreto protendido, houve dificuldade em fixar e apoiar as tubulações elétricas. Como solução, as mesmas cadeirinhas usadas para as cordoalhas são utilizadas nesse momento.

Outra característica particular do processo é a impossibilidade de utilizar eletrodutos que descem para o andar subjacente, devido ao sistema de retirada das mesas. Para esses casos, empregaram-se caixas de passagem (figura 26).

Figura 26 – Caixas de passagem



(fonte: foto da autora)

Após o término das instalações elétricas, o caminho do gás, marcação feita com tiras de madeira na laje para futura distribuição dos dutos de gás, é posicionado e um ajuste fino no nivelamento da fôrma é realizado. Por fim, depois de a laje ter sido limpa, ocorre a concretagem. Essa atividade é realizada por bomba lança e o concreto é fornecido por usina localizada na própria obra.

4.1.3 Procedimento de segurança

O procedimento de segurança para o sistema fôrmas voadoras considera os seguintes itens:

- a) linha de vida com tubo metálico e cabo de aço;
- b) guarda-corpo composto por perfis de alumínio, tela e rodapé de madeira;
- c) proteção de periferia, composto por cabos de aço, tela e rodapé de madeira;
- d) bandejas primárias e secundárias.

Com a periferia da laje protegida com cabos de aço, fixados nos pilares, tela e rodapé de madeira, é preparado o voo das mesas. Para isso, retira-se o cabo de aço superior, somente

para a passagem da mesa. Nesse momento, o trabalhador deve usar o cinto de segurança conectado no próprio cabo de aço (figura 27). O voo da mesa é permitido somente após amarração das cintas de içamento em quatro pontos do assoalho e ocorre em conjunto com os perfis metálicos, fixos na própria mesa (figura 28). Após a disposição de todas as mesas no pavimento, ocorre a subida do tubo metálico da linha de vida para que os funcionários possam trabalhar na montagem dos guarda-corpos localizados entre as mesas e na colocação de telas e rodapés de madeira nos restantes (figura 29). Somente após essa etapa, a laje é liberada para a colocação dos espelhos e arremates na laje.

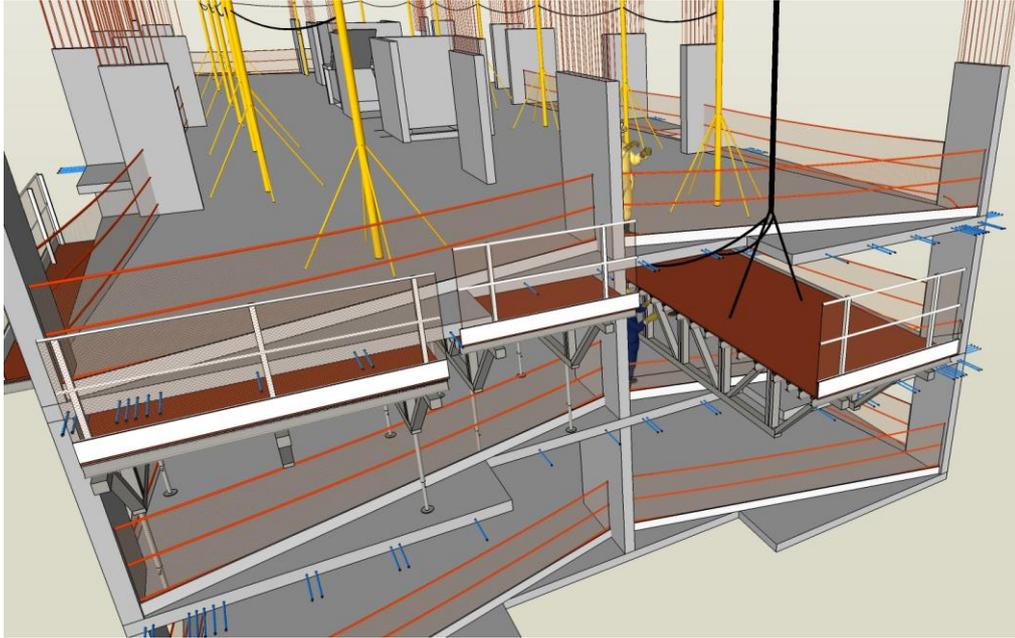
Figura 27 – Retirada do cabo de aço superior



(fonte: obra não publicada¹³)

¹³ Material de uma empresa construtora situada na cidade de Porto Alegre, RS

Figura 28 – Movimentação da mesa



(fonte: obra não publicada¹⁴)

Figura 29 – Posicionamento das mesas



(fonte: obra não publicada¹⁵)

¹⁴ Material de uma empresa construtora situada na cidade de Porto Alegre, RS

¹⁵ Idem

4.2 SISTEMA CONVENCIONAL

Com o objetivo de obter-se uma base de comparação para o sistema fôrmas voadoras e, assim, avaliar suas vantagens e desvantagens, acompanhou-se a execução da estrutura com o sistema convencional, composto por laje, pilares e vigas, em uma obra. Os itens a seguir descrevem os aspectos observados.

4.2.1 Caracterização da obra

A obra visitada situa-se no bairro Ipanema, em Porto Alegre. Ela é composta por quatro edifícios residenciais bastante semelhantes e um edifício garagem. Três torres possuem sete pavimentos, sendo seis pavimentos tipo, e uma torre possui um pavimento tipo a menos. O pavimento tipo possui uma área total de 897 m², distribuídos em oito apartamentos de três dormitórios, com área privativa de 89 m² a 127 m², e uma circulação entre eles.

Em todas as torres, utilizou-se o sistema convencional de fôrmas, composto por chapas de compensado e escoras metálicas. Devido à presença de junta de dilatação no meio de cada torre, optou-se por executar a estrutura com um atraso entre as duas partes, que são nomeadas conforme sua orientação geográfica. Para a atividade, a construtora trabalha com mão de obra terceirizada e com a meta para duração de sete dias trabalhados por ciclo.

4.2.2 Processo executivo

O processo executivo do sistema convencional foi acompanhado na parte sul da torre 1 do empreendimento. As etapas adotadas são descritas a seguir (figura 30).

Figura 30 – Ciclo de concretagem com sistema convencional

SISTEMA CONVENCIONAL							
DIA	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	7º dia
ATIVIDADES	Desforma dos Pilares	Desforma Painéis Externos das Vigas	Montagem da Forma da Escada	Concretagem dos Pilares	Fechamento dos Painéis Externos	Posicionamento do Caminho do Gás	Concretagem da Laje
	Armadura dos Pilares	Montagem dos Fundos de Vigas e Painéis Internos	Desforma do Assoalho	Armadura das Vigas	Nivelamento da Forma		
	Fôrma dos Pilares	Barroteamento		Passagens Hidráulicas			
	Subida de Fundos de Vigas e Tiras de Reescoramento		Montagem do Assoalho	Armadura Positiva			
				Instalações Elétricas			
					Armadura Negativa		

(fonte: elaborado pela autora)

4.2.2.1 Fôrma

As atividades que envolvem o serviço de fôrma para a laje do pavimento são mais constantes durante o ciclo da estrutura no sistema convencional. Uma vez que há mais recortes na fôrma do pavimento, necessita-se de mais dias para as atividades de desforma, transporte e montagem dos elementos.

O primeiro serviço dessa etapa é o posicionamento da fôrma dos pilares. Após a desforma no andar subjacente ao de trabalho, elas, como todas as outras peças que compõem a fôrma do pavimento, são movidas pelos funcionários posicionados na extremidade da laje. Primeiramente, posicionam-se somente três painéis dos pilares, sendo o quarto é colocado após a locação da armadura (figura 31).

Após o travamento das fôrmas dos pilares, ocorre a montagem dos fundos e dos painéis internos das vigas do pavimento, apoiadas em escoras metálicas (figura 32). Nestes painéis de fundo, são previstos furos, em pontos estratégicos, para escoar a limpeza no momento da limpeza do assoalho. A desforma e a subida dessas peças acontecem somente a partir sexto pavimento, como é explicado adiante. Em seguida, inicia-se a montagem do barroteamento, composto por perfis de alumínio que sustentam o assoalho da laje, também apoiados em escoras metálicas.

Figura 31 – Posicionamento dos pilares



(fonte: foto da autora)

Figura 32 – Painéis internos e fundos de vigas



(fonte: foto da autora)

A etapa seguinte consiste na desforma do assoalho no pavimento inferior e na sua montagem no pavimento em execução. Somente após essa distribuição ocorre a concretagem dos pilares que, se realizada no turno da manhã, possibilita ainda no mesmo dia o início das atividades seguintes na laje (figura 33). Após a colocação da armadura das vigas, os painéis externos

desses elementos são fechados e, em seguida, é feito o nivelamento da fôrma da laje, com o uso de nível laser.

Diferente do sistema fôrmas voadoras, a desforma da laje ocorre de maneira parcial, uma vez que nesse processo os fundos de vigas, algumas faixas do assoalho, chamadas de faixas de reescoramento, e as escoras posicionadas nessas regiões são mantidos. Essas peças de madeira são fabricadas em quantidade adicional, quatro jogos, já que a desforma total do pavimento ocorre somente 28 dias após o dia da concretagem da laje, momento no qual se espera que o concreto atinja a resistência especificada em projeto, de 35 MPa. Assim, foi previsto três níveis de laje com reescoramento, na proporção de 100%, 50% e 50%. Além disso, optou-se por não utilizar desmoldante nas fôrmas.

Figura 33 – Assoalho da laje



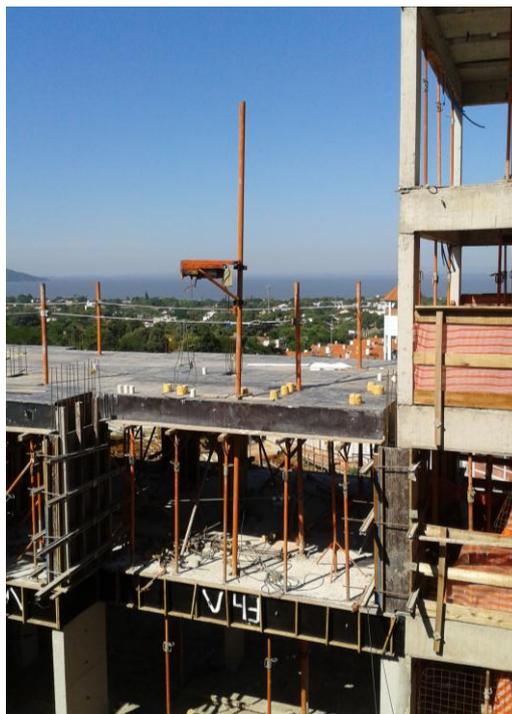
(fonte: foto da autora)

4.2.2.2 Armaduras

Na laje convencional, as armaduras das vigas são colocadas no quarto dia do ciclo, assim como o início da armadura positiva da laje, atividade que se estende por mais um dia. No quinto e no sexto dia, a armadura negativa da laje é posicionada, totalizando três dias para a conclusão dessa etapa.

Para o transporte do aço do solo para o local de trabalho, utiliza-se o guincho de coluna, localizado na parte central do pavimento (figura 34). Já que há um atraso na execução da estrutura das duas partes da torre, houve a necessidade de instalar dois guinchos de coluna por torre.

Figura 34 – Guincho de coluna



(fonte: foto da autora)

4.2.2.3 Instalações

A marcação das instalações hidráulicas, assim como das caixas elétricas, ocorre logo após a concretagem dos pilares. Já a colocação das tubulações elétricas está relacionada com a execução das armaduras da laje. Após o início do posicionamento das armaduras positivas, começa-se a instalar as tubulações elétricas do pavimento (figura 35). Diferente do sistema fôrmas voadoras, as tubulações são fixadas na própria estrutura e não há nenhum impedimento para o uso de eletrodutos que passam para o pavimento inferior.

Somente depois da conclusão da instalação das tubulações elétricas, as armaduras negativas da laje são posicionadas. Em seguida, marca-se o caminho do gás e, após a limpeza da laje e a finalização da proteção de periferia da laje, a estrutura pode ser concretada.

Figura 35 – Instalações elétricas



(fonte: foto da autora)

4.2.3 Procedimento de segurança

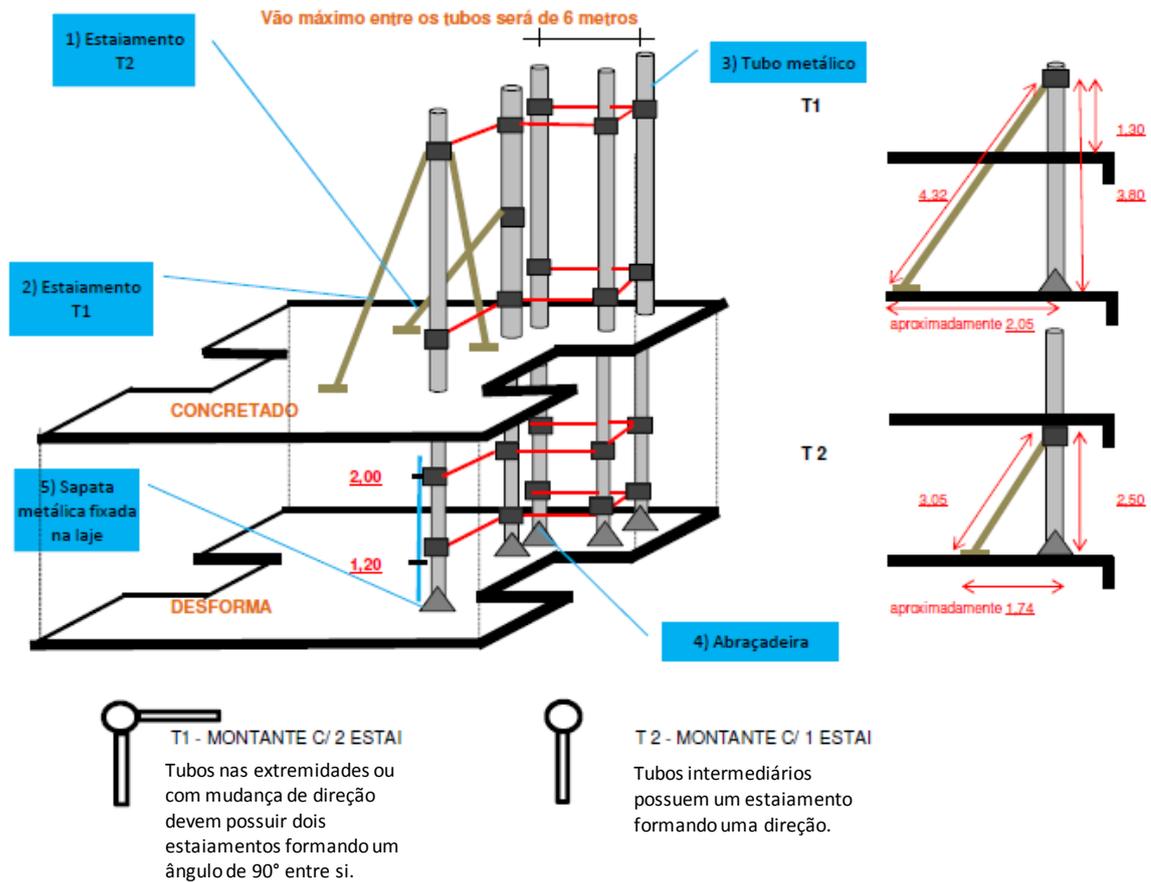
O procedimento de segurança do sistema convencional considera a utilização de linha de vida, guarda-corpo de madeira e bandejas primárias e secundárias. O tubo de aço adotado para a linha de vida é instalado para três pavimentos de trabalho, tendo comprimento de 6 metros. Ele é engastado na laje inicial, por meio de sapata metálica, garantindo a estabilidade do elemento. Para essa mesma finalidade, utiliza-se também estais metálicos, fixados em braçadeira metálica presa no tubo. Essa medida, chamada de estaiamento dos tubos, é feita em uma direção para todos os tubos intermediários e em duas direções para aqueles nas extremidades ou com mudança de direção. Nesta situação, os estais apresentam maior comprimento, sendo fixados na extremidade do tubo (figura36).

Os cabos de aço podem ser fixados em duas alturas, dependendo da atividade em andamento. No momento da execução dos pilares, há somente o cabo de aço inferior. A partir da montagem dos fundos de vigas da laje, o cabo de aço superior é posicionado. Ele é utilizado durante todos os serviços realizados na laje até o momento em que o guarda-corpo de madeira é fixado na fôrma da viga do pavimento para a concretagem.

Após a concretagem da laje, ocorre a subida do tubo de aço. Para que isso seja possível, a proteção formada pelo cabo inferior localizado na última laje deve ser trocado por guarda-

corpo de madeira, que será a proteção de periferia do pavimento até que a atividade de alvenaria inicie (figura 37).

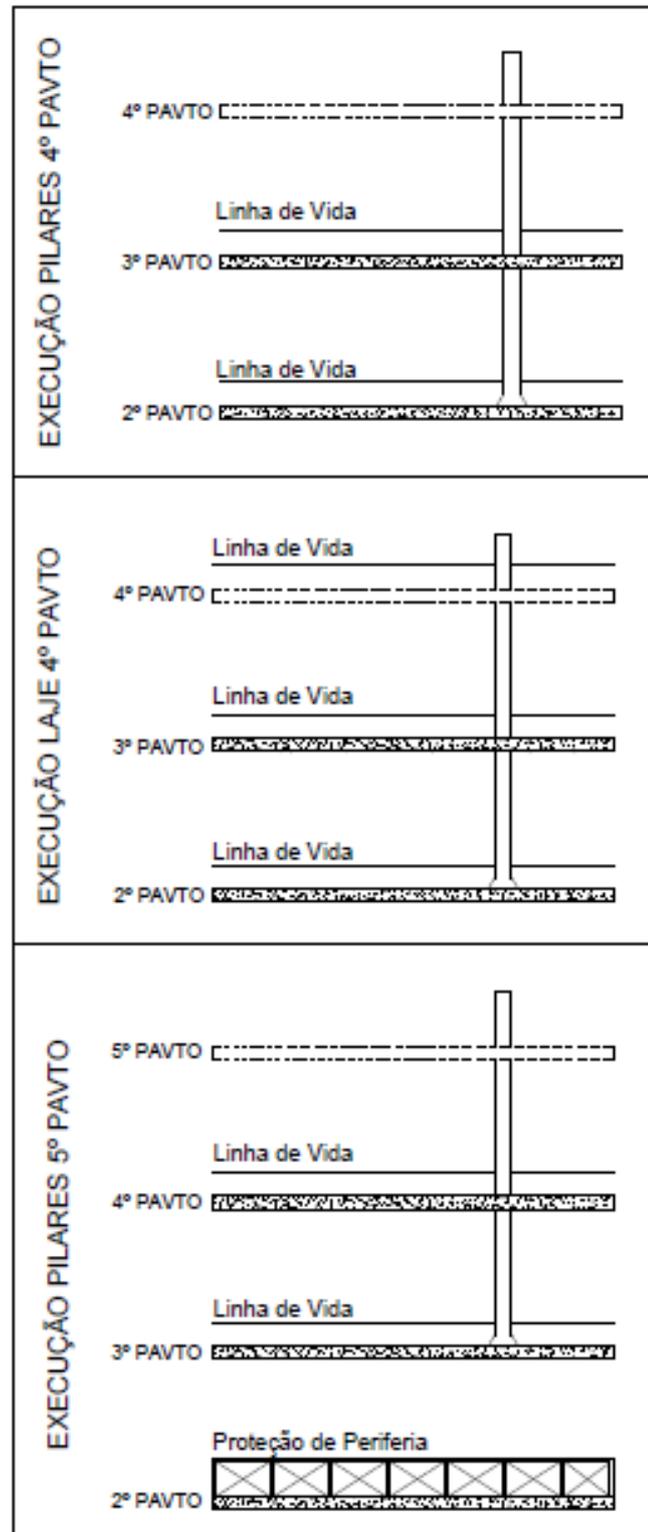
Figura 36 – Estaiamento



(fonte: obra não publicada¹⁶)

¹⁶ Procedimento de uma empresa construtora situada na cidade de Porto Alegre, RS.

Figura 37 – Ciclo da segurança para o sistema convencional



(fonte: elaborado pela autora)

5. COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE FÔRMAS

Este capítulo apresenta uma análise comparativa entre os sistemas de fôrmas voadoras e convencional nos aspectos: restrições dos processos executivos, cumprimento dos ciclos, produtividade e segurança do trabalho. Essa análise foi baseada nas observações feitas em obra, dados coletados junto às empresas e auxílio de embasamento teórico.

5.1 RESTRIÇÕES DOS PROCESSOS EXECUTIVOS

Durante o acompanhamento nas duas obras, buscou-se identificar as restrições dos procedimentos, ou seja, as atividades que precisam ser realizadas em um prazo estipulado, pois, caso ao contrário, o atraso não seria compensado e a conclusão do ciclo estaria comprometida. Notou-se que, no sistema convencional, o serviço crítico é o fechamento das fôrmas dos pilares no primeiro dia do ciclo. Como já descrito anteriormente, para que essa atividade seja concluída, as armaduras dos pilares devem ser içadas e posicionadas a tempo. Caso essa meta não seja atingida, o atraso não é recuperado ao longo do ciclo, retardando a concretagem da laje.

Já no sistema fôrmas voadoras, as atividades críticas são aquelas relacionadas com o voo das mesas. Para que este serviço seja realizado no segundo dia do ciclo, a concretagem dos pilares deve ocorrer no primeiro dia. Além disso, como já citado, a desforma só pode ser efetuada após o concreto atingir a resistência necessária para a protensão, idealmente realizada três dias após a concretagem. Assim, a desforma e o voo das mesas só acontecem no segundo dia do ciclo se a concretagem da laje for na sexta-feira, coincidindo o início do novo ciclo com a protensão na segunda-feira. Caso contrário, a desforma e o voo das mesas são realizados no quarto dia, o que resulta em um ciclo maior do que o ideal de cinco dias.

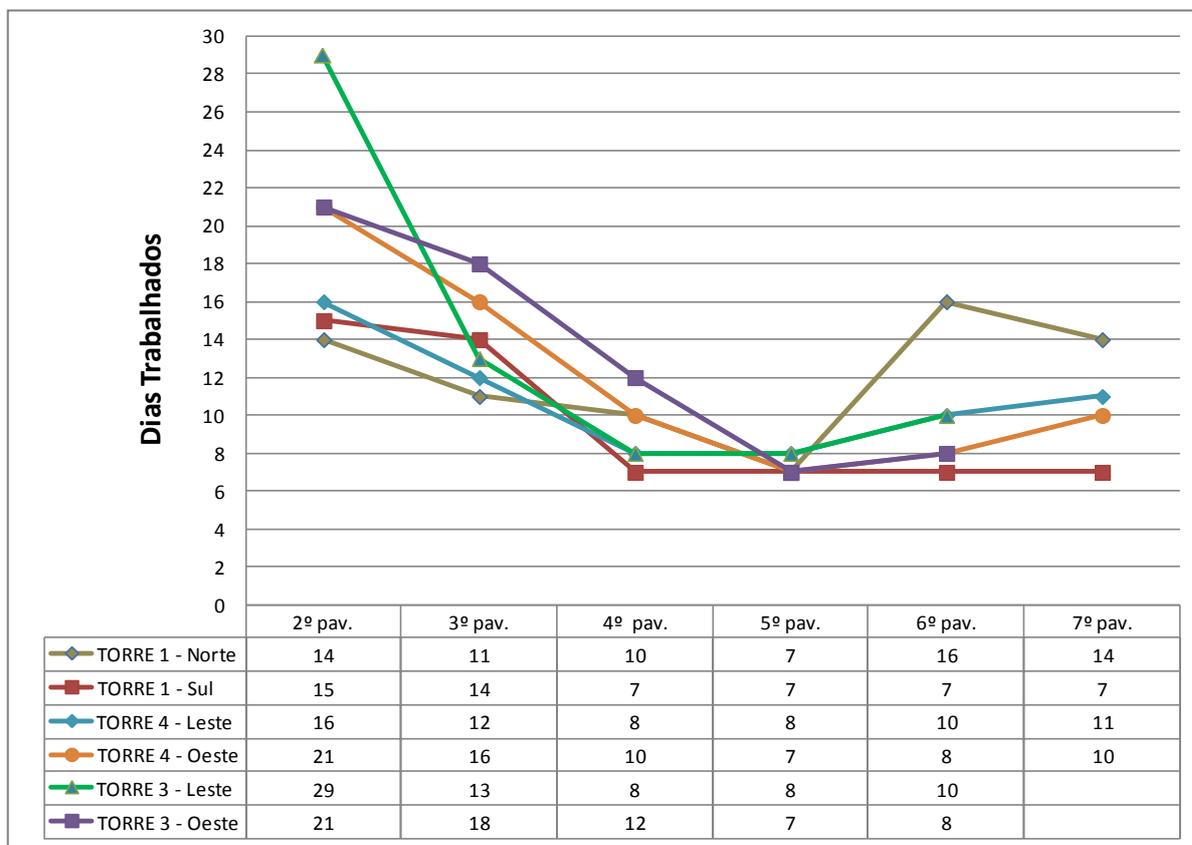
5.2 CUMPRIMENTO DOS CICLOS

O cumprimento do ciclo da estrutura é extremamente importante não só para o prazo do projeto, mas também para o custo. Nessa análise, observou-se a duração dos ciclos dos dois sistemas com o objetivo de identificar as principais dificuldades no cumprimento das metas estabelecidas.

5.2.1 Sistema Convencional

A figura 38 ilustra a duração da execução da estrutura dos pavimentos tipo de três torres no sistema convencional. A torre 3 é a única do projeto com cinco pavimentos tipo. Além disso, é importante ressaltar que os pavimentos não foram executados exatamente ao mesmo tempo. Por exemplo, o 4º pavimento na torre 4 leste não foi executada no mesmo momento do 4º pavimento na torre 3 oeste.

Figura 38 – Duração dos ciclos no sistema convencional



(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que, mesmo sendo um pavimento tipo, para a execução do 2º pavimento de todas as torres necessita-se de um prazo maior, quando comparado aos demais, uma vez que as dimensões das fôrmas dos elementos estruturais são diferenciadas. Finalizada essa etapa e à medida que a equipe torna-se mais preparada, o comportamento indica redução da duração do ciclo. Entretanto, desconsiderando-se o 2º pavimento, a atividade foi concluída no prazo determinado em apenas 25% dos pavimentos, conforme indica a tabela 1.

Tabela 1 – Porcentagem das durações dos ciclos no sistema convencional

Duração	Porcentagem
Meta (7 dias)	25,00%
Meta + 1 dia	21,50%
Meta + 2 ou 3 dias	17,80%
Meta + 4 dias ou mais	35,70%

(fonte: elaborado pela autora)

Na representação, destacam-se dois pontos: 2º pavimento da torre 3 leste, com duração de 29 dias, e 6º pavimento da torre 1 norte, com duração de 16 dias. O atraso no primeiro ponto foi devido à falta de mão de obra. Como mostra a tabela 1, contratou-se a mesma equipe para a execução da torre 4, leste e oeste, e da torre 3 leste. Ainda, essas torres foram executadas quase simultaneamente, gerando grande demanda para o empreiteiro. Após período necessário para a formação das equipes, houve significativa diminuição na duração do ciclo nessas torres. Além disso, a tabela 2 também indica a troca de empreiteiro durante a execução do 6º pavimento da torre 1 norte, o que causou um grande atraso na conclusão do pavimento.

Tabela 2 – Relação de empreiteiros

	2º pav.	3º pav.	4º pav.	5º pav.	6º pav.	7º pav.
TORRE 1 - Norte	X	X	X	X	XY	Y
TORRE 1 - Sul	X	Z	Z	Z	Z	Z
TORRE 4 - Leste	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TORRE 4 - Oeste	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TORRE 3 - Leste	Y	Y	Y	Y	Y	Y
TORRE 3 - Oeste	Z	Z	Z	Z	Z	Z

(fonte: elaborado pela autora)

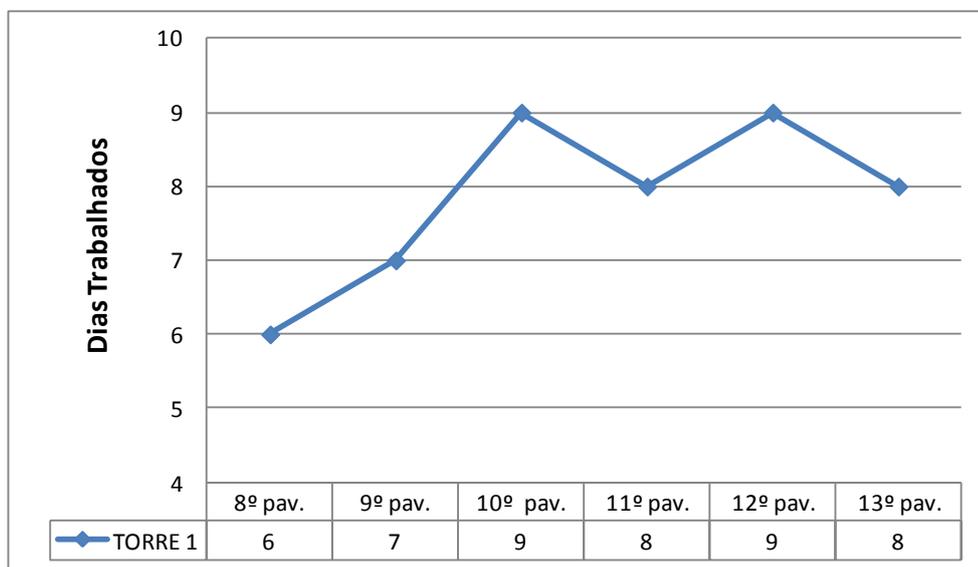
O cumprimento de ciclo também foi afetado em razão da demora na entrega de materiais como chapas de compensado e aço. Entretanto, observou-se que, em geral, os principais motivos pelos atrasos na execução da estrutura foram o baixo efetivo e baixa produtividade da mão de obra.

5.2.2 Sistema Fôrmas Voadoras

Para a análise de cumprimento de ciclo no sistema fôrmas voadoras, foram observadas três torres: torre 1, torre 2 e torre 3. A primeira, como já descrito anteriormente, apresentava a meta de cinco dias para a execução do pavimento. Já as outras duas, uma vez que eram atendidas por uma única grua, compreendiam a meta de sete dias trabalhados.

A figura 39 ilustra a duração da execução do 8º ao 13º pavimento da torre 1. Diferentemente das demais, essa torre foi executada por uma única equipe a qual já apresentava experiência com o sistema.

Figura 39 – Duração dos ciclos da torre 1



(fonte: elaborado pela autora)

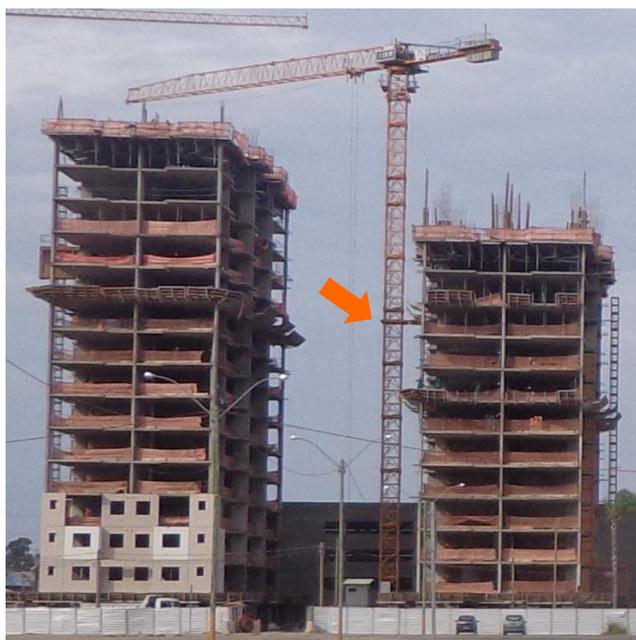
Verificou-se que os principais atrasos nos pavimentos observados foram causados em razão da concretagem não ter sido executada na sexta-feira e, conseqüentemente, da falta de condições para a protensão no primeiro dia e para a desforma da laje no segundo dia do ciclo.

Isso ocorreu devido, principalmente, a demora da equipe em concluir as atividades de voo das mesas e arremates entre elas.

Outra causa pelos atrasos na realização dos voos e dos arremates das mesas envolve questões de segurança do trabalho. A demora na instalação dos cabos de aço e da linha de vida, ocasionada pelo baixo efetivo da equipe responsável, impediu o início dos serviços da fôrma da laje nos prazos determinados.

Na análise da torre 2 e da torre 3, observou-se seis pavimentos os quais foram executados simultaneamente, uma vez que a partir do 7º pavimento da torre 3, a mesma empreiteira atuante na torre 2 aumentou sua equipe e assumiu as duas torres. Além disso, nesse momento a estrutura da torre 3 teve de ser acelerada para que pudesse ser feita a ancoragem da grua (fixação do equipamento na estrutura) no 11º pavimento, conforme determinado em projeto da grua, e, em seguida a telescopagem (aumento de altura). Em contrapartida, a torre 2, a qual já estava com altura próxima à zona de influência da grua, teve de ser retardada. A figura 40 ilustra a ancoragem do equipamento na estrutura da torre 3. Por ser a mesma equipe atuante nas duas torres, essa medida foi facilitada, ocorrendo apenas uma concentração maior de funcionários na torre 3. Após a ancoragem e a telescopagem da grua, a equipe voltou para sua divisão normal entre as torres.

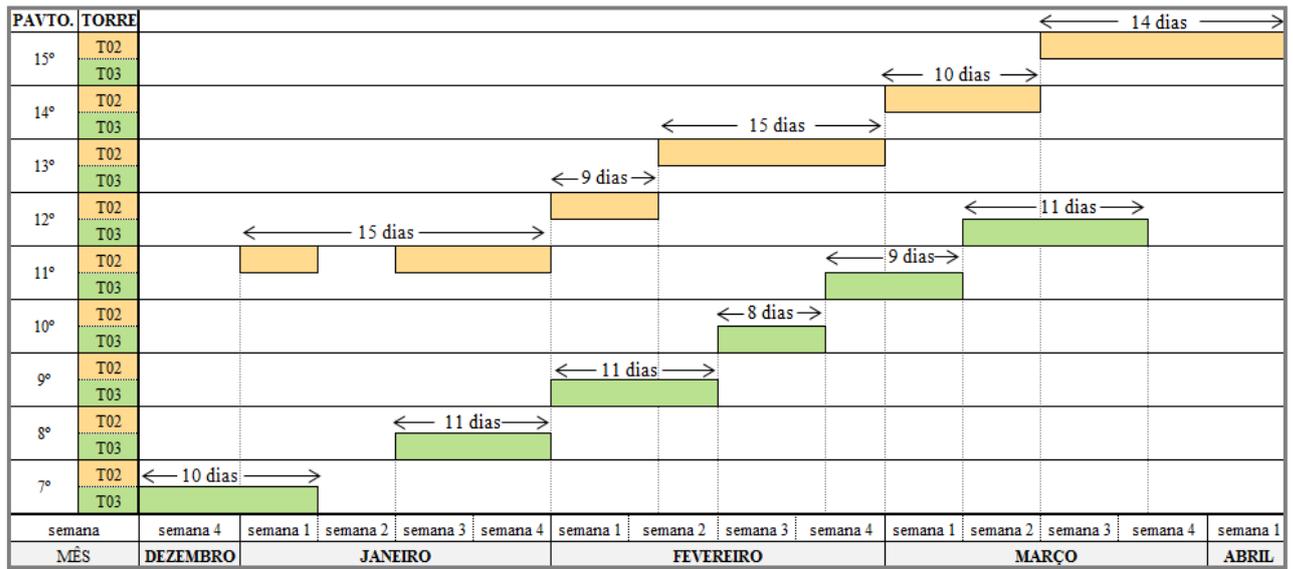
Figura 40 – Ancoragem da grua



(fonte: foto da autora)

A figura 41 mostra as durações da execução dos pavimentos da torre 2 e da torre 3 no decorrer do período analisado. Nota-se uma pausa dos serviços durante a segunda semana de janeiro, ocasionada devido a uma greve organizada pelos funcionários da construtora, impedindo a realização de qualquer atividade na obra.

Figura 41 – Duração dos ciclos da torre 2 e da torre 3



(fonte: elaborado pela autora)

Além das mesmas causas de atrasos observadas na torre 1, observou-se também uma maior variabilidade na duração dos ciclos na torre 2 e na torre 3. Esse fato pode indicar tanto a falta de domínio por parte da mão de obra atuante, quanto a forte dependência de grua na utilização do sistema. Para o cumprimento dos prazos estipulados é necessário não só boa produção da equipe, mas também disponibilidade da grua no momento preciso.

Por meio da análise das durações dos ciclos nas três torres, observou-se que nenhum pavimento foi concluído na meta estabelecida, seja esta de cinco ou sete dias (tabela 3). Além disso, na maior parcela dos pavimentos precisou-se de quatro ou mais dias além da meta para que o ciclo fosse finalizado.

Tabela 3 – Porcentagem das durações dos ciclos no sistema fôrmas voadoras

Duração	Porcentagem
Meta (5 ou 7 dias)	0,00%
Meta + 1 dia	11,70%
Meta + 2 ou 3 dias	41,20%
Meta + 4 dias ou mais	47,10%

(fonte: elaborado pela autora)

5.3 PRODUTIVIDADE

A produtividade é definida como a quantidade de trabalho realizado em uma unidade de tempo, sendo caracterizada pela relação entre os resultados obtidos e os recursos utilizados. Para essa análise nas duas obras acompanhadas, empregou-se a razão unitária de produção (RUP), proposto por Souza (2000). Este indicador é calculado de maneira inversa da produtividade, ou seja, homens-hora por quantidade de serviço executado.

Para obter-se esse índice para o serviço de fôrma, foram analisados seis pavimentos da torre 1, da obra na qual se optou pelo sistema fôrmas voadoras, e da torre 1 sul, da obra na qual se utiliza o sistema convencional, uma vez que as equipes dessas torres apresentaram os melhores ciclos nas duas obras. Os dados necessários para os cálculos, como o número de homens e de horas trabalhadas por dia, foram fornecidos pelas empresas.

A equipe de fôrma no sistema convencional era composta por 12 funcionários e a construtora trabalhava com a meta de 0,7 HH/m². Já a equipe no sistema fôrmas voadoras era formada por 7 trabalhadores. A empresa não possuía meta para o índice, entretanto estimava uma equipe ideal de 10 funcionários para as atividades de fôrma.

As tabelas 4 e 5 mostram os resultados da análise para as duas obras. Nota-se que o sistema fôrmas voadoras apresentou um índice significativamente menor em relação do apontado no sistema convencional. Esse resultado é compreensível, uma vez que no sistema convencional, a fôrma da laje é composta por um número maior de seções, o que demanda um tempo maior para a conclusão da etapa de fôrma do pavimento.

Tabela 4 – Índice RUP de fôrma no sistema fôrmas voadoras

Pavimento	Homens x Horas	Área (m ²)	RUP Fôrma (HH/m ²)
8°	387	799,5	0,48
9°	459	799,5	0,57
10°	423	799,5	0,53
11°	387	799,5	0,48
12°	441	799,5	0,55
13°	378	799,5	0,47
MÉDIA			0,516

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 5 – Índice RUP de fôrma no sistema convencional

Pavimento	Homens x Horas	m ²	RUP Fôrma (HH/m ²)
2°	862,8	888,63	0,97
3°	1358,7	741,9	1,83
4°	688	741,9	0,93
5°	604	741,9	0,81
6°	518,3	741,9	0,70
7°	544	741,9	0,73
MÉDIA			0,996

(fonte: elaborado pela autora)

5.4 SEGURANÇA

Para a comparação dos procedimentos de segurança, analisaram-se as principais diferenças na utilização de equipamento de proteção individual (EPI), equipamento de proteção coletiva (EPC) e no transporte e manuseio das fôrmas durante o ciclo dos dois sistemas de fôrmas. O quadro 1 a seguir confronta as características particulares de cada sistema nesses dois aspectos.

Quadro 1 – Comparação dos sistemas de fôrmas: segurança

SEGURANÇA	
UTILIZAÇÃO DE EPI E EPC	
SISTEMA FÔRMAS VOADORAS	SISTEMA CONVENCIONAL
<p>EPC: emprego de proteção de periferia em todas as etapas do ciclo.</p> <p>EPI: uso do sistema de linha de vida somente no momento da execução dos guarda-corpos e arremates entre as mesas.</p>	<p>EPC: utilização de proteção de periferia apenas no instante da concretagem da laje.</p> <p>EPI: emprego do sistema de linha de vida durante todas as atividades do ciclo.</p>
COMENTÁRIOS	
<p>Quando se compara os sistemas tendo como enfoque a utilização de EPI e de EPC, é possível afirmar que o sistema fôrmas voadoras é mais seguro. Uma vez que o EPC não depende da vontade do trabalhador para atender suas finalidades, ele tem maior preferência frente à utilização do EPI. Este deve ser empregado somente quando não for possível tomar atitudes que permitam eliminar os riscos inerentes ao processo, ou seja, quando as medidas de proteção coletiva não forem viáveis.</p>	
TRANSPORTE E MANUSEIO DAS FÔRMAS	
SISTEMA FÔRMAS VOADORAS	SISTEMA CONVENCIONAL
<p>O transporte das fôrmas tanto dos pilares quanto da laje ocorre em módulos. Para os dois elementos, as fôrmas são montadas no solo, sendo as mesas montadas uma única vez, e içadas pela grua para o pavimento em execução.</p>	<p>Montagem das fôrmas dos pilares, vigas e laje no próprio local de trabalho. No momento da desforma, as peças são removidas seção por seção e transportadas para o próximo pavimento pelos próprios trabalhadores nas extremidades da torre.</p>
COMENTÁRIOS	
<p>O sistema fôrmas voadoras também apresenta maior segurança na análise do transporte e manuseio das fôrmas, visto que nesse sistema o trabalhador não se expõe tanto na periferia do prédio quanto no sistema convencional. Dessa forma, o risco de acidentes devido ao trabalho em altura é menor.</p>	

(fonte: elaborado pela autora)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a análise comparativa das vantagens, desvantagens e condicionantes do sistema fôrmas voadoras frente ao sistema de fôrmas convencional, por meio de informações provenientes de pesquisa bibliográfica e de observações de campo. O objetivo secundário era a comparação entre os dois sistemas de fôrmas nos aspectos: restrições dos processos executivos, cumprimento dos ciclos, produtividade e segurança do trabalho.

Com base no que foi apresentado, pode-se afirmar que o sistema fôrmas voadoras apresenta maior segurança do trabalho quando comparado ao sistema convencional, uma vez que a utilização de EPC é feita durante grande parte do ciclo e não há necessidade de os funcionários arriscarem-se na periferia do pavimento para o transporte das peças. Contudo, o procedimento de segurança utilizado, mesmo que mais seguro, gera atrasos nas atividades do ciclo, como o voo das mesas e os arremates entre elas.

Em relação ao cumprimento dos ciclos, tanto o sistema convencional quanto o sistema fôrmas voadoras não satisfazem o prazo determinado pelas construtoras. No sistema convencional, apenas 25% dos pavimentos observados, desconsiderando-se o 2º pavimento de todas as torres, foram concluídos na meta estipulada e 35,70% dos pavimentos foram finalizados com atraso de pelo menos 4 dias. Por outro lado, não só a falta de domínio da mão de obra, como também a forte dependência da disponibilidade de grua e o maior número de restrições no sistema fôrmas voadoras acarretaram no não cumprimento da meta nos ciclos. Ainda, observou-se que 47,10% dos pavimentos foram concluídos com atraso de 4 dias ou mais, representando uma parcela maior, frente ao sistema convencional, com esse atraso.

Em contrapartida, o sistema fôrmas voadoras apresenta um melhor índice RUP, quando comparado com o sistema convencional. Enquanto neste o índice é, em média, igual a 0,996, naquele o valor médio é, aproximadamente, a metade (0,516). Com o objetivo de melhorar os resultados das durações dos ciclos no sistema fôrmas voadoras, poderia haver um aumento da equipe e, conseqüentemente, aumento do índice RUP, principalmente para as atividades de arremates entre as mesas, uma das causas de atrasos. Assim, ainda com equipe reduzida, quando comparado ao sistema convencional, o sistema fôrmas voadoras poderia ser mais

eficaz no cumprimento da meta estipulada. Além disso, essa significativa diferença do índice entre os dois sistemas evidencia o fato de que, enquanto no sistema convencional o processo é mais artesanal, no sistema fôrmas voadoras é necessário um envolvimento maior no estudo para a implementação do sistema.

Importante destacar que a utilização de tecnologias inovadoras e processos otimizados é uma tendência evidente na construção civil. Entretanto, o uso de novos sistemas não pode ser tratado como a solução dos problemas do sistema convencional. Novas técnicas podem apresentar também novos problemas, que demandam novas soluções. O sucesso na implantação de um novo sistema construtivo depende não só de um estudo aprofundado do sistema em si, mas também da análise do canteiro, dos processos e do treinamento da mão de obra para a execução. Todos os fatores envolvidos devem estar em sintonia para que a tecnologia proporcione ganhos reais à construção.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T. de **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- ARAÚJO, L. O. C. de.; FREIRE, T. M. **Tecnologia e Gestão de Sistemas Construtivos de Edifícios**. São Carlos: UFSCAR, 2004. Apostila da disciplina Tecnologia de Produção de Edifícios em Concreto Armado. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABh6sAD/apost-c-estrutura-l>>¹⁷. Acesso em: 23 nov. 2013.
- ASSAHI, P. N. **Sistema de Fôrma para Estrutura de Concreto**. [Fortaleza: UFC, 2005]. Apostila da disciplina TB736 Construção de Edifícios I. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/TB736_construcao%20de%20edificios/Estruturas%20de%20Concreto%20Armado_agosto%20de%202005/Texto%20Paulo%20Assahi%20-%20SISTEMAS%20DE%20F%20D4RMAS.pdf>. Acesso em: 21 set. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SISTEMAS DE FÔRMAS E ESCORAMENTOS. **Soluções de fôrmas e escoramentos de grande produtividade em estruturas moldadas *in loco***. [São Paulo, 2012]. Apresentação em Power Point.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7678**: segurança na execução de obras e serviços de execução – procedimento. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 15696**: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.
- BARROS, M. M. S. B. de.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: EPUSP; Senai, 1998. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAY7UAI/producao-estruturas-concreto-armado>>¹⁸. Acesso em: 31 ago. 2013.
- BRASIL., Gabinete do Ministro. **Portaria n. 3214**, de 08 de junho de 1978. Aprova norma regulamentadora NR 18 que dispõe sobre condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília, 1978. Disponível em: <<http://mte.gov.br>>. Acesso em: 9 nov. 2013.
- CICNHINELLI, G. Dois em um: sistema que combina a fôrma e parte do escoramento inicial, a mesa voadora permite executar grandes panos de laje com maior produtividade. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 176, não paginado, nov. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/176/dois-em-um-sistema-que-combina-a-forma-e-287887-1.aspx>>¹⁹. Acesso em: 11 ago. 2013.

¹⁷ Necessário cadastro.

¹⁸ Idem.

¹⁹ Necessário login e senha, concedidos mediante a assinatura do periódico.

FAJERSZTAJN, H.; LANDI, F. R. **Fôrmas para Concreto Armado**: aplicação para o caso do edifício. São Paulo: EPUSP, 1992. Boletim Técnico PCC n. 60.

FARIA, M. P. **Estruturas para edifícios em concreto armado**: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuras. 2010. 97 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FREIRE, T. M.; SOUZA, U. E. L. de. **Classificação dos Sistemas de Formas para Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: EPUSP, 2001. Boletim Técnico PCC n. 296.

HENNRICHS, C. A. **Estudos sobre a modelagem de lajes planas em concreto armado**. 2003. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HURD, M. K. **Formwork for Concrete**. 5th ed. Detroit: American Concrete Institute, c1989.

MELGES, J. L. P. **Punção em lajes**: exemplos de cálculo e análise teórico-experimental. 1995. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MILLS ESTRUTURAS E SERVIÇOS DE ENGENHARIA SA. **Mesas Voadoras**. [São Paulo, 2012]. Apresentação em Power Point.

PERI GMBH. **Slab Tables**. [S. l]. 2008. Catálogo técnico.

PEURIFOY, R. L.; OBERLENDER, G. D. **Formwork for Concrete Structures**. 4th ed. New York: Mc Graw-Hill, c2011.

SH FÔRMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTO LTDA. **Lajes**: catálogo de equipamentos. Rio de Janeiro. [2013]. Catálogo técnico. Disponível em: <http://www.sh.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=25&lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2013.

SOUZA, U. E. L. de. Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8. , 2000, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000. Disponível em: <<http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Produtividade/como%20medir%20produtividade%20-%20Entac.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2014

SPOHR, V. H. **Análise comparativa**: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.