

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

Leandro Mattos Beltrão

**PRÉ-LAJES EM EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS: ESTUDO
COMPARATIVO COM O MÉTODO CONSTRUTIVO
CONVENCIONAL**

Porto Alegre
novembro 2010

LEANDRO MATTOS BELTRÃO

**PRÉ-LAJES EM EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS: ESTUDO
COMPARATIVO COM O MÉTODO CONSTRUTIVO
CONVENCIONAL**

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
novembro 2010

LEANDRO MATTOS BELTRÃO

**PRÉ-LAJES EM EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS: ESTUDO
COMPARATIVO COM O MÉTODO CONSTRUTIVO
CONVENCIONAL**

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, 20 de dezembro de 2010

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

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Franciele Tiecher Bonsembiante (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Dedico este trabalho a meus pais, José Luiz e Vera Lucia,
e a minha irmã, Luciana, que sempre me apoiaram e,
especialmente durante o período do meu Curso de
Graduação, estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, José Luiz e Vera Lucia, pelo suporte, ensinamentos e por me apoiarem durante toda a minha vida.

Agradeço a minha irmã e meu cunhado, Luciana e Thiago, por sempre estarem ao meu lado e serem meus grandes amigos.

Agradeço ao professor Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela sabedoria e atenção dedicada para que a realização deste fosse possível.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt, pela dedicação durante a realização deste trabalho e pelas correções e sugestões para a melhoria do mesmo.

Agradeço aos meus amigos, pela compreensão e companheirismo durante todo o meu Curso de Graduação.

Agradeço à empresa Capa Engenharia pelo auxílio prestado e por permitir que eu realizasse estudos em sua obra, sendo fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao engenheiro Stephan Jones de Lima, pela paciência e apoio, fornecendo informações imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Agradeço ao engenheiro José Roni Rodrigues de Avila, pelo tempo e auxílio prestados para a realização deste trabalho.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de
ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

BELTRÃO, L. M. **Pré-lajes em edifícios multipavimentos:** estudo comparativo com o método construtivo convencional. 2010. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A construção civil vive um processo de modernização e implantação de novas tecnologias. Com isso, cria-se a necessidade de adaptação e sistematização com o objetivo de uma maior racionalização dos processos envolvidos nas obras, obtendo maior produtividade e redução de desperdícios. Dentre essas novas tecnologias está a execução de lajes com o sistema de pré-lajes. Esse sistema permite eliminar as fôrmas das lajes, assim como reduzir o cimbramento e dispensar o revestimento de teto, visto o nível de acabamento adquirido com as pré-lajes. Sendo assim, este trabalho compara o sistema estrutural convencional (moldado *in loco*), com o sistema estrutural utilizando pré-lajes, adotando como referência no comparativo uma obra projetada no sistema convencional. Nessa comparação foram verificadas as vantagens e desvantagens através da análise das etapas construtivas, ciclo do pavimento tipo e custos estimados da produção. Na execução da supraestrutura com pré-lajes, a diferença quanto às etapas construtivas ocorre após a colocação das fôrmas das vigas, quando se inicia a execução das fôrmas das lajes. Ao invés de executar o cimbramento seguido da colocação das fôrmas da laje (sistema convencional), é realizada a montagem da laje com as pré-lajes, seguido dos mesmos serviços com exceção da colocação da armadura positiva (inclusa nas pré-lajes). No ciclo do pavimento tipo, com a utilização dessa nova tecnologia, há a possibilidade de redução do tempo de execução através da eliminação ou redução de algumas atividades típicas do sistema convencional, inexistentes com o uso de elementos pré-moldados, no caso as pré-lajes. Quanto aos custos, a execução da laje com pré-lajes produzidas na obra reduz em 25% o custo da laje no sistema convencional, em contrapartida, utilizando pré-lajes de uma empresa terceirizada a diferença é menor, o custo reduz em torno de 9%. Assim fica claro que a escolha do método construtivo depende da cultura da construtora, do planejamento e análise de viabilidade do empreendimento e das prioridades para otimização de tempo e custo, visto que é possível encurtar prazos, aumentar a qualidade da obra e, como consequência, ocorrerem alterações consideráveis nos custos da mesma ao optar pela utilização das pré-lajes.

Palavras-chave: sistema estrutural convencional; pré-laje; processo de modernização; racionalização dos processos;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: etapas da pesquisa	15
Figura 2: representação esquemática da execução da estrutura de concreto armado convencional	18
Figura 3: elementos básicos da estrutura de concreto armado convencional	18
Figura 4: índice de consumo de cimento utilizado no concreto pré-moldado	21
Figura 5: índice de consumo de concreto pré-moldado por habitante	21
Figura 6: içamento de pré-laje	24
Figura 7: detalhe das pré-lajes com armadura negativa	27
Figura 8: montagem de laje com pré-lajes treliçadas	29
Figura 9: pré-laje treliçada com EPS	30
Figura 10: detalhe da rugosidade e das alças de içamento da pré-laje protendida	31
Figura 11: locação da torre analisada em relação ao empreendimento	37
Figura 12: planta baixa do pavimento tipo da obra adotada como referência no comparativo	37
Figura 13: vista superior da execução da edificação da obra estudada	38
Figura 14: equipamento utilizado para transporte vertical de materiais	38
Figura 15: perspectiva da edificação da obra estudada	39
Figura 16: etapa de fechamento e travamento das fôrmas dos pilares	41
Figura 17: colocação dos fundos e laterais internas das vigas apoiados sobre as escoras e fôrmas dos pilares	42
Figura 18: escoramento e barroteamento das vigas e laje	43
Figura 19: etapa de execução da laje com fôrmas de compensado	43
Figura 20: colocação da armadura das vigas	44
Figura 21: detalhe do posicionamento da armadura da laje, tubulações e caixas	44
Figura 22: concretagem das vigas e laje de um setor do pavimento tipo da obra estuda..	45
Figura 23: estrutura de concreto armado utilizando pré-lajes	46
Figura 24: painel treliçado recomendado para a obra estudada	47
Figura 25: corte esquemático do apoio da pré-laje no painel interno das vigas externas	48
Figura 26: corte esquemático do apoio da pré-laje no painel interno das vigas internas .	48
Figura 27: detalhe do escoramento e barroteamento de uma laje executada com pré-lajes	49
Figura 28: laje executada com pequenos painéis treliçados	49
Figura 29: estrutura de edificio executado com pré-lajes	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: ciclo do pavimento tipo com o sistema estrutural convencional	51
Quadro 2: horas de trabalho e taxas de produtividade de operários no sistema convencional	52
Quadro 3: ciclo do pavimento tipo com o sistema estrutural utilizando pré-laje	54
Quadro 4: horas de trabalho e taxas de produtividade de operários no sistema utilizando pré-laje	56
Quadro 5: estimativa de custos para a execução da laje convencional	58
Quadro 6: estimativa de custos para a execução da laje com pré-lajes.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 PRESSUPOSTO	14
2.4 PREMISSAS	14
2.5 DELIMITAÇÕES	14
2.6 LIMITAÇÕES	14
2.7 DELINEAMENTO	15
3 ESTRUTURAS DE CONCRETO	17
3.1 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL	17
3.2 ESTRUTURA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	19
3.2.1 Classificação dos elementos de concreto pré-moldado	21
3.2.1.1 Seção transversal	22
3.2.1.2 Processo de execução	22
3.2.1.3 Categoria do peso dos elementos	22
3.2.1.4 Desempenho arquitetônico	23
3.2.2 Princípios e equipamentos de montagem	23
4 PRÉ-LAJE	26
4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS	26
4.2 TIPOS DE PRÉ-LAJE	28
4.2.1 Pré-laje treliçada	28
4.2.2 Pré-laje simples protendida	30
4.2.3 Pré-laje simples armada	31
4.3 VANTAGENS DO SISTEMA COM PRÉ-LAJES	32
4.4 DESVANTAGENS E PONTOS CRÍTICOS DO SISTEMA COM PRÉ-LAJES	33
5 COMPARAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL COM O SISTEMA UTILIZANDO PRÉ-LAJES NA EDIFICAÇÃO ADOTADA COMO REFERÊNCIA	36
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA ADOTADA COMO REFERÊNCIA NO COMPARATIVO	36
5.2 MÉTODO COMPARATIVO	39

5.3 ETAPAS CONSTRUTIVAS	40
5.3.1 Estrutura convencional de concreto armado	41
5.3.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje	45
5.4 CICLO DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO	50
5.4.1 Estrutura convencional de concreto armado	51
5.4.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje	52
5.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS	57
5.5.1 Estrutura convencional de concreto armado	57
5.5.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE A	67

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, com o crescimento contínuo dos últimos anos, fez com que a demanda de insumos, como fôrmas de compensado, aço e concreto, muito utilizados na etapa de execução da supraestrutura, aumente cada vez mais para acompanhar esse mercado em ascensão. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de industrializar a construção e, visando a racionalização dos processos e a garantia de qualidade, as estruturas de concreto pré-moldado se tornam soluções alternativas cada vez mais interessantes, adquirindo seu espaço na construção.

Assim, o trabalho tem o intuito de analisar as vantagens e desvantagens da utilização de pré-lajes em um edifício residencial com múltiplos pavimentos e elevado grau de repetição, projetado originalmente no sistema estrutural convencional. Desta forma, combina-se a velocidade e qualidade dos pré-fabricados com a flexibilidade e tradicionalismo do concreto moldado *in loco* entre outros aspectos.

No comparativo em questão, é interessante ressaltar que a utilização das pré-lajes em uma obra com múltiplos pavimentos, não deve ser interpretada apenas com uma solução para reduzir etapas e, conseqüentemente, o tempo de execução da estrutura de concreto. As melhorias em termos de acabamento da face inferior da laje e o fato de não precisar utilizar fôrmas para as mesmas, reduzindo consideravelmente a quantidade de escoramento e madeira, como os compensados, também são questões muito interessantes. No entanto essa alternativa ainda necessita romper alguns obstáculos impostos pelo conservadorismo dos agentes envolvidos na construção civil, principalmente quando se trata de edifícios residenciais.

Sendo assim, a idéia central desse trabalho é definir as vantagens e limitações da utilização de pré-lajes associadas ao sistema moldado *in loco*, no caso pilares e vigas, através da coleta de dados em bibliografia especializada, estudo de obras executadas e pesquisa em fábricas de pré-moldados. O enfoque é dado principalmente nas etapas construtivas, no ciclo de trabalho e nos custos estimados dessa alternativa, levando em consideração as diferenças que implicariam em uma obra projetada no sistema convencional.

Após esse primeiro capítulo, referente à introdução, é apresentado, no segundo capítulo, o método de pesquisa, sendo constituído pela questão de pesquisa, objetivo principal, objetivos secundários, pressuposto, premissa, delimitações, limitações e delineamento do trabalho. No terceiro capítulo são caracterizadas as estruturas convencional de concreto e de concreto pré-moldado. No quarto capítulo, a pré-laje é definida, são indicadas as suas características e os tipos pesquisados (treliçada, simples protendida e simples armada), para então finalizar com as vantagens, desvantagens e pontos críticos do sistema com pré-lajes. No quinto capítulo é caracterizada a obra adotada como referência no comparativo dos sistemas convencional e com pré-lajes, seguido do sexto capítulo no qual é realizada a comparação propriamente dita, abordando as etapas construtivas, ciclo de execução do pavimento tipo da obra estudada e custos estimados de ambos os sistemas. O sétimo capítulo consiste nas considerações finais da comparação, descrevendo objetivamente as vantagens e desvantagens dos sistemas estruturais e identificado, de maneira subjetiva, qual o sistema construtivo mais vantajoso.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para este trabalho de diplomação foram estabelecidas diretrizes que definem como o trabalho se desenvolveu, sendo as mesmas apresentadas abaixo.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais são as vantagens e desvantagens do sistema de pré-lajes na execução da supraestrutura de um edifício multipavimento em relação ao método convencional?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a verificação das vantagens e desvantagens do sistema de pré-lajes em comparação ao sistema estrutural convencional.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são as caracterizações dos sistemas de pré-lajes e estrutural convencional quanto a:

- a) etapas construtivas;

- b) ciclo do pavimento tipo;
- c) custos estimados.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que a obra adotada como referência no comparativo apresenta características e dimensões adequadas para as projeções e estudos desta pesquisa.

2.4 PREMISSE

A necessidade de racionalizar recursos evitando desperdícios, os cronogramas cada vez mais apertados e a busca por maior diversidade de soluções técnicas impulsionam o setor de pré-fabricados na construção civil, entre eles o sistema de pré-lajes.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo do sistema de pré-laje em edifício residencial com múltiplos pavimentos projetado originalmente no sistema estrutural convencional.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são abaixo apresentadas:

- a) o estudo limita-se a consideração das lajes, sendo os demais componentes da supraestrutura incluídos quando houver dependência construtiva entre eles;
- b) as informações referentes ao sistema convencional foram obtidas através da pesquisa bibliográfica e da coleta de dados na incorporadora responsável pela execução da obra adotada como referência no comparativo;
- c) as informações referentes ao sistema utilizando pré-lajes são todas teóricas, obtidas através de pesquisa bibliográfica e coleta de dados em fábrica de pré-moldados;

- d) os preços dos insumos do sistema convencional foram baseados nos dados coletados de uma incorporadora de Porto Alegre;
- e) não há projeto estrutural para a execução do empreendimento com pré-lajes, portanto os quantitativos e custos referentes a esse sistema foram estimados através de composições de custo e da empresa de pré-moldados consultada.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1 e detalhadas no próximo parágrafo:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição das variáveis de comparação;
- c) caracterização do sistema estrutural convencional;
- d) caracterização do sistema com pré-laje;
- e) comparação dos resultados;
- f) considerações finais.

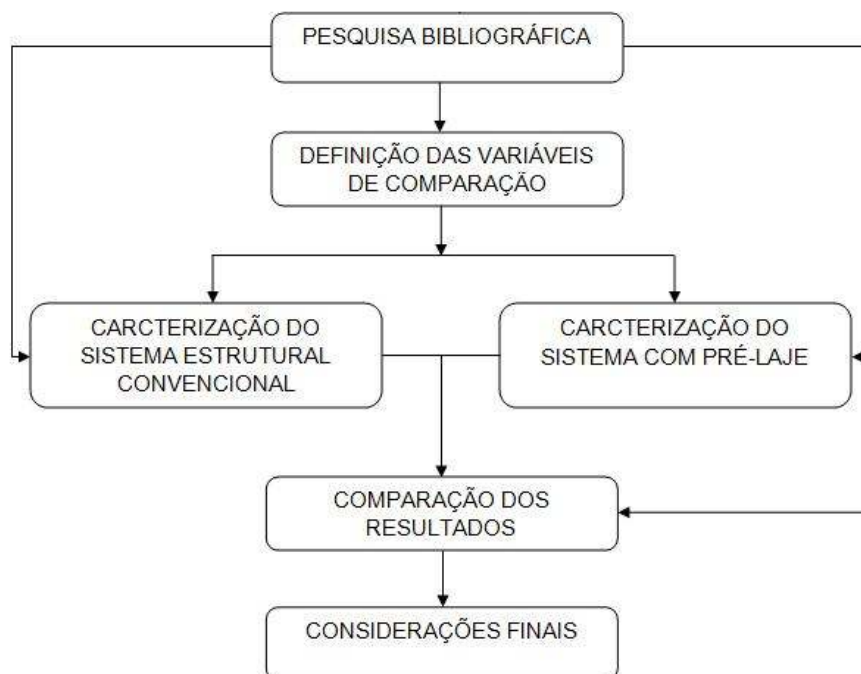


Figura 1: etapas da pesquisa

A pesquisa bibliográfica consistiu na busca e coleta de dados para se ter embasamento teórico durante a realização do trabalho de diplomação. Foram utilizadas informações existentes em

livros, periódicos e sites especializados em estruturas pré-moldadas de concreto, concreto convencional e afins. Após iniciar a pesquisa bibliográfica foi possível definir quais variáveis seriam analisadas e comparadas, sendo possível focar a coleta de dados de modo consistente. O sistema estrutural convencional foi caracterizado através dos dados coletados em bibliografia e na obra adotada como referência, cujo projeto original contempla o método convencional. O sistema de pré-lajes foi caracterizado através de bibliografia especializada em estruturas de concreto pré-moldado e pesquisa em fábricas de pré-moldados. A comparação dos resultados obtidos serviu como base para o apontamento das vantagens e desvantagens da utilização da tecnologia construtiva em questão. Assim, através da análise dos resultados e do conhecimento adquirido durante o trabalho foram feitas as devidas considerações finais a respeito do assunto abordado.

3 ESTRUTURAS DE CONCRETO

Este capítulo fará uma abordagem sobre estruturas de concreto armado, dividindo o conceito em duas partes: estruturas de concreto moldado *in loco*, também conhecida como estrutura convencional ou tradicional, e estruturas de concreto pré-moldado, caso em que os elementos de concreto são moldados fora de sua posição definitiva de utilização. As definições mais detalhadas de ambos os grupos citados acima são apresentadas a seguir.

3.1 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL

Concreto armado é definido como o material de construção composto pela associação de concreto com barras de aço colocadas no seu interior. As barras de aço, que constituem a armadura, são posicionadas na fôrma, antes do lançamento do concreto plástico. Este envolve as barras de aço, obtendo-se, após endurecimento, um elemento de concreto armado (PFEIL, 1988, p. 1). As estruturas de edifícios executados em concreto armado comumente recebem a denominação de estruturas convencionais ou tradicionais, as quais são constituídas por pilares, vigas e lajes produzidas com concreto armado moldado no local, conforme ilustrado na figura 2 (BARROS; MELHADO, 1998, p. 4).

A estrutura de concreto armado é, certamente, a mais empregada no Brasil. As barras de aço envolvidas pelo concreto moldado *in loco*, em fôrmas de madeira (figura 3), permitem a obtenção de estruturas aptas a resistir a variadas sobrecargas. Para isso, no entanto, é necessário que elas sejam convenientemente calculadas por engenheiro ou arquiteto, especialistas que elaborarão o projeto estrutural. No cálculo estrutural serão definidas, em função das cargas a que estará submetido o edifício, entre outras, as dimensões de pilares, vigas e lajes, bem como as correspondentes armaduras e a composição do concreto a ser utilizado. Fator relevante também, do ponto de vista econômico e ecológico, é o estudo criterioso das fôrmas de madeira. É interessante analisar o reaproveitamento das fôrmas, buscando um número ótimo de reutilizações das mesmas sem, no entanto, comprometer a qualidade final da estrutura (BIANCO, 2010).

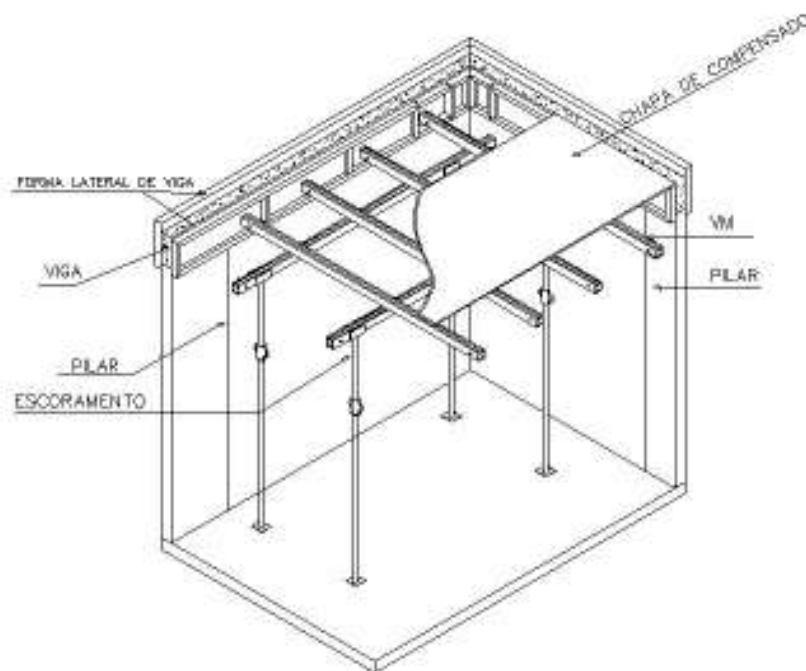


Figura 2: representação esquemática da execução da estrutura de concreto armado convencional (trabalho não publicado)¹

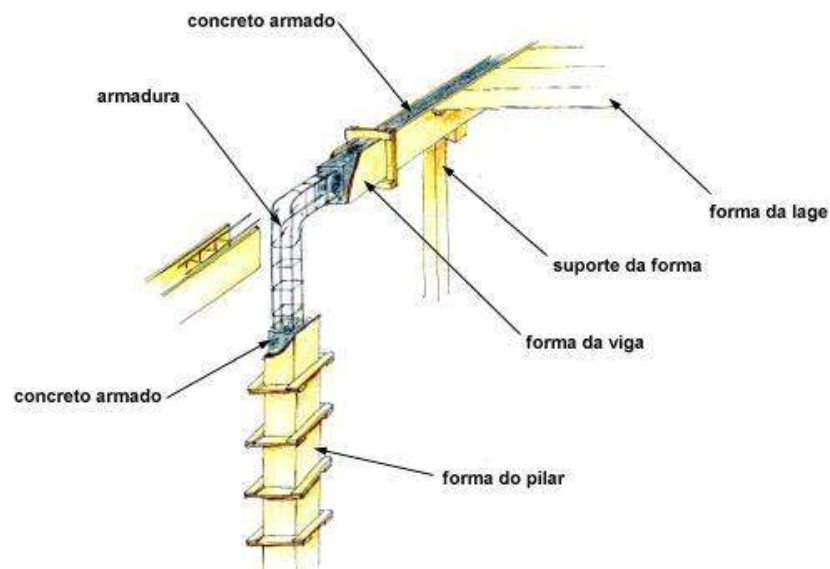


Figura 3: elementos básicos da estrutura de concreto armado convencional (BIANCO, 2010)

¹ Detalhe padrão apresentado pela empresa Pashal Sistemas Construtivos Ltda em seus projetos de escoramento.

Segundo Pfeil (1988, p. 5-6), o concreto armado possui papel fundamental na construção civil, devido principalmente às seguintes vantagens:

- a) materiais econômicos e disponíveis com abundância;
- b) facilidade de moldagem, permitindo adoção das mais variadas formas;
- c) emprego extensivo de mão de obra não qualificada e equipamentos simples;
- d) elevada resistência à ação do fogo;
- e) elevada resistência ao desgaste mecânico;
- f) grande estabilidade sob ação das intempéries, dispensando trabalhos de manutenção;
- g) aumento, como o passar do tempo, da resistência à ruptura;
- h) facilidade e economia na construção com estruturas contínuas, sem juntas.

Mesmo havendo diversas vantagens, o concreto armado apresenta algumas desvantagens que podem ser fundamentais para a escolha ou não de sua utilização em um projeto. Segundo Boaventura (2009, p. 19), dentre as desvantagens do concreto armado estão:

- a) as reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução;
- b) a utilização resulta em elementos com maiores dimensões em comparação a estruturas de aço e apresentam um peso próprio muito grande devido seu peso específico elevado, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo;
- c) é necessário um sistema de fôrmas e a utilização de escoramento (quando não se faz uso de pré-moldagem), que, geralmente, necessitam permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada.

3.2 ESTRUTURA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

O concreto pré-moldado corresponde ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização na construção. Basicamente, a utilização do concreto pré-moldado apresenta duas diretrizes: a industrialização da construção e a racionalização da execução de estruturas de concreto (EL DEBS, 2000, p. v).

De acordo com Yazigi (2008, p. 274), a construtora, ao optar pela utilização de pré-moldados nas estruturas de concreto, ao contrário do que ocorre em obras convencionais, toma atalhos que facilitam muito a comprovação ou garantia da qualidade, sem contar com a maior facilidade de adquirir a qualidade do ponto de vista do atendimento a normas, segurança e

durabilidade, além de outros aspectos também interessantes como plasticidade, estética, agilidade, criatividade, etc.

No Brasil, diferentemente do que ocorre em outros países, o concreto pré-moldado ainda necessita romper alguns obstáculos e restrições que impedem sua utilização a todo seu potencial. Para El Debs (2000, p. v), apesar dos avanços no cenário mundial, os principais motivos para que o concreto pré-moldado seja subutilizado no Brasil são:

- a) o sistema tributário que penaliza o emprego de elementos pré-moldados de fábricas;
- b) a instabilidade econômica que dificulta o planejamento e os investimentos a longo prazo²;
- c) o conservadorismo dos agentes envolvidos com a construção civil;
- d) a falta de conhecimento de alternativas em concreto pré-moldado;
- e) a escassez de oferta de equipamentos;
- f) a indisponibilidade comercial de dispositivos auxiliares para realizar as ligações e o manuseio de elementos.

Seguindo o mesmo raciocínio, Campos (2008, p. 10) acredita em um grande abismo dividindo a realidade da construção civil brasileira e a possibilidade de aplicação de sistemas pré-fabricados e procedimentos industrializados (figuras 4 e 5). As demandas existentes, mesmo se tratando do imenso déficit habitacional de mais de 6 milhões de unidades, continuam sendo encaradas sob o ponto de vista tradicional de se construir.

El Debs (2000, p. v) conclui indicando a dificuldade básica enfrentada pelo sistema de pré-moldados de concreto no Brasil:

Essa conjunção de fatores [as principais razões de o concreto pré-moldado ser subutilizado] acarreta um círculo vicioso, responsável, em grande parte, pela não exploração da potencialidade do concreto pré-moldado, que é o de que não se constrói porque não se têm insumos tecnológicos (conhecimentos, experiência, equipamentos e dispositivos auxiliares) e não se têm os insumos tecnológicos porque não se constrói.

² El Debs, em 2000, afirma que a instabilidade econômica é um dos motivos para que o concreto pré-moldado seja subutilizado no Brasil, no entanto, alguns aspectos podem ter se alterados do ano de publicação do livro até os dias de hoje, tornando essa afirmação não válida.

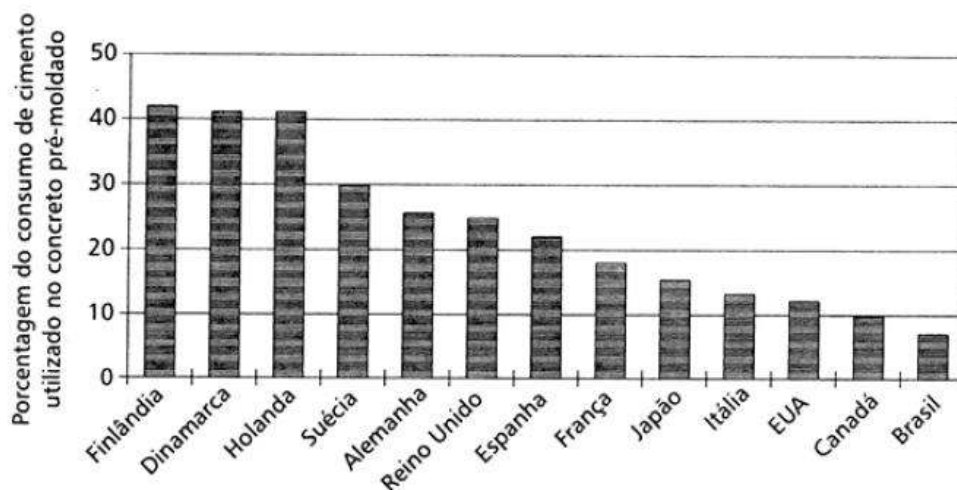


Figura 4: índice de consumo de cimento utilizado no concreto pré-moldado (EL DEBS, 2000, p. 4)

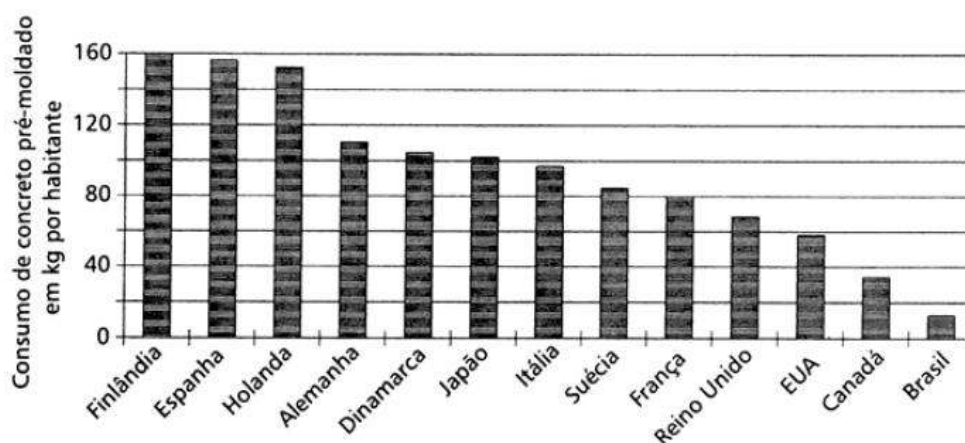


Figura 5: índice de consumo de concreto pré-moldado por habitante (EL DEBS, 2000, p. 4)

3.2.1 Classificação dos elementos de concreto pré-moldado

Segundo El Debs (2000, p. 14), a concepção em nível geral do concreto pré-moldado permite classificá-lo de diversas maneiras, como quanto à seção transversal, quanto ao processo de execução, quanto a sua função estrutural e desempenho arquitetônico.

3.2.1.1 Seção transversal

Os pré-moldados podem ser de seção completa ou seção parcial. Os **elementos de seção completa** são aqueles executados de maneira que a sua seção resistente é formada fora do local definitivo de utilização, podendo ter complementos sem alteração na seção resistente. Em contrapartida há os **elementos de seção parcial**, cuja moldagem inicial é apenas de parte da seção resistente final, posteriormente sendo completada na posição de utilização definitiva com concreto moldado no local, formando um elemento composto, como a pré-laje por exemplo (EL DEBS, 2000, p. 15).

3.2.1.2 Processo de execução

Os elementos pré-moldados podem ser diferenciados quanto ao local de produção, podendo ser em fábrica ou no próprio canteiro de obras. O **pré-moldado de fábrica** é aquele cuja execução é realizada em instalações permanentes distantes da obra. Esse tipo de pré-moldado pode ou não atingir o nível de pré-fabricado, segundo critério da NBR 9062³, caso este seja executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, **sob condições rigorosas de controle de qualidade**. A capacidade de produção da fábrica e a produtividade do processo podem ser pequenas ou grandes, com tendência maior ao último caso. Nesse caso, deve-se considerar a questão do transporte da fábrica até a obra. O **pré-moldado de canteiro** é executado em instalações provisórias nas proximidades da obra, geralmente com baixa capacidade de produção, e, conseqüentemente, pequena produtividade. Para esse tipo de elemento, a facilidade de transporte e a redução nos custos de produção são as principais vantagens para a adoção desse processo (EL DEBS, 2000, p. 15).

3.2.1.3 Categoria do peso dos elementos

Quanto ao peso dos elementos pré-moldados, pode-se dividi-los em pré-moldado **pesado** e **leve**. O **pré-moldado pesado** é todo aquele que necessita de equipamentos especiais para o transporte e principalmente montagem. Em contrapartida, o **pré-moldado leve**, não necessita

³ NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

de equipamentos especiais, podendo-se improvisar os equipamentos ou até mesmo realizar a montagem manualmente (EL DEBS, 2000, p. 15-16).

3.2.1.4 Desempenho arquitetônico

Em relação ao papel desempenhado pela aparência, os elementos pré-moldados podem ser divididos em normal e arquitetônico. O **pré-moldado normal** é simplesmente aquele cuja aparência não é importante para o projeto. Já o **pré-moldado arquitetônico** refere-se ao elemento que contribui na forma arquitetônica ou em acabamento da construção, podendo ou não ter fins estruturais (EL DEBS, 2000, p. 16).

3.2.2 Princípios e equipamentos de montagem

O planejamento prévio à montagem das peças no local definitivo é um fator importantíssimo que influi na eficiência e qualidade da obra. Para Yazigi (2008, p. 275), os seguintes aspectos devem ser considerados:

- a) **sequência de fabricação e envio das peças para o canteiro:** além da questão da programação de envio das peças, é importante que os elementos pré-fabricados sejam posicionados na carreta (de transporte da fábrica para o canteiro) buscando-se reduzir o número de movimentos necessários para o içamento e fixação em local definitivo, evitando-se quebras;
- b) **localização dos equipamentos de transporte vertical:** nesse caso, alguns fatores têm de ser analisados, como o comprimento da lança, o ponto mais distante de carregamento ou descarregamento e a capacidade do equipamento;
- c) **métodos e sequência de montagem:** a colocação das peças na estrutura só pode ser liberada após o cumprimento dos tempos mínimos recomendados para que certas deformações ocorram. Além disso, é necessário preservar a estabilidade da estrutura, ou seja, a fixação dos elementos na estrutura deve ser homogênea, sem causar deformações em um só ponto, ou em só um lado da edificação;
- d) **métodos de fixação:** além das fixações definitivas, muitas vezes é necessário discutir a necessidade de fixações temporárias, como os calços de apoio;
- e) **armazenamento:** a opção mais interessante é pela montagem *just in time*, cujo içamento é realizado diretamente da carreta para o seu local definitivo, sem armazená-las no canteiro. Entretanto, quando essa opção não for viável, alguns pontos necessitam ser analisados, como o local para armazenamento das peças,

a posição do armazenamento (de preferência na posição em que serão montadas), a necessidade de proteger as peças do acúmulo de poeira, intempéries e outros e a sequência de armazenamento dos painéis (de preferência ordená-los sempre na mesma sequência em que serão montados).

Quanto aos equipamentos utilizados na montagem de elementos pré-moldados, os mesmos podem ser divididos em (EL DEBS, 2000, p. 55):

a) de uso comum,

- autogruas (guindaste sobre plataforma móvel cuja principal característica é a grande mobilidade);
- grua de torre (guindaste de torre, normalmente utilizado em edifícios altos, podendo ser fixo ou móvel);

b) de uso restrito,

- grua de pórtico (guindaste de pórtico);
- *derrick* (guindaste *derrick*).

Os equipamentos de montagem apresentam papel fundamental na construção civil, principalmente quando se opta por utilizar elementos pré-moldados na estrutura (figura 6). El Debs (2000, p. 55) reforça essa afirmação, pois indica, “A montagem dos elementos pré-moldados se constitui em uma série de operações governadas, basicamente, pelo equipamento de montagem.”.



Figura 6: içamento de pré-laje
(TEIXEIRA; GONÇALVES, 2005, p. 10)

No caso das pré-lajes, elemento estrutural pré-moldado foco do trabalho, o reduzido peso das peças permite minimizar o equipamento de montagem e o custo de transporte da fábrica até o canteiro de obras, havendo esse último relação também com o menor número de viagens (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 434). Por serem peças esbeltas, as pré-lajes precisam ser manuseadas com balancim especial, que garante o içamento da laje por todas as alças (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 437).

Dentre os fatores que influenciam na escolha do equipamento e de sua capacidade estão os seguintes (EL DEBS, 2000, p. 56):

- a) pesos, dimensões e raios de levantamento das peças;
- b) número de levantamentos a serem feitos e a frequência das operações;
- c) mobilidade requerida, condições de campo e espaço disponível;
- d) necessidade de transportar os elementos levantados;
- e) necessidade de manter os elementos suspensos no ar por longos períodos;
- f) condições topográficas de acesso;
- g) disponibilidade e custo do equipamento.

4 PRÉ-LAJE

Neste capítulo serão apresentadas a definição, as características e os tipos de pré-laje pesquisados (treliçada, simples protendida e simples armada).

4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Nakamura (2009, p. 22) basicamente define pré-lajes como sendo “[...] painéis monolíticos de concreto criados pela combinação de características da pré-fabricação, como velocidade de execução e maior controle tecnológico, com a flexibilidade do sistema moldado *in loco*.”. A pré-laje é classificada como um elemento pré-moldado de seção parcial, primeira parte pré-moldada e a outra complementada com concreto adicionado no canteiro. Munte Construções Industrializadas (2007, p. 437) afirma que para garantir a aderência entre o concreto pré-fabricado e o moldado *in loco*, as pré-lajes devem ter sua superfície superior rugosa, aumentando a ponte de aderência e de contato. O sistema com pré-lajes é caracterizado pela pequena espessura (aproximadamente 4 cm), sendo a laje complementada por concretagem *in loco* de maior volume (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 434). Após a montagem das peças no local definitivo da estrutura, pode-se adicionar as armaduras negativas necessárias para garantir a continuidade das lajes (figura 7), do mesmo modo que no sistema moldado *in loco*.

Em relação às ligações entre as pré-lajes, Munte Construções Industrializadas (2007, p. 442) afirma que como as juntas longitudinais das pré-lajes são abertas na região inferior, não existe ligação entre as armaduras dos elementos pré-fabricados contíguos. Sendo assim, na região moldada *in loco*, conforme cálculo estrutural, é necessária a colocação de tela imediatamente acima da pré-laje, de maneira a costurar e uniformizar as deformações das diferentes peças de pré-lajes justapostas. No caso de predominância de carregamento por cargas permanentes e ocorrência de pequenas alternâncias de cargas localizadas, a armadura de costura citada acima pode ser eliminada.



Figura 7: detalhe das pré-lajes com armadura negativa
(LAJES ANHANGUERA INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2010)

Segundo o mesmo autor, a execução de lajes armadas também pode ser feita em duas direções, nesse caso, nas juntas longitudinais, a armadura positiva de uma pré-laje deve ser ancorada por transpasse na armadura da outra pré-laje, sendo consolidadas na região moldada *in loco*. As emendas não devem ser realizadas com barras de bitola superior a 6,3 mm.

Para Nakamura (2009, p. 22) as pré-lajes evoluíram muito do ponto de vista construtivo, passando a ser utilizada em outros tipos de construções:

As pré-lajes são tradicionalmente utilizadas em tabuleiros de pontes, coberturas de galerias, reservatórios e em estruturas de contenção. Mas nos últimos anos, o aproveitamento dessa solução vem se consolidando também nos edifícios com múltiplos pavimentos, acompanhando um movimento que visa racionalizar o processo adotado nessas construções.

De acordo com Munte Construções Industrializadas (2007, p. 433), no Brasil, o sistema foi originalmente desenvolvido pelo escritório Pedreira de Freitas Engenharia e adequado para as condições de execução em usinas de pré-fabricados. Introduziu-se a possibilidade de protensão nas peças e o melhor acabamento final, propiciado pelas fôrmas metálicas.

4.2 TIPOS DE PRÉ-LAJE

As pré-lajes podem ser de três tipos (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 437):

- a) treliçadas;
- b) simples protendidas;
- c) simples armadas.

4.2.1 Pré-laje treliçada

Munte Construções Industrializadas (2007, p. 437) indica que:

As pré-lajes treliçadas são ideais para vãos maiores, acima de 7,5 metros. Nessas condições, as deformações da peça são significativas e a treliça trabalha com sua barra superior sob compressão, criando maior rigidez e menores flechas. Também nesses casos, o cisalhamento passa a ser relevante, pois a treliça combate esse efeito.

Para Nakamura (2009, p. 24), o painel treliçado também pode ser parte integrante de um sistema de paredes portantes. As pré-lajes treliçadas recebem armadura interior e apresentam superfície rugosa para garantir aderência total da concretagem, podendo incorporar nichos para a passagem de tubulações e dutos de acordo com o projeto. Na fase transitória de montagem, funcionam como fôrma para o capeamento de consolidação da estrutura (figura 8), sendo utilizadas, principalmente, em edifícios residenciais com maior grau de repetição. Munte Construções Industrializadas (2007, p. 438) ainda afirma que, apesar da pré-laje treliçada receber armadura interior, para ancoragem das treliças, muitas vezes é necessário a adição de armadura complementar, realizada no local definitivo, após a montagem da pré-laje.

Caso seja necessário reduzir a deformação final da laje, a pré-laje treliçada pode receber protensão (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 437). A função básica da protensão na laje treliçada é limitar a abertura de fissuras, diminuindo a quantidade de linhas de escoramento na obra.



Figura 8: montagem de laje com pré-lajes treliçadas
(PP PAINÉIS E PRÉ-FABRICADOS, 2010)

Segundo Munte Construções Industrializadas (2007, p. 439), outra opção para a pré-laje treliçada é a utilização de blocos de EPS (isopor) entre as treliças (figura 9). Essa opção diminui o peso da estrutura, formando uma estrutura alveolar. Na pré-laje treliçada com EPS, Nakamura (2009, p. 24) informa que assim como as pré-lajes treliçadas tradicionais, essas pré-lajes permitem reduzir a quantidade de pilares e vigas. O uso do EPS como enchimento permite tornar a estrutura mais leve, devido a sua baixa densidade (cerca de 18 kg/m^3). Com isso, diminuem-se as cargas da fundação, pilares e vigas de apoio. A parte inferior dessa pré-laje por ser contínua, permite eliminar revestimentos convencionais, como chapisco, emboço e reboco, representando uma economia em material e mão de obra. A pré-laje treliçada com EPS pode suportar cargas de até $9,8 \text{ kN/m}^2$ e são utilizadas em edifícios residenciais, comerciais e industriais.



Figura 9: pré-laje treliçada com EPS
(LAJES ANHANGUERA INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2010)

4.2.2 Pré-laje simples protendida

De acordo com Munte Construções Industrializadas (2007, p. 439), as pré-lajes simples protendidas são ideais para vãos menores e sobrecargas baixas, sendo muito utilizadas nas edificações residenciais. Caracterizam-se pelo uso apenas da armadura de protensão, constituindo, no caso, a armadura positiva da laje. Nas pré-lajes simples protendidas, a rugosidade, juntamente com os critérios estabelecidos na NBR 9062⁴ (item 7.3.6), para peças compostas monolíticas, determinam a não necessidade de armadura de costura entre a pré-laje e a parcela de concreto moldado *in loco*. Quanto às alças de içamento, as mesmas não devem ser cortadas, pois acabam auxiliando essa ligação (figura 10).

O mesmo autor ainda ressalta que, na interface entre os elementos pré-fabricados e a estrutura moldada *in loco*, a maior preocupação ocorre na faixa de pré-laje junto aos cantos do pano de laje a ser completada. Nesses casos, os esforços de tração na interface devem ser absorvidos por ganchos adicionados à estrutura, formando uma armadura suficiente para resistir à integridade dos esforços de tração, de modo a evitar o possível descolamento do concreto moldado *in loco* dos elementos pré-fabricados. Outro cuidado relevante nessa mesma faixa de laje é a colocação de armadura em tela transversal, adicional à armadura de protensão, para

⁴ NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

resistir aos esforços de momento fletor na direção transversal à faixa protendida, gerados pelo apoio na viga lateral à faixa da laje.



Figura 10: detalhe da rugosidade e das alças de içamento da pré-laje protendida (CONSTRUTORA PREMOLD LTDA, 2010)

Segundo Nakamura (2009, p. 24), esse tipo de pré-laje é produzido em pistas de protensão, apresenta espessura de 4,5 cm, largura modulada e comprimento determinado pela necessidade do projeto. São fabricadas com armaduras positivas e possuem chanfro no apoio, o que garante resistência ao cisalhamento. Contam com a face inferior acabada, permitindo receber pintura sem acabamento final, já a face superior é rugosa para garantir a aderência entre o concreto pré-fabricado e o moldado no local. São utilizadas principalmente em edifícios industriais e comerciais, com vãos de até 7,0 m, diferentemente do que afirma o Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto, o qual indica que esse tipo de pré-laje é mais utilizado em edifícios residenciais, conforme citado anteriormente.

4.2.3 Pré-laje simples armada

A pré-laje simples armada mantém as mesmas características da pré-laje simples protendida. A armadura positiva pode ser executada com tela ou com armadura convencional, de acordo com as especificações do projeto. São utilizadas em vãos pequenos e apresenta altura final inferior a 12 cm. As furações necessárias devem estar indicadas nas lajes, assim como as

previsões dos caminhos dos conduítes elétricos, que devem ser marcados na peça. Arames devem ser deixados a cada 50 cm, para a devida amarração do conduíte elétrico na superfície da pré-laje (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 440).

4.3 VANTAGENS DO SISTEMA COM PRÉ-LAJES

O sistema estrutural em pré-laje visa, principalmente, minimizar a utilização de fôrmas de madeira na obra, com inúmeras outras vantagens, como a diminuição das perdas de concreto, racionalização da armadura, melhor compatibilização dos projetos, melhor sistema de vibração das peças, rapidez na montagem, redução do ciclo de cada pavimento, maior segurança no canteiro, diminuição do pessoal na obra, etc. Desde o final dos anos 70, o sistema vem sendo usado e desenvolvido, tendo sido realizados ensaios e experiências práticas que comprovam sua eficiência e eficácia nos canteiros de obra (MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS, 2007, p. 433).

As vantagens das pré-lajes não se limitam apenas às citadas acima, como todo elemento pré-moldado, a pré-laje apresenta também as mesmas vantagens intrínsecas a este conjunto. De acordo com Vargas (2008, p. 19-20), dentre as vantagens de construir utilizando pré-fabricados de concreto estão:

- a) produtos feitos na fábrica com controles, processos eficientes e racionais e automação;
- b) uso altamente potencializado e otimizado dos materiais, através da utilização de equipamentos modernos e de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados;
- c) menor tempo de construção (menos da metade do tempo necessário para a construção convencional moldada no local);
- d) maior qualidade visando atender as expectativas dos clientes. A garantia da qualidade se baseia em quatro pontos principais,
 - mão de obra;
 - instalações e equipamentos;
 - matéria-prima e processos operacionais;
 - controle de qualidade na execução;
- e) adaptabilidade (possibilidade de reformas periódicas, modificações na estrutura e melhorias durante a vida da construção);

- f) construções menos agressivas ao meio ambiente (menor gasto de energia, materiais, menor poluição e barulho).

Podem ser citadas também vantagens na área social como:

- a) diminuição de acidentes de trabalho;
- b) elevação da remuneração dos trabalhadores;
- c) proporciona estabilidade aos empregados e livra os homens dos trabalhos rudes e penosos.

Mesmo com as diversas vantagens do sistema com pré-lajes, é necessário considerar que o aproveitamento delas depende muito da versatilidade da equipe que a utiliza. Reis (2010, p. 12) indica, por exemplo, o caso de uma obra no Paraná. A construtora optou pela utilização de pré-lajes produzidas no próprio canteiro de obras, sendo os painéis produzidos sobre um piso de concreto polido com desmoldante, utilizando perfis metálicos para delimitar a geometria da laje. A armadura era executada e o concreto lançado comumente, e as lajes produzidas eram exatamente do tamanho de cada cômodo, eliminando as emendas de concreto que normalmente se formam na junção entre fôrmas de uma laje convencional. O acabamento gerado permitiu dispensar o revestimento da face inferior da laje, restando apenas aplicar massa corrida e pintura. Outros pontos a favor foram o encurtamento dos prazos e a transferência de parte do serviço que seria realizado em alturas elevadas para o nível do chão, facilitando o trabalho dos operários e aumentando a segurança consequentemente.

4.4 DESVANTAGENS E ASPECTOS CRÍTICOS DO SISTEMA COM PRÉ-LAJES

Basicamente, as desvantagens da utilização de elementos pré-moldados são aquelas decorrentes da colocação dos elementos nos locais definitivos de utilização e da necessidade de prover a ligação entre os vários elementos que compõem a estrutura (EL DEBS, 2000, p. 27). As desvantagens estariam relacionadas aos custos e às limitações de transporte e da montagem dos elementos. As limitações no caso de transporte seriam os gabaritos de transporte e no caso da montagem seriam a disponibilidade e as condições de acesso de equipamentos para sua realização.

De acordo com Cichinelli (2009, p. 60-61), para justificar a adoção do sistema pré-moldado de concreto é necessário avaliar uma série de variáveis. As condições de topografia do terreno e o acesso ao local devem ser favoráveis, a entrada dos equipamentos deve ser possível e é fundamental que haja facilidade para a montagem das peças no canteiro. Uma condição que pode inviabilizar a utilização é a inexistência de um fornecedor próximo ao canteiro, já que os custos com o transporte e logística são bastante consideráveis. Ainda relacionado ao custo, outro aspecto apontado pelos construtores como ponto crítico para a difusão da solução é a grande flutuação de preços das peças (os momentos altos e baixos do mercado resultam em desconfiança por parte dos potenciais clientes).

Além das variáveis já citadas, o autor destaca outra questão fundamental, a fase de projeto. Diferentemente do que acontece na moldagem em canteiro, nos pré-fabricados o concreto não é ponto crítico, principalmente pelo fato de que os processos de execução dentro das fábricas são mais rigorosos. Em virtude dessa característica própria da pré-fabricação, é imprescindível que haja uma atenção especial na fase de projeto. Além de implicações sérias no desempenho estrutural da edificação, qualquer erro nessa etapa pode se reverter em prejuízos financeiros significativos, pois as peças são produzidas em alta velocidade e com grande repetitividade. Sendo assim os problemas podem aparecer tarde demais, quando as peças já estiverem no canteiro.

A integração entre projeto, produção, transporte e montagem no canteiro é fundamental em todo o processo para garantir o máximo desempenho das estruturas, minimizando, inclusive, patologias, que estão usualmente ligadas a falhas de projeto e de execução. Embora as estruturas pré-fabricadas apresentem melhor controle tecnológico do concreto bem como da produção, a qualidade dos produtos depende muito do fabricante (CARVALHO, 2009).

Nakamura (2009, p. 25) ressalta que:

Pelo fato do processo de produção das pré-lajes ser bastante simples, principalmente quando não requer protensão, um problema corrente é a prática de fabricantes de artefatos ou construtores, que produzem lajes com pouco investimento e nem sempre atentam para detalhes importantes como a necessidade de um projeto estrutural, controle da qualidade e acompanhamento de um responsável técnico qualificado. Daí a existência, no mercado, de produtos com valores e qualidades discrepantes.

Por isso, é imprescindível que os construtores estejam atentos à qualificação dos seus fornecedores de estruturas pré-fabricadas com base em critérios que permitam uma análise

custo-benefício consistente e segura. A empresa que adquire esse sistema deve se certificar sobre o cumprimento de quesitos básicos referentes ao controle tecnológico do concreto por parte de seu fornecedor, em especial, controle da relação água-cimento, resistência à compressão, controle de matérias-primas, desvio padrão do concreto e tolerâncias dimensionais. Outra maneira de assegurar a qualificação do fornecedor é verificar se a empresa possui algum tipo de certificação (NAKAMURA, 2009, p. 25).

5 COMPARAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL COM O SISTEMA UTILIZANDO PRÉ-LAJES NA EDIFICAÇÃO ADOTADA COMO REFERÊNCIA

Nesse capítulo é caracterizada a obra adotada como referência no comparativo e são comparados o sistema convencional (constituído por pilares, vigas e lajes de concreto armado moldados no local) e o sistema utilizando as pré-lajes através das seguintes variáveis: etapas construtivas, ciclo do pavimento tipo e estimativa de custos. É importante ressaltar que a obra utilizada no comparativo foi projetada originalmente no sistema estrutural convencional, sendo assim, os dados referentes ao sistema estrutural utilizando pré-lajes são todos teóricos.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA ADOTADA COMO REFERÊNCIA NO COMPARATIVO

O empreendimento adotado na comparação consiste em um condomínio residencial localizado na cidade de Porto Alegre, sendo a estrutura projetada pelo sistema convencional. O condomínio é constituído de cinco torres de dezoito pavimentos (incluindo o térreo), mais o subsolo e a cobertura. Estruturalmente, as lajes do 3º ao 18º pavimento são idênticas, sendo este intervalo de pavimentos considerado nesta pesquisa.

Para o trabalho em questão, serão utilizados os dados referentes apenas à torre dois (figura 11), mais precisamente os pavimentos tipo, cujo prazo e custos foram menores se comparados com as demais torres, devido principalmente à mão de obra mais qualificada que havia na mesma. O pavimento tipo (figura 12) é formado por três setores idênticos (a planta baixa apresenta apenas um setor com a circulação) com geometria em forma de T, interligados pela circulação da torre, onde se situa a escada e os elevadores do edifício. A área total em planta de um setor é 288,51 m² e a circulação é 104,13 m², sendo assim o pavimento tipo possui 969,66 m², totalizando uma área de 15.514,56 m² para os pavimentos estudados (3º ao 18º).

Como pode ser observado na figura 12, o pavimento tipo é simétrico em relação ao seu eixo vertical, sendo essa simetria repetida três vezes por pavimento (como são 16 pavimentos tipo na torre, evidencia-se o elevado grau de repetição da estrutura). O tempo de execução dos pavimentos tipo foi de 23 semanas, sendo o ciclo do mesmo analisado no capítulo 5.4.

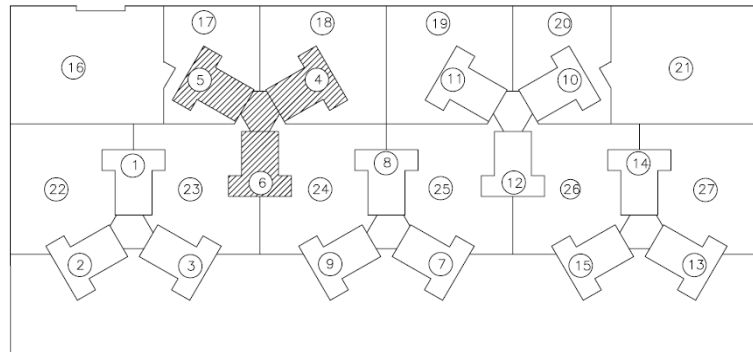


Figura 11: localização da torre analisada em relação ao empreendimento

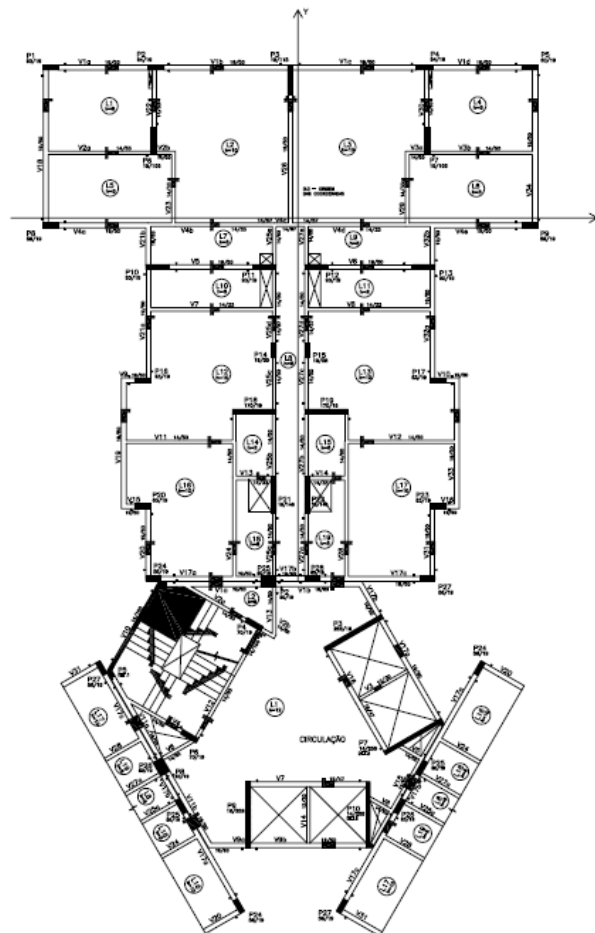


Figura 12: planta baixa do pavimento tipo da obra adotada como referência no comparativo

Como diferencial nesta obra, cada setor e circulação são executados separadamente (figura 13), com equipes de trabalho e concretagens diferentes entre si, havendo atenção especial nas juntas de dilatação entre os setores e a circulação. Outra questão interessante é o equipamento utilizado para içamento das fôrmas, armaduras e outros materiais. Optou-se pela aquisição de um dispositivo elevatório com capacidade de carga de 300 kg (figura 14), sendo este equipamento responsável pelo transporte de material para os três setores e a circulação. A lança, por ser curta, abastece um único setor com todo o material necessário para o pavimento, sendo este distribuído para os respectivos setores manualmente.



Figura 13: vista superior da execução da edificação da obra estudada



Figura 14: equipamento utilizado para transporte vertical de materiais

Nos próximos itens será realizada a comparação propriamente dita, apresentando os dados reais da execução da estrutura convencional e os dados teóricos relativos ao emprego de pré-lajes na execução do edifício (figura 15).



Figura 15: perspectiva da edificação da obra estudada

5.2 MÉTODO DE COMPARAÇÃO

Para as etapas construtivas, o sistema estrutural convencional foi caracterizado através da pesquisa bibliográfica e da coleta de dados na incorporadora responsável pela execução da obra adotada como referência no comparativo. O sistema estrutural utilizando pré-lajes foi caracterizado através de pesquisa bibliográfica e, principalmente, através de pesquisa em fábrica de pré-moldados.

Em relação aos ciclos de execução do pavimento tipo, para o sistema estrutural convencional, foi utilizado como base o ciclo de execução da supraestrutura que a incorporadora optou para a obra adotada como referência no comparativo. Este ciclo é constituído de sete dias de trabalho, sendo que a cada dia foi observado quantos operários estavam trabalhando em cada atividade, para assim, ao final de cada ciclo, ter conhecimento de quantas horas de trabalho foram necessárias para a execução de um pavimento (esta informação serviu como base para estipular um ciclo exequível para a execução da supraestrutura com pré-lajes). Quanto ao sistema com pré-lajes, o ciclo foi determinado através da relação de horas de trabalho

despendidas na execução da supraestrutura do edifício no sistema convencional com a produtividade informada pelo engenheiro responsável pela empresa de pré-moldados. Sendo assim, se para determinadas atividades do sistema convencional foram necessárias certo número de horas de trabalho, simplificando as atividades com base principalmente nas vantagens que a pré-laje oferece, citando também algumas atividades que puderam ser eliminadas ou reduzidas com a nova solução construtiva, foi possível determinar um ciclo viável de trabalho, permitindo comparar ambos os sistemas em relação ao tempo de execução.

Quanto à estimativa de custos da execução da estrutura convencional, a mesma foi baseada nos quantitativos obtidos através dos projetos estruturais da obra e nos preços de cada atividade, através dos dados coletados da incorporadora responsável pelo empreendimento. Na execução da estrutura com pré-lajes, os custos e quantitativos foram estimados através de composições de custo, consulta a uma empresa de pré-moldados e através das necessárias alterações que foram realizadas nos quantitativos do sistema convencional, acrescentando ou suprimindo serviços, de acordo com a necessidade do sistema em comparação. Nesse quesito, optou-se por considerar a execução da supraestrutura com pré-lajes de duas maneiras, a primeira produzindo a pré-laje no próprio canteiro de obras, e a segunda terceirizando a produção da mesma.

5.3 ETAPAS CONSTRUTIVAS

Com o objetivo de padronizar e fornecer diretrizes para a execução de estruturas de concreto armado de edifícios, a incorporadora responsável pela obra estudada, assim como muitas outras empresas, elaborou um plano da qualidade, no caso com procedimentos englobando o sistema de fôrmas, sistemas de armação, concretagem e cura dos elementos estruturais. Através da padronização e do estabelecimento de diretrizes, busca-se garantir qualidade e menor custo na execução da supraestrutura, além de conformidade com o projeto estrutural e arquitetônico. Abaixo segue o ordenamento e definição das etapas construtivas da execução da estrutura convencional de concreto armado e estrutura utilizando pré-laje.

5.3.1 Estrutura convencional de concreto armado

No caso da estrutura convencional de concreto armado houve primeiramente a necessidade de confeccionar os painéis das fôrmas. O corte e a estrutura dos painéis foram executados conforme o projeto de fôrmas, cuidando para que as superfícies de corte ficassem planas e lisas. Outra medida interessante foi identificar os painéis conforme projeto, visando facilitar a montagem dos elementos estruturais posteriormente. Para finalizar essa etapa, os topos das chapas foram selados com tinta esmalte e cola PVA assim que as peças foram serradas na bancada.

A próxima etapa consistiu na marcação dos pilares, sendo a tarefa inicial o transporte dos eixos. De posse dos eixos e do projeto estrutural, locou-se os tacos (gastalhos) dos pilares pregando-os com pregos de aço na laje concretada. Esse procedimento foi executado no início do dia seguinte à concretagem da laje.

Em seguida, para a montagem dos pilares, foi aplicado desmoldante no painel de fundo dos pilares e suas laterais, seguido da colocação dos apuradores de pilar fixados na laje. Quanto à armadura do pilar, a mesma foi colocada com espaçadores e galgas, sendo a armadura do pilar amarrada nas esperas com arame recozido n. 16. Para concluir a montagem dos pilares, aplicou-se desmoldante na face frontal do pilar, fechando-o e colocando mangueiras, parafusos e barrotes, apertando todo o conjunto, finalizando com a marcação de um ponto de nível em todos os pilares (figura 16).



Figura 16: etapa de fechamento e travamento das fôrmas dos pilares

Para a montagem das vigas, iniciou-se posicionando as escoras metálicas segundo o projeto de fôrmas. A colocação dos fundos das vigas foi realizada pregando-os na cabeça das escoras e as laterais internas das vigas, já tendo sido aplicado desmoldante, também foram pregadas nas cabeças das escoras (figura 17), fixando o fundo com presilhas. Através de linhas, nivelaram-se os fundos das vigas tomando por referencial o ponto de nível dos pilares, conforme mencionado no final do parágrafo anterior.



Figura 17: colocação dos fundos e laterais internas das vigas apoiados sobre as escoras e fôrmas dos pilares

Quanto à laje, as mesmas foram montadas posicionando as escoras de acordo com o projeto de fôrmas, colocando barrotes e contra-barrotes (figura 18). A próxima atividade então foi assoalhar as lajes colocando os painéis de compensado plastificado com espessura de 18 mm (figura 19), observando as faixas de reescoramento, pregando os mesmos nos barrotes e nos painéis internos das vigas. Para as passagens na laje e vigas, foram marcados os gabaritos de furações de acordo com o projeto estrutural e de furações, atividade desempenhada pelas equipes de eletricitas e hidráulicos. Para encerrar, foi aplicado desmoldante e nivelada a laje com o auxílio de linhas.



Figura 18: escoramento e barroteamento das vigas e laje



Figura 19: etapa de execução da laje com fôrmas de compensado

O próximo passo então foi a concretagem dos pilares, sendo seguida pela colocação dos painéis externos das vigas de borda, armadura das vigas (figura 20) e lajes e as tubulações e caixas (figura 21) segundo projeto específico, também realizado pelas equipes de eletricitistas e hidráulicos.



Figura 20: colocação da armadura das vigas



Figura 21: detalhe do posicionamento da armadura da laje, tubulações e caixas

Para a concretagem das lajes e vigas, o nível de toda a fôrma foi verificado com nível laser, assim como a altura das armaduras negativas. No lançamento do concreto (figura 22), foi executada a correta vibração das vigas e lajes e executaram-se mestras de concreto através de pontos de nível marcados no momento da concretagem (os pontos de nível foram marcados através da referência de nível definida no início da concretagem). O nivelamento do concreto foi realizado com régua de alumínio utilizando as mestras como referência, finalizando com a aplicação do acabamento na laje. Para curar a laje, a mesma foi mantida sob aspersão de água por um período de um dia, em intervalos de tempo suficientemente curtos para que a superfície permanecesse sempre úmida.

Como última etapa, foi realizada a desforma da estrutura e o reescoramento das lajes e vigas, começando pela desforma dos pilares. Para manter o ciclo de sete dias de trabalho, os pilares eram desformados no dia seguinte à concretagem da laje (a limpeza dos painéis foi executada imediatamente após). Para as vigas, a desforma ocorria logo após o fechamento e travamento das fôrmas dos pilares. Iniciou-se com a colocação do reescoramento, retirada das escoras e, por fim, retirada dos painéis laterais e limpeza dos mesmos. A desforma da laje começava enquanto os painéis dos fundos e laterais internos das vigas eram apoiadas nas escoras do pavimento seguinte. Para isso, iniciou-se colocando o reescoramento de laje na sua respectiva faixa conforme projeto, as escoras da laje eram afrouxadas, assim como os barrotes e contra-barrotes. Em seguida, os compensados eram soltos para que se apoiassem nos contra-barrotes e pudessem ser retirados com certo cuidado e as estruturas das fôrmas eram desmontadas sendo a limpeza dos elementos providenciada. As faixas de reescoramento não eram retiradas até que o concreto atingisse a resistência característica definida em projeto, sendo a mesma conferida através de boletins de controle tecnológico.



Figura 22: concretagem das vigas e laje de um setor do pavimento tipo da obra estudada

5.3.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje

Para estruturas de concreto armado utilizando pré-lajes (figura 23), as etapas construtivas se diferem apenas a partir da colocação dos painéis dos fundos e laterais internos das vigas, mais

precisamente durante as etapas executivas referentes à laje. Sendo assim após a colocação das fôrmas das vigas (painéis dos fundos e laterais internos), e o nivelamento das mesmas, é iniciada a montagem das pré-lajes, respeitando a planta de montagem do fornecedor e reforços indicados (caso haja algum), cuidando para não trocar peças de lugar. Esta etapa substitui a colocação das fôrmas de compensado das lajes.



Figura 23: estrutura de concreto armado utilizando pré-lajes (LIMA, 2010)

A pré-laje, conforme mencionado na revisão bibliográfica, pode tanto ser produzida por empresa terceirizada quanto no próprio canteiro de obras. Para a última opção é necessário um canteiro de obras adequado com um bom espaço físico para a produção e armazenamento das peças e mão de obra qualificada para essa execução. Visto a elevada quantidade de elementos necessários para um pavimento, Lima (2010) afirma que optar pelo concreto com cimento CP-V ARI é uma solução interessante, tornando a desforma e o manuseio mais rápidos (sete dias é o tempo ideal para transporte e montagem das peças), fator fundamental caso a produção seja no próprio canteiro de obras. No caso de utilizar cimento CP-IV, não é necessário para a montagem das pré-lajes que a mesma esteja com 28 dias de cura, basta ter resistência para que se possa manusear e montar sem danificar a peça.

Com a produção no próprio canteiro de obras, a transferência de parte do serviço, que seria realizado em alturas elevadas, para o nível do chão facilita o trabalho dos operários e aumenta a segurança como consequência. Em contrapartida, o controle tecnológico das peças fica de responsabilidade da construtora que a produz.

Como há diversos tipos de pré-lajes, para este trabalho e em função das características da obra estudada foi definida a utilização de pequenos painéis treliçados (pré-lajes com largura de 35 cm, comprimento variado e espessura de 3 cm conforme figura 24), segundo recomendação de Lima (2010), engenheiro responsável pela empresa de pré-moldados consultada. De acordo com ele, tornando as peças menores e mais leves, facilita-se o manuseio e dispensa a necessidade de utilização de equipamento pesado para içamento (grua ou guindaste), sendo possível transportar as peças através do elevador da obra (cada torre da obra estudada conta com um elevador com capacidade de carga de 800 kg) ou no caso, através do dispositivo elevatório (capacidade de carga de 300 kg).

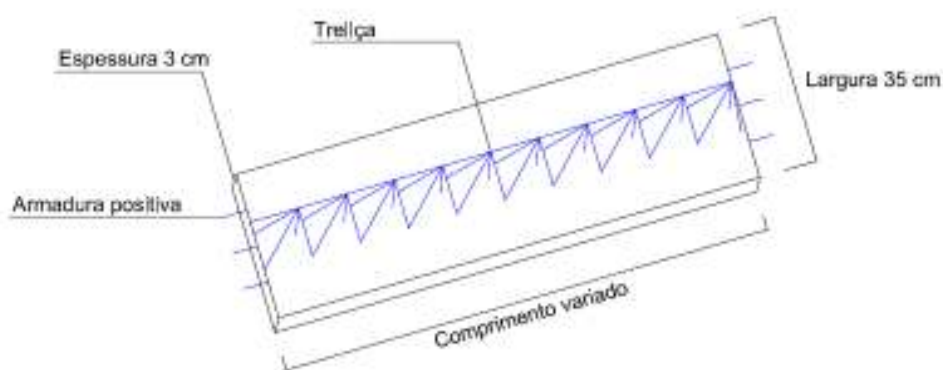


Figura 24: painel treliçado recomendado para a obra estudada

Uma das características básicas da pré-laje é a geometria variada, contudo sempre que possível a mesma é produzida para o menor vão, sendo as mesmas posicionadas de maneira que as extremidades estejam apoiadas nos painéis das laterais internas das vigas conforme as figuras 25 e 26, observando que as esperas da armadura positiva das pré-lajes devem entrar na estrutura das vigas, da mesma maneira que no sistema convencional.

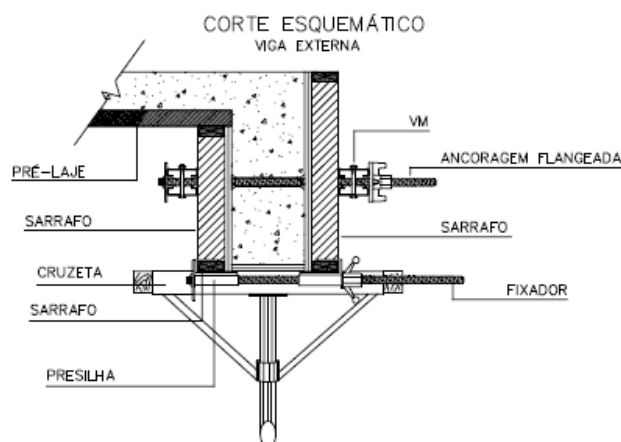


Figura 25: corte esquemático do apoio da pré-laje no painel interno das vigas externas⁵

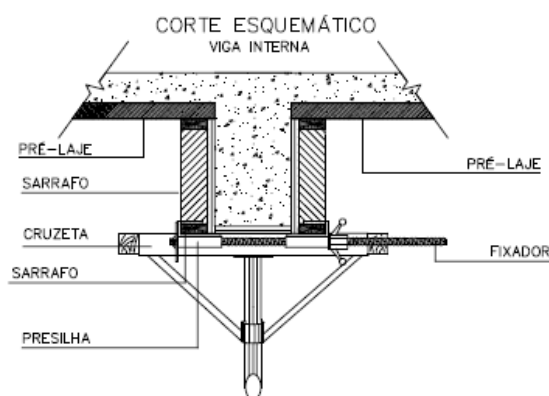


Figura 26: corte esquemático do apoio da pré-laje no painel interno das vigas internas⁵

Quanto ao processo de escoramento e barroteamento (figura 27), o mesmo é utilizado apenas quando houver necessidade de minimizar possíveis deformações do conjunto, fator este influenciado pelo vão livre entre os apoios. No caso deste comparativo, como são utilizados pequenos painéis treliçados (figura 28), é necessário, segundo Lima (2010), faixas de escoramento em espaçamentos de até 1,20 m, conforme cada caso. Contudo, como a pré-laje apresenta parte da resistência final da laje, a quantidade de escoras necessárias é consideravelmente menor, permitindo reduzir este serviço em torno de 30% com esse tipo de pré-lajes, em relação ao sistema convencional. Devido à diferença do peso próprio da pré-laje e da fôrma de compensado utilizada nas lajes convencionais, é importante demandar atenção

⁵ Corte esquemático adaptado dos projetos de escoramento da empresa Pashal Sistemas Construtivos Ltda.

especial nos painéis das laterais internas das vigas, visto que estes servirão como apoio para a pré-laje, definindo o nível das mesmas. É fundamental que o nivelamento das fôrmas seja realizado antes da montagem das pré-lajes, buscando-se reduzir o número de movimentos necessários para a colocação e fixação das mesmas no local definitivo.



Figura 27: detalhe do escoramento e barrotoamento de uma laje executada com pré-lajes (LIMA, 2010)



Figura 28: laje executada com pequenos painéis treliçados (LIMA, 2010)

Após a montagem das pré-lajes, são executadas as mesmas etapas do sistema convencional, concretagem dos pilares, colocação dos painéis das laterais externas das vigas, colocação das

armaduras das vigas, das tubulações e caixas segundo projeto específico e da armadura negativa das lajes (as mesmas podendo ser executadas com tela soldada ou barras de aço), visto que a armadura positiva já está incorporada à pré-laje. Por fim, é realizado o lançamento do concreto para a camada de capeamento da laje, observando que o volume necessário é menor visto que a pré-laje apresenta parte da espessura final da laje.

Diferentemente do que ocorre no sistema convencional, a desforma das lajes constitui uma etapa a menos no conjunto das atividades, visto que a pré-laje funciona como fôrma para a concretagem da laje, dispensando o uso de fôrmas de compensado. Em relação ao processo de cura da camada de capeamento, a mesma acontece da mesma maneira que no sistema convencional, e quanto ao reescoramento, o processo é bastante semelhante ao convencional, salvo a diminuição considerável que ocorre na quantidade de escoras, barrotes e contra-barrotes, visto que a pré-laje apresenta parte da resistência final da laje.

5.4 CICLO DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO TIPO

A execução da supraestrutura do edifício é uma etapa fundamental no gerenciamento da obra, sendo um dos principais caminhos críticos no cronograma. Qualquer atraso nesta etapa pode prejudicar o andamento de outras atividades, por isso é fundamental um planejamento adequado visto que o prazo é um dos fatores preponderantes para o gerente da obra.

Como o objetivo de simplificar o comparativo, será considerado o ciclo de trabalho apenas de um setor do pavimento tipo, a circulação não será abordada nesse quesito, visto as diferenças que há na sua estrutura (fôrmas e armadura), contudo cabe ressaltar que a circulação possui o mesmo tempo de execução de um setor.

Em seguida serão apresentadas a sequência de atividades ordenadas de forma lógica, dividindo as mesmas entre sistema estrutural convencional e sistema estrutural utilizando pré-lajes.

5.4.1 Estrutura convencional de concreto armado

Para a execução da supraestrutura da obra adotada como referência foi definido pela incorporadora responsável um ciclo de sete dias de trabalho conforme representado no quadro 1. As equipes de trabalho foram dimensionadas com oito carpinteiros e cinco ferreiros em cada setor, totalizando ao final de sete dias de trabalho as horas de trabalho e taxas de produtividade representadas no quadro 2.

CICLO DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA CONVENCIONAL	
DIA	ATIVIDADES
1	Marcação dos pilares
	Desfôrma dos pilares do pavimento inferior
	Colocação da armadura dos pilares
	Colocação das fôrmas dos pilares e travamento das mesmas
2	Retirada do cimbramento e colocação do reescoramento do pavimento inferior
	Desfôrma das vigas e laje do pavimento inferior
	Retirada do reescoramento do pavimento concretado a mais de 28 dias
	Início do escoramento e barroteamento
	Colocação dos painéis dos fundos e laterais internas das vigas
3	Fim do escoramento e barroteamento
	Colocação das fôrmas da laje
4	Concretagem dos pilares
5	Colocação dos painéis das laterais externas das vigas
	Início da colocação da armadura das vigas
6	Fim da colocação da armadura das vigas e travamento das fôrmas das mesmas
	Colocação da armadura da laje (positiva e negativa)
	Colocação das instalações elétricas embutidas e passagens hidráulicas
	Nivelamento das fôrmas das vigas e laje
7	Concretagem da laje

Quadro 1: ciclo do pavimento tipo com o sistema estrutural convencional

HORAS DE TRABALHO POR SETOR - SISTEMA CONVENCIONAL		
Função / Produção	Carpinteiro	Ferreiro
Dias de trabalho	7	7
Horas por dia	8,8	8,8
N° de profissionais	8	5
Total horas de trabalho	492,8	308
Média m ² de fôrma executada	561,4	
Média kg de aço armados		5187
Taxa horas de trabalho/m ² de fôrma	0,878	
Taxa horas de trabalho/kg de aço		0,059

Quadro 2: horas de trabalho e taxas de produtividade de operários no sistema convencional

Os valores de metros quadrados de fôrma executadas e quilogramas de aço armados foram quantificados pelo projeto estrutural existente da obra adotada no comparativo, considerando apenas um setor do pavimento tipo, contudo como há uma pequena variação ao longo dos pavimentos, referente à redução de alguns pilares, foi utilizado uma média dos valores com o objetivo de simplificar o comparativo. As taxas de horas de trabalho por metros quadrados de fôrma e quilogramas de aço são índices de produtividade obtidos através da divisão do total de horas trabalhadas no ciclo (dividido por função) pela quantidade do serviço executado. Quanto menor esse valor, maior é a produtividade das equipes, visto que representa a quantidade de horas necessárias para produzir uma determinada atividade. Assim como mencionado no capítulo 5.2, esses dados serão utilizados como base para determinar um ciclo de trabalho exequível para o sistema com pré-laje, citando também atividades que são eliminadas com a utilização dessa técnica construtiva, diminuindo as horas de trabalho gastas pelas equipes.

5.4.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje

Com a execução da supraestrutura utilizando pré-lajes (figura 29), há a possibilidade de redução no ciclo de cada pavimento. Esse sistema permite encurtar prazos através da eliminação ou redução das seguintes atividades:

- a) retirada do cimbramento e colocação do reescoramento do pavimento inferior (redução);

- b) retirada do reescoramento do pavimento concretado a mais de 28 dias (redução);
- c) colocação do escoramento e barroteamento (redução);
- d) desforma da laje do pavimento inferior (eliminação);
- e) colocação das fôrmas da laje e nivelamento das mesmas (eliminação);
- f) colocação das passagens hidráulicas da laje (eliminação);
- g) colocação da armadura positiva da laje (eliminação).

Em seguida é apresentado o ordenamento das atividades utilizando pré-lajes (quadro 3). Neste caso, também foi prevista a utilização de um equipamento de transporte vertical, mais precisamente o dispositivo elevatório citado anteriormente, contudo a utilização desse equipamento já estava prevista para o içamento de fôrmas e armaduras, não representando nenhum acréscimo no orçamento do empreendimento. Para efeito de comparação, no quadro 3 estão destacadas (em cinza) as atividades que são comuns ao sistema convencional, mas que sofrem alterações nos serviços devido à utilização das pré-lajes (conforme alíneas acima), evidenciando o tempo poupado com a redução ou eliminação das atividades.



Figura 29: estrutura de edifício executado com pré-lajes
(LIMA, 2010)

CICLO DO PAVIMENTO TIPO - SISTEMA COM PRÉ-LAJE	
DIA	ATIVIDADES
1	Marcação dos pilares
	Desfôrma dos pilares do pavimento inferior
	Colocação da armadura dos pilares
	Colocação das fôrmas dos pilares e travamento das mesmas
2	Retirada do cimbramento e colocação do reescoramento do pavimento inferior
	Desfôrma das vigas do pavimento inferior
	Retirada do reescoramento do pavimento concretado a mais de 28 dias
	Colocação do escoramento e barroteamento
	Colocação dos painéis dos fundos e laterais internas das vigas
	Nivelamento das fôrmas das vigas
	Início da montagem das pré-lajes
3	Fim da montagem das pré-lajes
	Concretagem dos pilares
4	Colocação dos painéis das laterais externas das vigas
	Início da colocação da armadura das vigas
5	Fim da colocação da armadura das vigas e travamento das fôrmas das mesmas
	Colocação das instalações elétricas embutidas
	Colocação da armadura da laje (negativa)
6	Concretagem da laje

Quadro 3: ciclo do pavimento tipo com o sistema estrutural utilizando pré-laje

De acordo com os dados coletados na obra estudada, as atividades relacionadas com o escoramento, reescoramento e barroteamento levam em média 1,5 dias de trabalho para serem executadas com quatro carpinteiros, representando 53 horas de trabalho. Com a utilização dos painéis treliçados recomendados pelo engenheiro da empresa de pré-moldados consultada, esse serviços reduzem em torno de 30%, representando uma economia de 16 horas de trabalho em relação ao ciclo do sistema convencional. Os serviços de desforma e nivelamento ocorrem apenas para as vigas, visto que as pré-lajes dispensam o uso de fôrmas e o nivelamento das mesmas é adquirido através dos painéis das laterais internas das vigas. Através de dados coletados na obra, os serviços de desforma da laje e nivelamento da mesma levam em média um dia de trabalho para serem executadas com dois carpinteiros, sendo assim, a eliminação dessas atividades representam uma economia de 18 horas de trabalho em relação ao ciclo do sistema convencional. Quanto às passagens hidráulicas da laje, as mesmas já vem prontas na pré-laje, sendo necessário apenas uma fôrma adicional para a camada de capeamento. Por fim, a colocação da armadura positiva também é eliminada, visto que já está incorporada à pré-

laje, sendo necessário apenas a colocação da armadura negativa. Esse serviço, no sistema convencional, é executado em 0,5 dias de trabalho com três ferreiros, representando uma economia de 13 horas de trabalho em relação ao sistema convencional. Concluindo, com a utilização das pré-lajes é possível reduzir um total de 34 horas de trabalho da equipe de carpinteiros e 13 horas de trabalho da equipe de ferreiros, permitindo também acelerar a execução das outras atividades, visto que os operários responsáveis pelas atividades que são reduzidas ou eliminadas com a utilização das pré-lajes podem trabalhar em outro serviço.

Ainda quanto às atividades do ciclo de trabalho, há também algumas que apresentam relação indireta como o revestimento de teto, cujos serviços podem ser dispensados visto o bom nível de acabamento que as pré-lajes apresentam. É importante ressaltar a necessidade de arremates com argamassa nas juntas longitudinais das pré-lajes justapostas nas áreas que não receberão forro, sendo necessário após estes arremates apenas a aplicação de massa corrida e pintura para garantir o acabamento final do teto.

Segundo Lima (2010), o índice de produtividade da execução de uma laje com pré-lajes depende muito da equipe de trabalho, sendo em média montados 250 m² de pré-laje por dia de trabalho, com uma equipe variando entre seis e oito homens. Ele enfatiza que esse tempo de execução refere-se somente à montagem dos pré-moldados, necessitando ainda meio dia para a colocação das instalações elétricas embutidas e armaduras complementares (não considerando o uso de guindaste ou grua).

Para dimensionar o ciclo de trabalho utilizando as pré-lajes, utilizou-se o índice de produtividade citado no parágrafo anterior, visto que os dados referentes às pré-lajes são teóricos. No caso, a laje seria executada pelas mesmas equipes de carpinteiros e ferreiros do sistema convencional, visto que não é necessária mão de obra especializada e seriam realizadas praticamente as mesmas atividades, com exceção da execução da laje.

No quadro 4 é apresentado as equipes de trabalho e suas características, de acordo com o sistema estrutural utilizando pré-lajes, sendo estas dimensionadas com os mesmos oito carpinteiros e cinco ferreiros, no entanto dessa vez totalizando seis dias de trabalho.

HORAS DE TRABALHO POR SETOR - SISTEMA COM PRÉ-LAJE		
Função / Produção	Carpinteiro	Ferreiro
Dias de trabalho	6	6
Horas por dia	8,8	8,8
Nº de profissionais	8	5
Total horas de trabalho	422,4	264
Média m ² de fôrma executada	310,2	
Montagem pré-lajes em m ²	251,2	
Média kg de aço armados		5002
Taxa horas de trabalho/m ² de fôrma e pré-laje	0,752	
Taxa horas de trabalho/kg de aço		0,053

Quadro 4: horas de trabalho e taxas de produtividade de operários no sistema utilizando pré-laje

Os valores de metros quadrados de fôrma executadas e quilogramas de aço armados foram quantificados com base no projeto estrutural existente da obra adotada no comparativo, considerando um setor do pavimento tipo, contudo, nesse caso, foram suprimidas as metragens quadradas de fôrmas das lajes (251,2 m²) e os quilogramas de aço da armadura positiva (185 kg), e colocado o item referente à montagem das pré-lajes em m² (metragem quadrada equivalente às fôrmas das lajes), permanecendo os demais valores inalterados. As taxas de horas de trabalho por metros quadrados de fôrma e quilogramas de aço são os índices de produtividade obtidos através da divisão do total de horas trabalhadas no ciclo (dividido por função) pela quantidade do serviço executado. Através do quadro 4 nota-se que seria necessário que os carpinteiros apresentassem uma produtividade um pouco maior para executar o pavimento tipo em seis dias, no entanto na realidade a proporção não é a mesma, visto o tempo ganho com as atividades que são eliminadas ou reduzidas com a utilização das pré-lajes (conforme mencionado anteriormente), sendo possível a diminuição do ciclo de trabalho em um dia. Quanto aos ferreiros, a consideração é mais simples visto que a única atividade suprimida é a armação da laje positiva. Nesse caso é interessante salientar que apesar do peso de aço referente à armadura positiva ser pouco relevante em relação ao peso total de aço na estrutura, o tempo de trabalho gasto com essa atividade não é proporcional, demandando um período considerável durante o ciclo de trabalho.

5.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Este capítulo apresenta a comparação dos custos de produção das lajes pelos sistemas estrutural convencional e com pré-lajes. Para o primeiro os custos dos insumos foram baseados nos dados coletados da incorporadora responsável pela execução da obra adotada como referência no comparativo. Para o sistema utilizando pré-lajes, a estimativa de custos foi baseada na utilização de composições de custo (apêndice A) da empresa SPO Engenharia de Orçamentos (trabalho não publicado)⁶ e o Franarin para as leis sociais de produção. Cabe ressaltar que estes dados são estimativas, visto que o consumo dos diversos insumos em obra sofre grande variabilidade na produtividade em canteiro e são característicos de cada obra e de cada empresa.

Nos próximos itens segue a discriminação das atividades para a produção das estruturas com ambos os sistemas, bem como os insumos necessários para cada atividade.

5.5.1 Estrutura convencional de concreto armado

Para a estimativa de custos da execução da laje pelo sistema convencional, os materiais considerados foram a fôrma de madeira (chapa de compensado plastificado), armadura em aço cortado e dobrado (CA-50 e CA-60 de diversas bitolas) e concreto usinado bombeado (resistência de 35 MPa e abatimento 10 + - 2 cm), já os serviços considerados foram o lançamento de concreto na supraestrutura (custo engloba todos os serviços de cimbramento, fôrmas e armadura) e o polimento em concreto para o acabamento da laje.

A fôrma de madeira em chapa compensada é utilizada para a moldagem *in loco* da laje convencional, sendo a mesma fôrma utilizada nos 16 pavimentos tipos (aproveitamento de oito vezes em cada lado), visto a capacidade de reutilização da chapa de compensado plastificado. Para o quantitativo das chapas de compensado foi considerado uma porcentagem de perda de 20% que, segundo a empresa SPO Engenharia de Orçamentos, é o valor utilizado nas previsões orçamentárias para as composições de fôrmas. A armadura de aço é referente à armadura positiva e negativa da laje, sendo o valor exatamente o mesmo do projeto estrutural

⁶ As atividades referentes ao sistema estrutural com pré-lajes não constam em bibliografia publicada, sendo assim as composições de custos unitárias foram obtidas da empresa SPO Engenharia de Orçamentos, que disponibilizou os dados necessários para a estimativa de custos em questão.

visto que o aço é cortado e dobrado. Quanto ao concreto usinado, o mesmo é bombeado, sendo a resistência e o abatimento definidos pelo projetista. Para o custo do lançamento de concreto em supraestrutura, está incluso toda a mão de obra (carpinteiros, ferreiros e ajudantes) responsável pela produção da estrutura (cimbramento, sistema de fôrmas e armaduras), visto que a mão de obra é empreitada e a empresa responsável pela obra não realizou composições unitárias para determinação do custo desses serviços. Por fim está o serviço de polimento em concreto para garantir o acabamento da laje, serviço também empreitado, sendo este executado com o equipamento conhecido como “helicóptero”.

Os custos dos insumos para a execução do cimbramento (escoras, barrotes, etc) não foram considerados visto que não há projeto para o sistema com pré-lajes, não sendo possível comparar os custos com o cimbramento do sistema convencional, sendo este item comparado apenas quanto ao tempo de execução, conforme citado anteriormente. Contudo, de maneira indireta, foi considerado nos custos da laje convencional, a execução do revestimento de teto (chapisco e massa única para reboco), visto que conforme já foi mencionado, a utilização das pré-lajes permite dispensar essas atividades, representando uma economia considerável de mão de obra, material e tempo.

Abaixo (quadro 5) está a estimativa de custos para a execução da laje convencional (moldada *in loco*), sendo os itens citados acima apresentados com os respectivos custos e quantitativos, sendo estes últimos retirados do projeto estrutural da obra estudada.

LAJE CONVENCIONAL MOLDADA NO LOCAL							
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)		CUSTO TOTAL (R\$)		TOTAL (R\$)
			MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA	
Supraestrutura							
Fôrma de madeira em chapa compensada plastificada 2,44x1,22m e= 18mm (aproveitamento 8x cada lado)	m ²	803,00	21,77		17.479,70		
Armadura em aço CA-50 e CA-60 diversas bitolas (cortado e dobrado)	kg	28384,00	4,21		119.496,64		
Concreto usinado bombeado de 35 MPa e abatimento 10 + - 2 cm	m ³	1195,20	287,37		343.464,62		
Lançamento de concreto em supraestrutura (custo engloba todos os serviços de cimbramento, fôrmas e armadura)	m ²	1195,20		392,40		468.996,48	
Serviço de polimento em concreto	m ²	12848,00		5,00		64.240,00	
Custo parcial (R\$)					480.440,97	533.236,48	1.013.677,45
Revestimento de teto (material e mão de obra)							
Chapisco rolado	m ²	9399,68		3,50		32.898,88	
Massa única para reboco (e= 15mm)	m ²	9399,68		19,50		183.293,76	
Custo parcial (R\$)						216.192,64	216.192,64
Custo total (R\$) - Laje convencional com revestimento de teto					696.633,61	533.236,48	1.229.870,09

Quadro 5: estimativa de custos para a execução da laje convencional

No quadro anterior, os custos parciais se referem às atividades da supraestrutura e revestimento de teto, sendo o custo total a soma de ambos.

5.5.2 Estrutura de concreto armado utilizando o sistema de pré-laje

Na execução da laje com as pré-lajes foi optado por estimar os custos de duas maneiras: a primeira produzindo a pré-laje no próprio canteiro de obras e a segunda terceirizando a produção da mesma. Com a produção no próprio canteiro de obras é possível reduzir os custos de produção das pré-lajes, contudo o controle de execução dos elementos fica de responsabilidade da incorporadora responsável pela obra, sendo também necessário um canteiro de obras com espaço físico (produção e armazenamento) e topografia adequados. Outra questão fundamental é o controle e planejamento da produção, para que a mesma acompanhe o ritmo de produção das lajes na supraestrutura.

Para a produção das pré-lajes no próprio canteiro de obras, utilizou-se como exemplo a obra executada no Paraná (citado no capítulo 4.3), onde os elementos pré-moldados eram produzidos sobre um piso de concreto polido executado sobre solo regularizado, compactado e com lastro de brita, sendo utilizados perfis metálicos para a delimitação das pré-lajes e desmoldante entre o piso de concreto e o concreto lançado para as pré-lajes (a execução da armadura e o lançamento do concreto eram executados comumente). No caso deste comparativo, a única diferença é que para a delimitação das pré-lajes não foram considerados perfis metálicos e sim fôrmas de madeira.

No caso da produção terceirizada, a pré-laje é executada em instalações permanentes distantes da obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade, sendo fundamental a garantia da qualificação do fornecedor. Nessa opção, além da questão da programação de envio das peças, é importante que as pré-lajes sejam posicionadas na carreta (de transporte da fábrica para o canteiro) buscando-se reduzir o número de movimentos necessários para o armazenamento, içamento e fixação em local definitivo.

Por fim está a execução da camada de capeamento da laje, sendo executada com concreto moldado *in loco* lançado sobre as pré-lajes, sendo utilizado armadura negativa da mesma maneira que no sistema convencional.

No quadro 6 é apresentado a estimativa de custos para a execução de um piso de concreto com 200 m² (central de produção das pré-lajes), produção das pré-lajes no próprio canteiro de obras, seguido dos custos estimados para as pré-lajes produzidas por empresa terceirizada (segundo informação do engenheiro responsável pela empresa de pré-moldados consultada) e para a camada de capeamento da laje, cujo item é comum às duas opções de produção da pré-laje.

LAJE UTILIZANDO PRÉ-LAJE							
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)		CUSTO TOTAL (R\$)		TOTAL (R\$)
			MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA	
Piso em concreto para execução das pré-lajes (opção de produção no próprio canteiro de obras)							
Regularização e apiloamento	m ²	200,00		1,67		334,00	
Lastro de brita 1 (e= 50 mm)	m ³	10,00	63,25	13,40	632,50	134,00	
Fôrma de madeira para base em concreto h=8 cm	m	60,00	9,61	16,55	576,60	993,00	
Fôrma de madeira para delimitação das pré-lajes	m	480,00	13,75	21,52	6.600,00	10.329,60	
Concreto usinado convencional de 35 MPa e abatimento 10 +- 2 cm	m ³	16,00	271,92		4.350,72		
Lançamento manual de concreto para piso	m ³	16,00		46,51		744,16	
Serviço de polimento em concreto	m ²	200,00		5,00		1.000,00	
Custo parcial (R\$)					12.159,82	13.534,76	25.694,58
Pré-lajes (opção de produção no próprio canteiro de obras)							
Armadura positiva em aço CA-50 e CA-60 diversas bitolas	kg	13936,00	4,21	1,66	58.670,56	23.133,76	
Armadura treliçada em aço CA-50	kg	13936,00	4,25	1,32	59.228,00	18.395,52	
Concreto usinado convencional de 35 MPa e abatimento 10 +- 2 cm	m ³	385,44	271,92		104.808,84		
Lançamento manual de concreto para pré-moldados (térreo)	m ³	385,44		46,51		17.926,81	
Custo parcial (R\$)					222.707,40	59.456,09	282.163,50
Pré-lajes (opção de produção terceirizada)							
Pré-laje treliçada diversas dimensões	m ²	12848,00		35,00		449.680,00	
Custo parcial (R\$)						449.680,00	449.680,00
Supraestrutura							
Armadura negativa em aço CA-50 e CA-60 diversas bitolas	kg	14448,00	4,21		60.826,08		
Concreto usinado bombeado de 35 MPa e abatimento 10 +- 2 cm	m ³	809,76	287,37		232.700,73		
Lançamento de concreto em supraestrutura	m ³	809,76		392,40		317.749,82	
Serviço de polimento em concreto	m ²	12848,00		5,00		64.240,00	
Custo parcial (R\$)					293.526,81	381.989,82	675.516,64
Custo total (R\$) - Laje com pré-laje produzida no próprio canteiro de obras					528.394,04	454.980,68	983.374,71
Custo total (R\$) - Laje com pré-laje produzida por empresa terceirizada					743.206,81	381.989,82	1.125.196,64

Quadro 6: estimativa de custos para a execução da laje com pré-lajes

Para o quantitativo de fôrmas de madeira para delimitação das pré-lajes, foram considerados moldes para produzir peças equivalentes a metade de um setor e, visto a simetria em relação ao eixo vertical, as mesmas fôrmas podem ser utilizadas para a produção de todos os setores do pavimento tipo. Em relação ao polimento do piso de concreto utilizado na produção das pré-lajes, foi considerado o mesmo custo do serviço empreitado no sistema convencional. No

caso da montagem das pré-lajes e colocação da armadura negativa, foi considerado o mesmo custo da mão de obra para o lançamento de concreto em supraestrutura do sistema convencional, porém nesse caso, a colocação das fôrmas da laje é substituída pela montagem das pré-lajes e não há a atividade de colocação da armadura positiva, a qual está contida na pré-laje. Ainda quanto ao lançamento de concreto em supraestrutura, devido às reduções e eliminações de algumas atividades como desforma, escoramento, barroteamento, e também devido à necessidade de mão de obra qualificada para este sistema construtivo, o custo dessa atividade na realidade poderia sofrer alterações, reduzindo ou aumentando o seu valor, contudo, como não há precisão do quanto reduz cada serviço, não será considerado nenhum desconto no custo dessa atividade.

Sendo assim, de maneira resumida, os custos estimados para a execução das lajes (3° ao 18°) por ambos os sistemas são:

- a) laje convencional (com revestimento de teto incluído) - R\$ 1.229.870,09 (R\$ 95,72/m²);
- b) laje com pré-lajes produzidas no canteiro de obras - R\$ 983.374,71 (R\$ 76,54/m²);
- c) laje com pré-lajes produzidas por empresa terceirizada - R\$ 1.125.196,64 (R\$ 87,58/m²).

As diferenças entre os valores acima decorrem, basicamente, da redução do volume de concreto lançado na supraestrutura, visto que parte do volume de concreto da laje está contido na pré-laje e a mesma é produzida no térreo da obra, e a consideração do revestimento de teto nos custos do sistema convencional. É importante ressaltar que a contratação e negociação com a empresa responsável pela produção das pré-lajes (caso da produção terceirizada) influem consideravelmente nos custos da execução da laje e, quanto ao controle da produção dos elementos pré-moldados, o mesmo é responsabilidade da empresa contratada, caso contrário é outro fator que pode influenciar nos custos da produção das pré-lajes no canteiro de obras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação do sistema estrutural convencional e do sistema estrutural utilizando pré-lajes permitiu verificar as vantagens e desvantagens de ambas as técnicas construtivas, possibilitando conhecer detalhes das pré-lajes e de suas aplicações em um edifício com múltiplos pavimentos. Apesar da pré-laje não ser nenhuma novidade na construção civil, a sua utilização ainda se mostra uma técnica construtiva recente e em fase de aprimoramento. No entanto, com o estudo do sistema estrutural convencional, foi possível compreender o motivo pelo qual a sua utilização se tornou tradicional nas obras, destacando alguns fatores que reforçam a idéia de manutenção deste sistema de produção consagrado.

Para as etapas construtivas, a execução da obra estudada através do sistema estrutural convencional demonstra em relação ao sistema com pré-lajes a relativa maior facilidade de moldagem da laje, sendo uma técnica já consagrada que permite o emprego extensivo de mão de obra não qualificada e equipamentos simples. A marcação do gabarito das furações nas fôrmas também é outra vantagem, visto que as mesmas fôrmas são utilizadas em todos os pavimentos tipo. Quanto às desvantagens observadas, basicamente estão relacionadas com a necessidade de um sistema de fôrmas, cimbramento e o nível de acabamento final da face inferior da laje, cuja qualidade deixa a desejar na maioria das estruturas convencionais.

Quanto ao sistema com pré-lajes, o mesmo permite eliminar completamente as fôrmas de compensando das lajes e os serviços relacionados a ela (colocação das fôrmas das lajes e posterior desforma), dispensando o principal agente responsável pela moldagem da laje, sendo um ponto positivo também em relação à questão da sustentabilidade (menor gasto de energia e materiais). Outras vantagens são a diminuição do cimbramento e dos serviços relacionados a ele (colocação do escoramento, barroteamento e posterior reescoramento), a eliminação da colocação da armadura positiva da laje (está incorporada à pré-laje) e o acabamento da parte inferior da laje, visto que com as pré-lajes não é necessário executar o revestimento do teto para corrigir as emendas de concreto que normalmente se formam na junção entre as fôrmas de uma laje convencional. Em relação às desvantagens estão o custo da pré-laje em si e do transporte (quando a produção for terceirizada), necessidade de condições de espaço físico e topografia do canteiro de obras favoráveis para armazenamento das peças e produção das

mesmas (quando a produção for no próprio canteiro de obras), cuidados especiais na fase de projeto, visto que qualquer erro observado tarde demais pode representar em um grande prejuízo financeiro para a empresa (as pré-lajes são produzidas com grande repetitividade e em grande escala) e cuidados especiais na fase de montagem, respeitando a planta de montagem e reforços indicados, caso houver.

Em relação ao ciclo de execução do pavimento tipo, foi observado que a obra estudada, executada pelo sistema estrutural convencional, apresenta um ritmo de produção acelerado se comparado com a média das obras hoje executadas pelo mesmo sistema. O ciclo de sete dias de trabalho possui algumas peculiaridades como a conclusão da armadura e fôrmas dos pilares em apenas um dia (primeiro dia) e a colocação do escoramento, cimbramento e fôrmas das lajes até o terceiro dia. Esses fatores mostram que apesar do sistema ser convencional, o planejamento das atividades e a produtividade da execução das mesmas é diferenciado, visto a quantidade de serviços executados em apenas sete dias, até a concretagem da laje. Como é sabido, a colocação das fôrmas de compensado da laje exige um sistema de cimbramento adequado para suportar a movimentação das pessoas, o peso próprio do concreto e da estrutura como um todo. O cimbramento, a colocação das fôrmas das lajes e os serviços relacionados a essas atividades (nivelamento das fôrmas das lajes, desforma das lajes e retirada das escoras e barrotes) consomem uma parcela grande do tempo do ciclo de execução, sendo assim, supressões ou reduções de algumas atividades desse conjunto permitiram reduzir o ciclo conforme descrito anteriormente.

A utilização das pré-lajes permitiu eliminar e reduzir alguns serviços, conforme citado no capítulo 5.4.2, fazendo com que o ciclo de trabalho do pavimento tipo pudesse ser reduzido em um dia teoricamente, na prática, com o devido estudo de viabilidade, talvez seja possível reduzir em mais um dia (visto que por um curto período de tempo, uma das equipes de trabalho da obra estudada teve o ciclo reduzido para seis dias mesmo no sistema convencional, devido ao atraso que a equipe anterior ocasionou). Segundo Lima (2010), a produção média de montagem das pré-lajes em um dia de trabalho é de 250 m² para uma equipe de seis a oito carpinteiros, essa é praticamente a mesma metragem quadrada de laje que há em um setor (251,2 m²) e equipe (oito carpinteiros), sendo assim, com a redução das atividades agregadas à laje, e equipes de trabalho acostumadas a um ritmo de produção acelerado (como no caso da obra estudada), é possível a eliminação de um dia no ciclo de

trabalho, reduzindo o tempo de execução dos pavimentos tipo (3. ao 18. pavimento) de 23 semanas (sistema convencional) para 19 semanas (sistema com pré-lajes).

Por fim, como pôde ser observado nos quadros 5 e 6, a diferença de custos entre a execução da laje pelo sistema convencional e com pré-lajes é bastante considerável, sendo a produção das pré-lajes no próprio canteiro de obras uma opção que permite reduzir ainda mais essa diferença. **Os custos da execução da laje com pré-lajes produzidas por empresa terceirizada se mostraram 9% menores que os custos da execução da laje convencional**, contudo, produzindo as pré-lajes no próprio canteiro de obras, essa diferença aumenta ainda mais, visto que **os custos da execução da laje com pré-lajes produzidas na obra apresentaram 25% de redução em relação aos custos do sistema convencional**.

Sendo assim, pode-se concluir que a execução da laje com pré-lajes permite reduzir o tempo de execução, e, principalmente no caso da produção no próprio canteiro de obras, diminuir os custos em relação à execução da laje no sistema convencional, sem considerar a redução de gastos com escoramento e barroteamento que o sistema com pré-lajes possibilita. No caso da produção terceirizada, a diferença nos custos é menor se comparado com a produção das pré-lajes na obra, contudo o controle da produção é responsabilidade da empresa contratada, sendo um aspecto fundamental no estudo de viabilidade para a aplicação desta técnica construtiva. Todavia, apesar das vantagens citadas acima, a utilização das pré-lajes requer alguns cuidados especiais na fase de projeto, produção e montagem (necessário treinamento da mão de obra para a qualificação da mesma), sendo fatores muito importantes a aderência entre os dois tipos de concreto, visto que se trata de um sistema composto, e a qualificação dos fornecedores (produção terceirizada), já que como o processo de produção das pré-lajes é bastante simples, um problema comum é a prática de fabricantes com pouco investimento e conhecimento no assunto.

REFERÊNCIAS

BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: USP, 1998. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/TT04.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2010.

BIANCO, L. V. **Estrutura de Concreto Armado**. Disponível em: <<http://www.edifique.arq.br/estconcr.htm>>. Acesso em: 17 maio 2010.

BOAVENTURA, M. B. **Análise Experimental da Influência do Prazo de Descimbramento na Fluência de Vigas de Concreto**. 2009. 95 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CAMPOS, P. E. F. Construção: sem restrições tecnológicas, os pré-fabricados. **Painel**, ano 11, n. 163, p. 10-11, out. 2008. Disponível em: <<http://www.aearp.org.br/revistas/wlBIBpEndyonusP/Painel%20163.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2010.

CARVALHO, K. Pré-fabricados de concreto. **Construção Mercado: negócios de incorporação e construção**, São Paulo: Pini, ano 62, n. 49, jan. 2009. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/49/artigo121694-1.asp>>. Acesso em: 2 maio 2010.

CICHINELLI, G. Construção industrializada sem erro. **Construção Mercado: negócios de incorporação e construção**, São Paulo: Pini, ano 62, n. 98, p. 60-63, set. 2009. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/98/artigo151079-1.asp>>. Acesso em: 2 maio 2010.

CONSTRUTORA PREMOLD LTDA. Pré-laje plana. Disponível em: <<http://www.premold.com.br/index2.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-Moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000.

FRANARIN CIA. LTDA. TABELA DE COMPOSIÇÕES DE PREÇO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Porto Alegre, 2002

LAJES ANHANGUERA INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Painéis treliçados. Disponível em: <<http://www.anhanguera.com.br/produtos/paineis.htm>>. Acesso em: 25 maio 2010.

LIMA, S. J. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <leandrobelt@hotmail.com> em 18 set. 2010.

MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZAS. **Manual Munte de Projetos em Pré-Fabricados de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

NAKAMURA, J. Pré-fabricados: as opções em pré-lajes para construções residenciais e edificações de alvenaria estrutural. **Revista Técnica**: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Pini, ano 17, n. 149, p. 22-25, ago. 2009.

PFEIL, W. **Concreto Armado**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

PP PAINÉIS E PRÉ-FABRICADOS. Obras residenciais. Disponível em:
<<http://www.lajes.com.br/obras-residenciais.php>>. Acesso em: 3 maio 2010.

REIS, P. Custo Comparado: pré-laje x laje maciça. **Guia da Construção**: custos, suprimentos e soluções técnicas, São Paulo: Pini, ano 63, n. 105, p. 12-13, abr. 2010.

TEIXEIRA, P. W. G. N.; GONÇALVES, F. D. R. Utilização de pré-moldados de canteiro para execução da estrutura de concreto armado de um edifício residencial com quinze pavimentos em Teresina-PI. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos. **Anais... SET-EESC-USP**, 2005. Disponível em:
<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/107.pdf>. Acesso em: 20 maio 2010.

VARGAS, F. L. **Análise Comparativa de Custos Entre a Construção Utilizando Pré-fabricados em Concreto e Outros Métodos Construtivos**. 2008. 56 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 9. ed. São Paulo: Pini, 2008.

APÊNDICE A

ARMAÇÃO - (kg)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Aço CA-60 - 5mm reto	0,30	kg	3,50	1,05		
2	Aço CA-50 - 10mm reto	0,75	kg	3,55	2,66		
3	Arame recozido nº 18	0,03	kg	4,80	0,14		
	Corte e dobra						
4	Mão de obra ARMAFER	1,00	kg	0,35	0,35		
	Montagem e aplicação						
5	Ferrelro	0,100	h	3,56		0,36	
6	Servente	0,100	h	2,42		0,24	
7	Leis sociais produção	176,82	%			1,06	
	TOTAL				4,21	1,66	5,86

ARMAÇÃO C/TRELIÇA - (kg)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Treliça TG 8L	1,05	kg	4,05	4,25		
	Aplicação						
2	Ferrelro	0,080	h	3,56		0,28	
3	Servente	0,080	h	2,42		0,19	
4	Leis sociais produção	176,82	%			0,85	
	TOTAL				4,25	1,32	5,58

CONCRETO USINADO CONVENCIONAL FCK 35,0 MPa (m³)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Concreto usinado FCK 35,0 MPa	1,03	m³	264,00	271,92		
	TOTAL				271,92	-	271,92

CONCRETO USINADO BOMBEADO FCK 35,0 MPa (m³)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Concreto usinado bombeado	1,03	m³	279,00	287,37		
	FCK 35,0 MPa						
	TOTAL				287,37	-	287,37

LANÇAMENTO MANUAL DE CONCRETO USINADO (m³)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Carpinteiro	2,00	h	3,56		7,12	
2	Servente	4,00	h	2,42		9,68	
3	Leis sociais produção	176,82	%			29,71	
	TOTAL				-	46,51	46,51

REGULARIZAÇÃO E APILOAMENTO (m³)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Servente	0,25	h	2,42		0,61	
2	Leis sociais produção	176,82	%			1,07	
	TOTAL				-	1,67	1,67

LASTRO DE BRITA (m²)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Brita	1,15	h	55,00	63,25		
2	Servente	2,00	h	2,42		4,84	
3	Leis sociais produção	176,82	%			8,56	
	TOTAL				63,25	13,40	76,65

FÔRMA EM TÁBUA PARA BORDA DA BASE DE CONCRETO PARA A PRODUÇÃO DAS PRÉ-LAJES (m)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Guia madeira cedrinho 2,5x15cm	1,10	m	6,00	6,60		
2	Sarrafo madeira cedrinho 2,5x7,0cm	1,00	m	2,80	2,80		
3	Pregos	0,03	kg	7,00	0,21		
4	Carpinteiro	1,00	h	3,56		3,56	
5	Servente	1,00	h	2,42		2,42	
6	Leis sociais produção	176,82	%			10,57	
	TOTAL				9,61	16,55	26,16

FÔRMA DE MADEIRA PARA DELIMITAÇÃO DAS PRÉ-LAJES (m²)

ITEM	INSUMOS	COEF.	UN.	CUSTO	MATERIAL	M. OBRA	TOTAL
1	Guia madeira cedrinho 2,5x15cm	2,26	m	6,00	13,54		
2	Pregos	0,03	kg	7,00	0,21		
3	Carpinteiro	1,30	h	3,56		4,63	
4	Servente	1,30	h	2,42		3,15	
5	Leis sociais produção	176,82	%			13,75	
	TOTAL				13,75	21,52	35,27