

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

Emerson Baldasso Zanon

**LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS E
MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO*:
COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

Porto Alegre
dezembro 2011

EMERSON BALDASSO ZANON

**LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS E
MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO*:
COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

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: Luis Carlos Bonin

Porto Alegre
dezembro 2011

EMERSON BALDASSO ZANON

**LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS E
MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO*:
COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

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, 19 de dezembro de 2011

Prof. Luis Carlos Bonin
MEng. pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

Eng^a. Lucília Maria Silveira Bernardino da Silva (UFRGS)
MEng. pela UFRGS

Eng^o. Nei Ricardo Vaske (UFRGS)
MEng. pela UFRGS

Prof. Luis Carlos Bonin(UFRGS)
MEng. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais e aos meus irmãos, que
sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado nos
momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Luis Carlos Bonin, orientador deste trabalho, pela ajuda e atenção dedicada.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt por corrigir este trabalho com muita paciência e sempre estar disposta a me ajudar quando a procurei para o esclarecimento de dúvidas.

Agradeço as empresa EGL Engenharia SA e CASSOL Pré-Fabricados por permitirem que eu realizasse os estudos em suas obras.

Agradeço aos engenheiros Rafael e Thiago e aos técnicos em edificações Cristian e Everton pelo tempo e auxílios prestados durante a realização do meu trabalho.

Caia sete vezes, levante-se oito.

Provérbio Japonês

RESUMO

A construção civil vive um processo de modernização e implantação de novas tecnologias que tem como objetivo uma maior racionalização dos processos envolvidos nas obras, obtendo maior produtividade e redução de desperdícios. Muitos são os sistemas estruturais disponíveis no mercado, sendo que cabe ao engenheiro buscar, para cada situação, a solução estrutural que resulte em uma maior economia e/ou velocidade de execução. Dentre essas novas tecnologias está a aplicação do sistema de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas, o qual possui maior rapidez, desempenho estrutural, organização, além de ser mais racional e, em determinadas situações, mais econômico. Com base nestas informações, este trabalho buscou a análise comparativa dos processos de execução entre o uso de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e o de lajes maciças de concreto armado moldadas *in loco*. No primeiro momento abordou-se, através de uma pesquisa bibliográfica a definição, aplicação, características, vantagens, desvantagens, métodos de produção e de transporte de ambos os processos de execução das lajes. Em seguida, realizou-se uma coleta de dados em obras situadas em Porto Alegre, com o objetivo de comparar os sistemas em relação ao processo de execução em canteiro de obra. Após uma comparação dos resultados obtidos, específicos para esta situação, foi feita uma discussão sobre os mesmos, tendo como base os temas abordados no desenvolvimento do trabalho. Ao final, foi possível observar que a execução de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas apresenta, como maior vantagem, a capacidade de incrementar o processo de produção do edifício, em nível de industrialização.

Palavras-chave: Lajes Maciças de Concreto Armado. Concreto Armado. Lajes Alveolares Protendidas Pré-Fabricadas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa.....	15
Figura 2 – Placa com ações verticais perpendiculares à sua superfície	17
Figura 3 – Representação esquemática de uma estrutura de laje de concreto armado.....	27
Figura 4 – Representação esquemática de uma estrutura de concreto armado.....	27
Figura 5 – Representação esquemática da produção de lajes em concreto armado.....	29
Figura 6 – Junção entre as placas – alvéolos preenchidos com isopor	35
Figura 7 – Seção transversal de uma laje alveolar	36
Figura 8 – Seção genérica de uma laje alveolar produzida por máquina extrusora	36
Figura 9 – Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar	37
Figura 10 – Formas de passagem de dutos e tubulações	38
Figura 11 – <i>Layout</i> da obra estudada	44
Figura 12 – Montagem das armaduras de pilares e vigas	45
Figura 13 – Identificação das armadura	45
Figura 14 – Local de armazenamento das armaduras	46
Figura 15 – Fabricação e armazenamento das fôrmas	47
Figura 16 – Locação dos ganchos dos pilares	48
Figura 17 – Recebimento das armaduras	48
Figura 18 – Colocação das armaduras dos pilares nas esperas	49
Figura 19 – Montagem dos pilares finalizada	49
Figura 20 – Montagem das fôrmas das vigas, juntamente com a elevação dos tubos da “linha de vida”	50
Figura 21 – Colocação das madres e barrotes	51
Figura 22 – Colocação das fôrmas das lajes	51
Figura 23 – Transporte vertical do concreto	52
Figura 24 – Recebimento das armaduras das vigas	53
Figura 25 – Caixa de madeira fixada na laje	54
Figura 26 – Colocação e fixação das passagens hidráulicas	54
Figura 27 – Fixação dos pontos elétricos	55
Figura 28 – Colocação da armadura positiva da laje	55
Figura 29 – Malha de armaduras	56
Figura 30 – Instalações elétricas embutidas	57
Figura 31 – Ponto elétrico preenchido com serragem	57
Figura 32 – Uso do espaçador para armaduras negativas	58

Figura 33 – Fixação das mestras de madeira	59
Figura 34 – Sentido geral da concretagem	60
Figura 35 – Lançamento do concreto	60
Figura 36 – Concreto sendo espalhado	61
Figura 37 – Adensamento do concreto	61
Figura 38 – Concreto sendo reguado	62
Figura 39 – Acabamento final com o auxílio de uma desempenadeira manual	62
Figura 40 – Fim da concretagem	63
Figura 41 – Projeto de montagem	65
Figura 42 – Patolamento e colocação dos contrapesos	66
Figura 43 – Chegada das lajes na obra – aguardando liberação para entrar no local de içamento	66
Figura 44 – Identificação dos painéis alveolares	67
Figura 45 – Formulário de inspeção de recebimento de peças	67
Figura 46 – Içamento do painel alveolar	68
Figura 47 – Colocação de borrachas para a proteção do painel alveolar	68
Figura 48 – Movimentação do painel alveolar com o auxílio de uma corda	69
Figura 49 – Utilização da linha de vida	70
Figura 50 – Operário com posse de um rádio comunicador	70
Figura 51 – Posicionamento da laje no apoio	71
Figura 52 – Retirada dos cabos de aço	71
Figura 53 – Fim da colocação dos painéis alveolares	72
Figura 54 – Colocação de torniquetes	72
Figura 55 – Início do chaveteamento	73
Figura 56 – Retirada dos torniquetes	74
Figura 57 – Capeamento	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resistência mínima ao fogo de elementos construtivos.....	21
Quadro 2 – Principais benefícios do sistema pré-fabricado.....	23
Quadro 3 – Dimensões mínimas para lajes maciças.....	28
Quadro 4 – Quadro comparativo	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 DIRETRIZES DA 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 DELIMITAÇÕES	14
2.4 LIMITAÇÕES	14
2.5 DELINEAMENTO	14
3 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES	17
3.1 REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DAS LAJES	18
3.1.1 Resistência estrutural e mecânica	19
3.1.2 Deformabilidade	20
3.1.3 Isolamento acústico	20
3.1.4 Resistência ao fogo	21
3.2 PRÉ-FABRICAÇÃO X MOLDAGEM <i>IN LOCO</i>	22
3.3 CONCRETO PROTENDIDO X CONCRETO ARMADO	23
3.4 LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO	25
3.4.1 Geometria	26
3.4.2 Aspectos de produção	28
3.4.3 Transporte	32
3.4.4 Reprojetado da laje	32
3.5 LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS	33
3.5.1 Geometria	35
3.5.2 Aspectos de produção	38
3.5.3 Transporte vertical e horizontal	40
4 PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO HORIZONTAL.	42
4.1 PROCESSO PARA EXECUÇÃO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS <i>IN LOCO</i>	42
4.1.1 Apresentação da obra	42
4.1.2 Documentos	42
4.1.3 Recebimento e armazenamento dos materiais	43

4.1.4 Montagem das armaduras de pilares e vigas	44
4.1.5 Montagem das fôrmas	46
4.1.6 Marcação dos pilares	47
4.1.7 Montagem dos pilares	48
4.1.8 Montagem das fôrmas das vigas	50
4.1.9 Montagem da laje	50
4.1.10 Concretagem dos pilares	52
4.1.11 Nivelamento da fôrma da laje	53
4.1.12 Colocação das armaduras das vigas	53
4.1.13 Fixação das passagens hidráulicas	53
4.1.14 Fixação dos pontos elétricos	54
4.1.15 Colocação das armaduras positivas	55
4.1.16 Colocação das instalações elétricas embutidas	56
4.1.17 Colocação das armaduras negativas	57
4.1.18 Fixação das mestras	58
4.1.19 Preparação para a concretagem	59
4.1.20 Concretagem da laje	59
4.1.21 Cura do concreto	63
4.2 PROCESSO PARA EXECUÇÃO DE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS	63
4.2.1 Apresentação da obra	63
4.2.2 Condições para início dos trabalhos	64
4.2.3 Locação do guindaste	65
4.2.4 Chegada dos painéis na obra	66
4.2.5 Içamento dos painéis	68
4.2.6 Montagem dos painéis	69
4.2.7 Equalização das lajes	72
4.2.8 Chaveteamento	73
4.2.9 Capeamento	74
5 COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem sido considerada atrasada em relação a outros ramos industriais, principalmente devido à baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. A escassez de matéria-prima, a lentidão dos processos artesanais e a carência crescente da mão de obra qualificada são alguns dos principais fatores que propiciaram a evolução da indústria de pré-fabricados. Sendo assim, uma das formas mais efetivas de industrializar o setor da construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas, possibilitando, dessa forma, processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas, controle de qualidade, etc.

Pelo fato do uso dos materiais ser altamente potencializado e otimizado, os elementos pré-fabricados de concreto são mais econômicos e racionais, além de apresentarem maior rapidez, desempenho estrutural, versatilidade arquitetônica, com alto nível organizacional da produção e maior durabilidade do que as construções moldadas no local. A pré-fabricação é obtida por meio do uso de equipamentos modernos, controlados por computador e de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados para o preparo do concreto, o qual pode ser perfeitamente adaptado aos requisitos de cada tipo de componente para otimizar o uso dos materiais mais caros.

Além disso, o uso de lajes pré-fabricadas é uma solução relevante para obras que necessitam reduzir seu tempo de execução. Dentre os vários tipos existentes, destacam-se as lajes alveolares protendidas, as quais consistem em um sistema que além de propiciar maior agilidade, apresenta diversas vantagens frente a outros tipos de lajes, tais como não necessitar o uso de escoramento, propiciar a utilização em maiores vãos e suportar maiores cargas.

Devido a toda essa possibilidade de industrialização no setor da Engenharia Civil, este trabalho tem o propósito de analisar o uso de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas em comparação com o sistema de lajes maciças de concreto armado moldadas *in loco*. Para tanto, a fim de estabelecer um comparativo, serão considerados a geometria, os métodos de produção e de transporte de ambos os processos de execução das lajes.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Para a elaboração do presente trabalho foram definidas as seguintes diretrizes que determinaram o seu desenvolvimento.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais as vantagens e desvantagens na execução de lajes, comparando-se os sistemas de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco*?

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 o estabelecimento de um comparativo dos processos de execução entre lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco*, destacando as vantagens e desvantagens dos sistemas.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são os seguintes:

- a) descrição do método construtivo;
- b) registro da observação dos processos em execução.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao acompanhamento e comparação dos sistemas de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco* em obras situadas em Porto Alegre.

2.4 LIMITAÇÕES

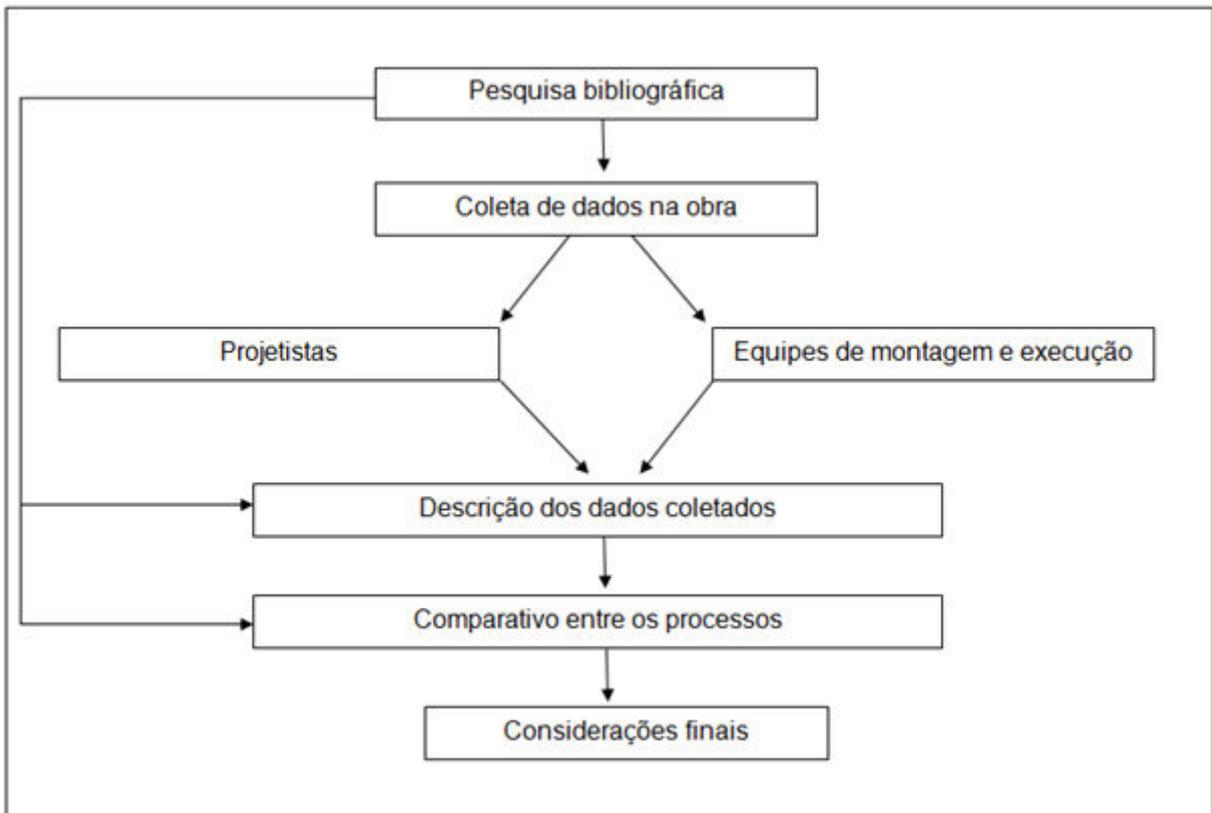
O trabalho limita-se a comparar apenas duas obras na cidade de Porto Alegre, sendo obras de portes e de empresas diferentes.

2.5 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir e representadas na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) coleta de dados na obra;
- c) descrição dos dados coletados;
- d) comparativo entre os processos;
- e) considerações finais.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Essas etapas são descritas nos próximos parágrafos.

Inicialmente realizou-se uma **pesquisa bibliográfica** sobre os dois métodos de execução de lajes: alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco*. Ressalta-se que tal etapa foi feita com maior intensidade no início do trabalho de pesquisa, porém sua execução continuou ao longo de todo o desenvolvimento do mesmo, com a finalidade de fornecer subsídios para todas as etapas.

Em seguida, foi realizada uma **coleta de dados** através de visitas em obras, com o acompanhamento de um engenheiro e/ou equipe especializada, os quais apresentaram todo o processo de execução das lajes além de esclarecerem eventuais dúvidas. A etapa teve como objetivo obter o máximo de informações dos agentes envolvidos nos processos de execução dos métodos. Essa fase foi dividida em duas fases, fazendo-se contato com:

- a) projetistas de arquitetura e/ou engenheiros residentes;
- b) equipes de montagem e execução dos métodos analisados (visita à obra e acompanhamento dos processos de execução).

Essa etapa buscou subsídios para descrever as variáveis direta e indiretamente envolvidas, como:

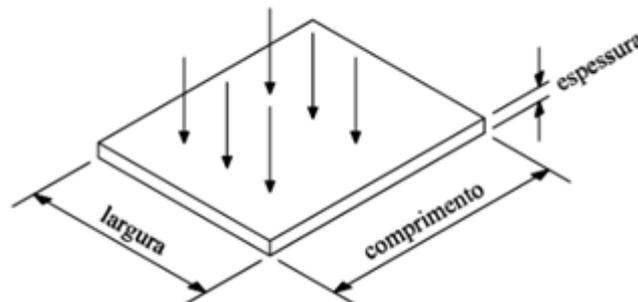
- a) características gerais dos materiais e componentes;
- b) aspectos de produção;
- c) transporte vertical e horizontal.

Com isso, pode-se realizar a **comparação entre os processos de execução**. E, por fim, o estabelecimento das **considerações finais** da pesquisa.

3 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES

Lajes ou placas são elementos estruturais bem conhecidos presentes nas construções desde a antiguidade e que vêm sofrendo um grande processo evolutivo ao longo desse período, com o objetivo de melhorar o desempenho para determinadas aplicações, satisfazendo requisitos arquitetônicos, econômicos e de segurança (SOUZA; CUNHA¹, 1998 apud DUTRA, 2005, p. 7). Dessa forma, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 75), elas podem ser classificadas, em sua maioria, como elementos estruturais de formato retangular e de superfície plana que possuem função de absorver as cargas normais ao seu plano, sendo que tal situação confere à laje o comportamento de placa (figura 2).

Figura 2 – Placa com ações verticais perpendiculares à sua superfície



(fonte: SILVA, 2005, p. 13)

As lajes, por sua vez, distribuem-se por grande parte da extensão dos pavimentos e possuem comportamento bidimensional, além de receberem e transmitirem as ações das cargas que nela atuam para as vigas e pilares (BRUMATTI, 2008, p. 26). Dessa forma, as lajes servem como elementos de vedação horizontal, proporcionando superfícies de segurança nas quais podem ser realizadas atividades, caracterizando sua principal função de sustentar pessoas e objetos (RANGEL, 2009, p. 2).

Ainda, de acordo com a NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1-5), pode-se citar como as cargas usualmente atuantes nas lajes: o peso

¹ SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. **Lajes em concreto armado e protendido**. Niterói: EDUFF, 1998.

próprio; o peso de revestimento (pavimento, por exemplo, granito, tábua corrida; revestimento da face inferior); a impermeabilização/isolamento, as sobrecargas de utilização e as coberturas.

As lajes apresentam funções de contraventamento uma vez que auxiliam no enrijecimento de vigas quando concretadas com as mesmas, por serem elementos rígidos em seu plano. Além disso, servem como isolantes térmicos e acústicos (SOUZA; CUNHA², 1998 apud DUTRA, 2005, p. 7).

Vários são os métodos construtivos que estão sendo bem aceitos no mercado da construção civil, sendo que as tecnologias visam à redução de custos, beneficiando o uso em edificações. Devido à ampla utilização, há no mercado diversos tipos de lajes, os quais são escolhidos de acordo com a necessidade, a fim de suprir as características de cada canteiro de obra. Algumas lajes são mais resistentes, já outras, pelo fato de serem mais leves, são utilizadas para reduzir a carga das estruturas. Existem ainda, aquelas que visam economizar a quantidade de concreto, devido ao seu formato, como as nervuradas (RANGEL, 2009, p. 2-3).

A seguir, serão citados os requisitos mínimos de desempenho das lajes, dando enfoque à resistência, à deformabilidade, ao isolamento acústico e à resistência ao fogo. Além disso, se conceituará o termo **pré-fabricação**, assim como se estabelecerá um comparativo entre concreto protendido e concreto armado e entre os processos de execução das lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco*, destacando suas características.

3.1 REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DAS LAJES

A NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. vii, 10, 14, 35), trata dos requisitos para os sistemas de pisos internos. Estes, por sua vez, podem ser apoiados sobre o solo ou podem atuar como elementos de separação entre pavimentos sucessivos. São constituídos por suporte estrutural, eventuais camadas intermediárias e acabamento ou revestimento superficial, sendo que os requisitos necessários do sistema estão

² SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. **Lajes em concreto armado e protendido**. Niterói: EDUFF, 1998.

especificados nessa norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos: pisos internos.

No caso das edificações com um número maior de pavimentos, essa Norma também pode ser empregada levando-se em consideração a inexistência de outra no País que estabeleça os requisitos de desempenho para tais construções. Sendo que, pelo mesmo motivo, ela pode ser adotada na execução de lajes com painéis pré-fabricados.

Os requisitos de desempenho são variáveis qualitativas e os critérios de desempenho traduzem os mesmos para uma forma quantitativa. Sendo assim, os requisitos avaliados nesse trabalho que serão detalhados nos próximos itens, são:

- a) resistência estrutural e mecânica;
- b) deformabilidade;
- c) isolamento acústico;
- d) resistência ao fogo.

3.1.1 Resistência estrutural e mecânica

Segundo Sabbatini (1984), a avaliação da resistência mecânica é muito importante para determinar a segurança estrutural da edificação, uma vez que é possível analisar a capacidade que os elementos de vedação têm de resistirem quando submetidos a forças exercidas sobre suas faces.

A NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4-5) menciona que os pisos internos devem ser projetados, construídos e montados de forma a atender às exigências da NBR 15575-2/2008 – Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais, a fim de assegurar estabilidade e segurança estrutural. Além disso, especifica que sob as condições de serviço, incluindo carregamentos estáticos e dinâmicos, os pisos internos da habitação devem ser resistentes frente às cargas de projeto. Dessa forma, os pisos não devem apresentar ruína, fissuras ou deformações que coloquem em risco a integridade física, provoquem sensação de insegurança ou prejudiquem a funcionalidade do piso.

Ainda de acordo com a NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4-5, 10, 17-18), os pisos devem resistir a esforços mecânicos que

provocam desgaste por abrasão ou riscos associados às condições de uso em cada ambiente, considerando inclusive as peculiaridades do entorno da habitação, de forma a garantir a vida útil estabelecida em projeto. Além disso, quando em contato com o solo devem ser estanques à umidade proveniente do mesmo, evitando desconforto, risco de acidentes e risco à saúde dos usuários, bem como danos a elementos construtivos da habitação.

3.1.2 Deformabilidade

A contra-flecha excessiva é considerada um tipo de deformação das lajes alveolares protendidas que pode gerar desperdício de material, pelo fato de dificultar alguns processos, tais como, montagem dos painéis e concretagem da capa. Devido à curvatura exagerada resultante das peças, a concretagem da capa exigirá uma maior quantidade de concreto nas extremidades para atingir o nivelamento e a espessura prevista no projeto (PETRUCELLI, 2009, p. 48).

As deformações excessivas e a tendência à vibração podem ser indesejáveis por motivos descritos na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 69), tais como:

- a) interferência na aceitabilidade sensorial, uma vez que se deve evitar que ocorram vibrações e efeitos visuais indesejáveis;
- b) alguns efeitos podem impedir o uso adequado da construção;
- c) existem efeitos que estão relacionados ao mau funcionamento devido a deslocamentos gerados por elementos que não fazem parte da estrutura, porém encontram-se ligados a ela;
- d) alguns efeitos agem diretamente na estrutura, alterando sua estabilidade.

3.1.3 Isolamento acústico

O piso da habitação deve proporcionar isolamento acústico adequado entre unidades habitacionais distintas ou entre dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao repouso e ao lazer, visando atenuar a passagem de som resultante do dia-a-dia. Sendo assim, na avaliação deste desempenho devem ser considerados o isolamento de ruído de impacto no piso (deslocamento de pessoas, queda de objetos, etc.) e o isolamento de ruído aéreo

(conversa, TV, rádio, etc.), de modo a garantir conforto e privacidade acústica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 12).

Desta forma, o isolamento acústico é um aspecto importante na escolha do tipo de piso. O isolamento de ruído aéreo, por sua vez, depende do peso dos painéis, o que possibilita aos pisos de concreto atenderem a estes requisitos. Por outro lado, quando se trata do isolamento de ruído devido a impactos, deve-se levar em consideração outros critérios, por exemplo, no caso de mezaninos suspensos (SARTOR; SILVA, 2008, p. 26).

3.1.4 Resistência ao fogo

Segundo Sabbatini et al. (1993, p. 15) e a NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 3, 6-8), os pisos de edifícios com multipavimentos devem ser projetados e construídos de forma a:

- a) apresentar capacidade de resistir ao fogo, por um determinado período, a fim de manter sua estabilidade, integridade, estanqueidade (às chamas e aos gases) e isolamento térmico;
- b) ser constituído por materiais (revestimento, acabamento e isolamento termo-acústico) capazes de controlar a propagação das chamas entre unidades próximas (quadro 1);
- c) facilitar a saída dos usuários da habitação numa situação de incêndio.

Quadro 1 – Resistência mínima ao fogo de elementos construtivos

Função do piso	Isolamento térmico min	Estanqueidade min	Estabilidade min
Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)	30	30	30

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 7)

De acordo com São Paulo³ (2001 apud OLIVEIRA, 2002, p. 62), “[...] os elementos de compartimentação (incluindo as fachadas, as paredes externas e a selagem dos *shafts* e dutos) e os elementos estruturais devem apresentar um tempo requerido de resistência ao fogo

³ SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Governo e Gestão Estratégica. **Decreto Estadual n. 46076**, de 31 de agosto de 2001. Institui o regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei n. 684, de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências. São Paulo, SP, 2001.

(TRRF), no mínimo, igual ao da estrutura principal.”. Neste caso, este tempo dependerá da altura e do tipo de ocupação da edificação, sendo que o tempo mínimo é de 30 minutos.

Os pisos pré-moldados de concreto armado ou protendido apresentam uma resistência ao fogo, normalmente, de 1 a 2 horas. Dessa forma, todos os pavimentos de concreto podem resistir até 1 hora sem necessidade de medida especial, porém, para uma proteção superior a 1 hora e 30 minutos, será necessário aumentar o recobrimento sobre as armaduras (SARTOR; SILVA, 2008, p. 26).

3.2 PRÉ-FABRICAÇÃO X MOLDAGEM *IN LOCO*

A conceituação de pré-fabricados muitas vezes é confundida com a de pré-moldados, sendo que, segundo a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 2), o nível de controle de qualidade é a principal diferença. De acordo com El Debs (2000, p. 1), “[...] a pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta em pré-fabricação, que, por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção.”.

Segundo Rodrigues (1991, p. 2), os pré-fabricados e os pré-moldados podem ser caracterizados como:

Pré-fabricado: elemento que é executado fora do local de utilização definitivo da estrutura, produzido em usina ou instalações análogas, que disponham de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade, que deve abranger pelo menos as seguintes etapas de produção: fôrmas, armadura, mistura e lançamento do concreto, armazenamento, transporte e montagem.

Pré-moldado: elemento que é executado fora do local de utilização definitivo da estrutura, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, sem a necessidade de pessoa, laboratório e instalações congêneras próprias.

Ainda, Lima (2004, p. 22) menciona que “[...] o pré-fabricado é considerado uma forma extremamente ágil na edificação de construções, capaz de contemplar do simples ao sofisticado [...]”. Além disso, a utilização de pré-moldados em estruturas de edificações tem origem bastante antiga, sendo que, segundo El Debs (2000, p. 29), acredita-se que sua primeira utilização foi realizada em 1891 na construção do Cassino de Biarritz, na França. O quadro 2 ilustra algumas das vantagens do sistema pré-fabricado frente ao sistema *in loco*.

Quadro 2 – Principais benefícios do sistema pré-fabricado

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DO SISTEMA PRÉ-FABRICADO	
• Possibilidade maior de focar o empreendimento;	• A obra fica menos suscetível a variações climáticas;
• Melhoria na qualidade da gestão do projeto;	• Redução das horas do pessoal exposto ao risco;
• Garantia de rapidez à obra;	• Garantia de qualidade;
• Redução e eliminação de diversos custos indiretos ou de difícil contabilização;	• Obra limpa e menor dano possível ao meio ambiente;
• Maior confiabilidade no cumprimento do cronograma;	• Rastreabilidade do processo;
• Obra sem desperdício, ociosidade e risco de desvios de compra;	• Rotatividade menor da mão-de-obra;
• Menor estrutura administrativa, fiscalização, laboratório e controle;	• Maior organização do canteiro de obras.

(fonte: LIMA, 2004, p. 22)

Segundo Brumatti (2008, p. 49), outra diferença que pode ser mencionada é em relação ao tipo de fôrma utilizada para a confecção das lajes, uma vez que no sistema pré-moldado se utiliza fôrmas metálicas (vantagem quando o volume de peças a ser produzido for elevado) e no convencional, fôrmas de madeira (apresentam como desvantagem a baixa possibilidade de reutilização gerando desperdício de material e um custo maior). No entanto, o sistema pré-moldado tem como desvantagem a necessidade de acompanhamento de uma empresa terceirizada detentora de conhecimento, devido ao fato desse sistema não ser de uso corrente.

Ainda, de acordo com Brumatti (2008, p. 49-50), a etapa do escoramento não é considerada no sistema pré-fabricado, enquanto que no convencional a mesma deve ser analisada devido ao elevado custo. Já a escolha de equipamentos de montagem é uma etapa presente somente no sistema pré-fabricado. Isso ocorre devido à necessidade do transporte durante o içamento para posterior instalação no seu destino, elevando, dessa forma, o custo inicial da obra quando esse sistema for utilizado.

3.3 CONCRETO PROTENDIDO X CONCRETO ARMADO

Bastos (2006, p. 8) menciona que:

O concreto protendido é um refinamento do concreto armado, onde a idéia básica é aplicar tensões prévias de compressão nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento externo aplicado. Desse modo, as tensões de tração são diminuídas ou até mesmo anuladas pelas tensões de compressão pré-existentes ou

pré-aplicadas. Com a protensão contorna-se a característica negativa de baixa resistência do concreto à tração.

A principal diferença quanto à composição entre o concreto protendido e o armado, está no tipo de armadura que será utilizada além da interação entre o concreto e a mesma (BARBOZA, 2008, p. 46). Dessa forma, no concreto protendido emprega-se a armadura ativa (aderida ou não ao concreto), a qual, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 4), é “Constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinadas à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.”. Por outro lado, no concreto armado ocorre a utilização de armadura passiva aderida ao concreto, sendo que esta, por sua vez é caracterizada pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 4) como sendo “Qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada.”.

Segundo Barboza (2008, p. 48), o concreto protendido, independente do tipo de protensão, apresenta as seguintes vantagens em relação ao concreto armado:

- a) controle das deflexões;
- b) aumento no controle de fissuras;
- c) redução nas tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes;
- d) permite vencer vãos maiores que o concreto armado convencional; para o mesmo vão, permite reduzir a altura necessária de vigas e lajes;
- e) facilita o emprego da pré-moldagem, uma vez que a protensão praticamente elimina a fissuração durante o transporte das peças;
- f) como as tensões introduzidas no ato da protensão, tanto no aço como no concreto, são muito superiores que as correspondentes à situação da peça em serviço, as operações de protensão funcionam como uma prova de carga da estrutura.

Por outro lado, também existem desvantagens do concreto protendido frente ao concreto armado, tais como (BARBOZA, 2008, p. 48-49):

- a) corrosão da cordoalha de protensão, podendo ocasionar acidentes;
- b) necessidade de um projeto bem elaborado;
- c) custo elevado, por não ser um sistema tão popular.

De acordo com Pfeil (1988, p. 1-2), a protensão é um “[...] artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações.”, sendo que na prática, esse procedimento é realizado através da tração e ancoramento dos cabos de aço de alta resistência, aumentando a eficiência do material. De acordo com Rocha⁴ (1972 apud MIGLIORE, 2008, p. 30), o principal objetivo desse tipo de concreto é “[...] criar um processo que permite usar aços de alta resistência à tração, obtendo assim, estruturas mais leves e esbeltas com o uso de concreto de elevada resistência à compressão.”.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 4) que regula o projeto de estruturas de concreto armado e protendido, menciona que os elementos de concreto protendido são:

Aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU).

3.4 LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo Veríssimo et al. (2008, p. 4.5), “Chama-se de laje maciça a laje de concreto com espessura constante, moldada *in loco* a partir do lançamento do concreto fresco sobre um sistema de formas planas.”, sendo assim, elas necessitam, obrigatoriamente, de fôrmas e escoras para sustentarem a estrutura. Dessa forma, a laje maciça é o sistema construtivo mais empregado na construção civil e envolve várias etapas como a colocação de armadura, instalações embutidas (elétricas, hidráulicas, etc.), transporte do concreto e concretagem (MONT’ALVERNE⁵, 1998 apud ALLGAYER, 2010, p. 18-19).

Nos próximos itens serão abordados, sobre as lajes maciças de concreto armado, a geometria, os aspectos de produção, citando vantagens e desvantagens, o transporte utilizado nesse sistema, além do reprojeto da laje.

⁴ ROCHA, A. M. **Concreto protendido**: novo curso prático de concreto armado. Rio de Janeiro: Científica, 1972. v. 5.

⁵ MONT’ALVERNE, A. M. **Ferramentas Computacionais para o Projeto de Lajes em Concreto Armado**. 1998. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

3.4.1 Geometria

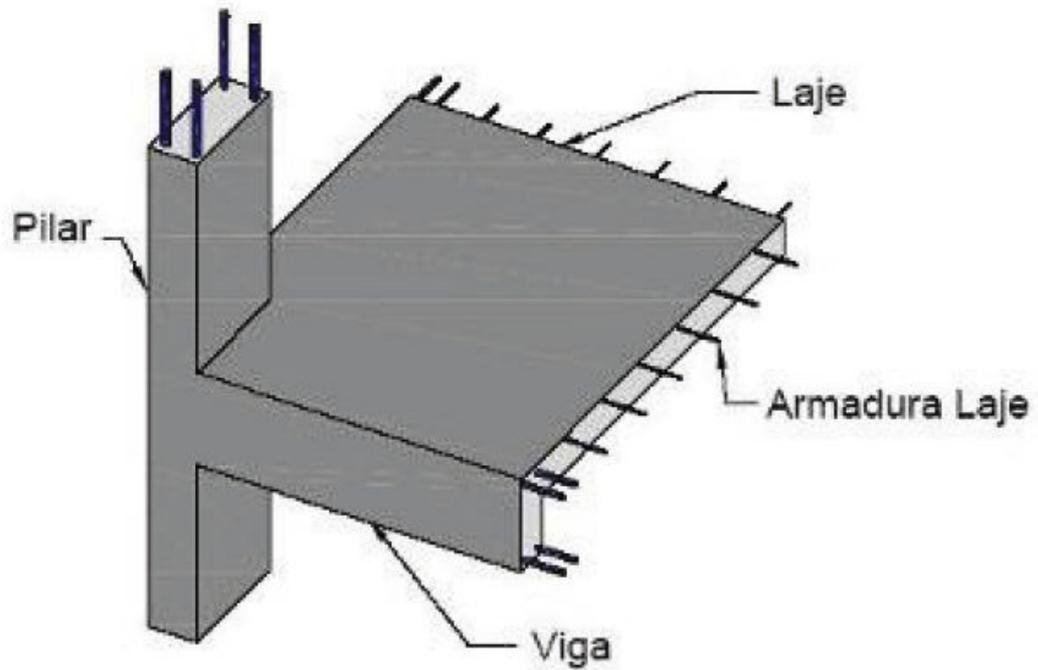
Segundo Bianco (1999), o concreto armado é definido como sendo o material de construção composto pela associação de concreto com barras de aço, as quais quando calculadas por um engenheiro ou arquiteto, permitem a obtenção de estruturas aptas a resistir a variadas sobrecargas. Essas barras, as quais constituem a armadura, são posicionadas dentro da fôrma, antes do lançamento do concreto plástico que irá envolvê-las e, após o seu endurecimento, dará origem a um elemento de concreto armado (ANDOLFATO, 2002, p. 1).

Dessa forma, as lajes de concreto armado podem ser classificadas tanto quanto ao seu padrão de acabamento (convencional, nivelada e acabada), como quanto ao seu grau de industrialização (tradicional e racionalizada) (SOUZA; MELHADO, 1996, p. 3-5):

- a) **convencionais:** são aquelas em que não existe um controle efetivo do seu nivelamento e rugosidade superficial durante a execução, sendo que para melhorar esse problema há a necessidade da utilização de uma camada de contrapiso;
- b) **niveladas:** existe, no momento da execução das lajes, um controle do seu nivelamento (tolerância especificada), permitindo, dessa forma, o recebimento de uma camada mínima de contrapiso;
- c) **acabadas:** devem fornecer uma superfície plana, nivelada e com rugosidade superficial adequada que possibilite a fixação do revestimento, dispensando o contrapiso;
- d) **tradicionalis:** devido à falta de planejamento prévio, a utilização desse tipo de laje, gera desperdício de material e mão de obra, além da baixa produtividade;
- e) **racionalizadas:** nesse caso ocorre a padronização dos procedimentos, uma vez que há um planejamento prévio. Esse tipo de laje possibilita uma maior precisão dimensional e qualidade de acabamento, evitando o desperdício de materiais.

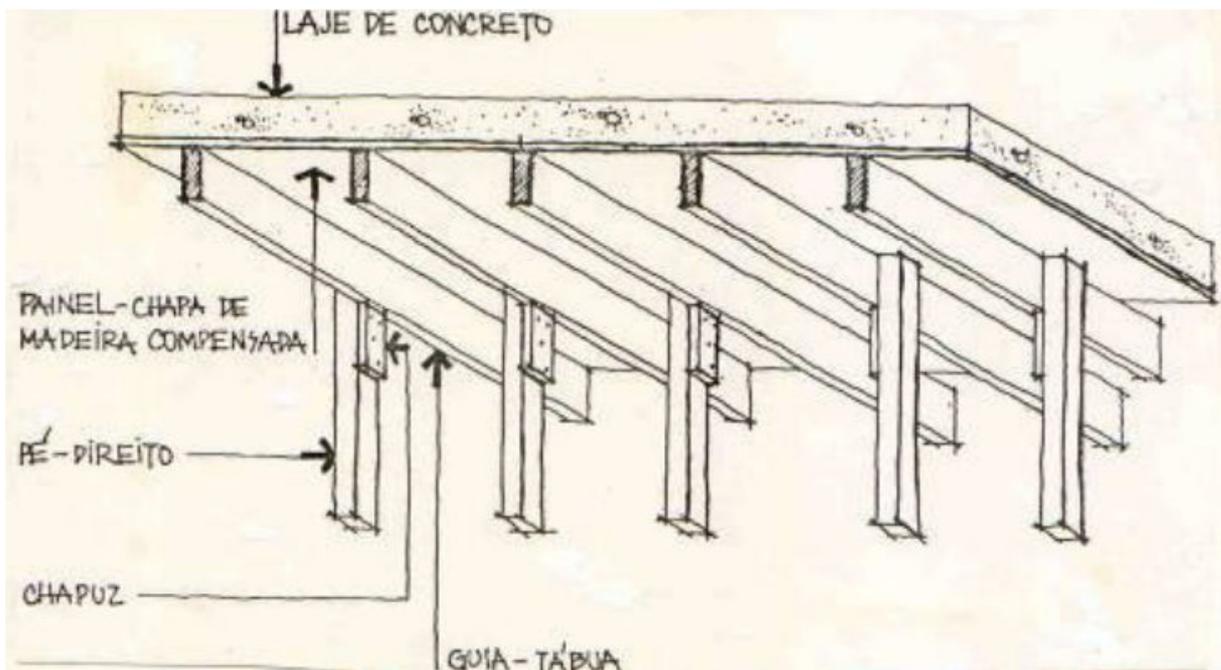
Barros e Melhado (2006, p. 20) mencionam que as estruturas de edifícios executados em concreto armado comumente recebem a denominação de estruturas convencionais ou tradicionais (figura 3), as quais são constituídas por pilares, vigas e lajes produzidas com concreto armado moldado no local (laje-viga-pilar), conforme ilustrado na figura 4.

Figura 3 – Representação esquemática de uma estrutura de laje de concreto armado



(fonte: SPOHR, 2008, p. 31)

Figura 4 – Representação esquemática da execução da estrutura de concreto armado



(fonte: BARROS; MELHADO, 2006, p. 37)

A espessura da laje maciça interfere diretamente no custo da mesma, devido ao fato de alterar consideravelmente o volume de concreto, e, conseqüentemente, o seu peso próprio. Sendo assim, pode-se dizer que as lajes com espessura pequena (esbeltas) são mais econômicas, porém, por outro lado, podem sofrer deformações acentuadas e problemas patológicos, causando desconforto para os usuários e, ainda, proporcionar pouco isolamento acústico (VERÍSSIMO et al., 2008, p. 4.5). Cabe ainda ressaltar que a espessura econômica para lajes está associada ao tamanho dos vãos, sendo que segundo Spohr (2008, p. 31), a laje maciça convencional não é adequada para vencer grandes vãos (acima de 10m).

Devido a isso, de acordo com Verissimo et al. (2008, p. 4.5), alguns limites mínimos para a espessura devem ser respeitados quando se trata de lajes maciças (quadro 3). Sendo assim, projetar lajes maciças convencionais com dimensões superiores a 6,0 m (na menor dimensão) são menos econômicas pelo fato de necessitarem de um aumento considerável da espessura para não comprometerem a estrutura.

Quadro 3 – Dimensões mínimas para lajes maciças

Tipo de laje	Espessura mínima
de cobertura	$h = 5,0$ cm
de piso	$h = 7,0$ cm
em balanço	$h = 7,0$ cm
de garagem	$h = 12,0$ cm

(fonte: adaptado de VERÍSSIMO et al., 2008, p. 4.5)

3.4.2 Aspectos de Produção

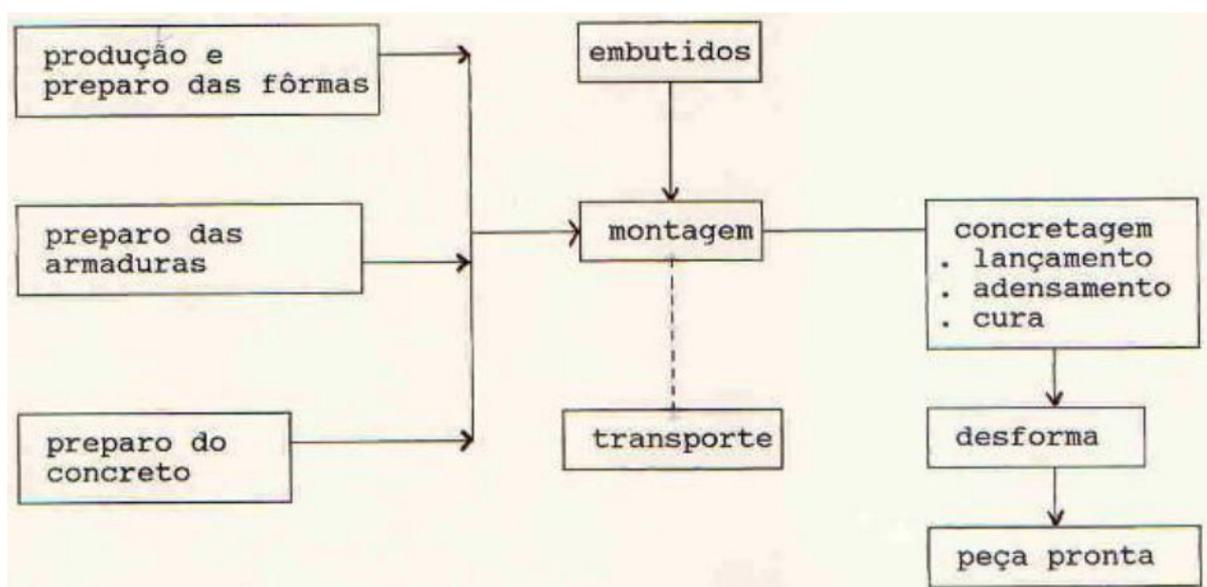
Barros e Melhado (2006, p. 72) citam os seguintes passos para a produção da estrutura:

- a) recebimento do sistema de fôrmas;
- b) montagem das fôrmas e armaduras dos pilares;
- c) recebimento das fôrmas e armaduras dos pilares;
- d) liberação dos pilares;

- e) montagem das fôrmas de vigas e lajes;
- f) liberação das fôrmas de vigas e lajes;
- g) concretagem dos pilares;
- h) montagem da armadura de vigas e lajes;
- i) liberação da armadura de vigas e lajes;
- j) concretagem de vigas e lajes;
- k) desfôrma [...].

A figura 5 ilustra o processo básico de produção de uma laje em concreto armado com um diagrama.

Figura 5 – Representação esquemática da produção de lajes em concreto armado



(fonte: BARROS; MELHADO, 2006, p. 20)

Segundo NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 3, 10), as fôrmas são estruturas provisórias que possuem algumas funções, tais como, moldar e suportar o concreto fresco até que ele atinja a resistência de projeto. Moliterno⁶ (1989 apud ALLGAYER, 2010, p. 20) menciona que o principal material utilizado na produção das fôrmas da obra (confeção de travessões, painéis e acessórios de travamento), no sistema

⁶ MOLITERNO, A. **Escoramentos, Cimbramentos, Fôrmas para concreto armado e travessias em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

construtivo de lajes maciças de concreto armado moldadas *in loco*, é a madeira (*pinus elliottii* e eucalipto). Nesse caso, de acordo com Bianco (1999), do ponto de vista econômico e ecológico, é interessante analisar o reaproveitamento das fôrmas, buscando o máximo de reutilizações das mesmas sem, no entanto, comprometer a qualidade final da estrutura.

De acordo com Veríssimo et al. (2008, p. 4.9), “Os desenhos de fôrmas devem permitir um perfeito conhecimento da forma e dimensões de todos os elementos da estrutura. Envolve plantas, cortes, elevações e detalhes dos elementos estruturais.”. Devido a isso, Barros e Melhado (2006, p. 24-25) mencionam que as fôrmas para estruturas de concreto armado devem apresentar as seguintes características:

- a) resistência mecânica para tolerar os esforços do próprio peso acrescidos do peso do concreto e do aço, além do tráfego de pessoas e equipamentos;
- b) rigidez para que não ocorra deformação frente aos esforços citados acima;
- c) deve proporcionar segurança tanto para o sistema de fôrmas, quanto para os trabalhadores envolvidos na sua produção e montagem;
- d) apresentar estanqueidade, geometria, estabilidade dimensional e textura superficial de acordo com o projeto a ser executado;
- e) facilidade na montagem e na desmontagem permitindo as várias reutilizações sem acarretar danos ao concreto;
- f) permitir o ideal posicionamento da armadura.

Uma das etapas importantes, relacionadas ao sistema de fôrmas de lajes, é o escoramento, o qual, segundo Allgayer (2010, p. 20), “[...] é responsável pela transmissão dos esforços do sistema de fôrmas para outros pavimentos.”. Este, por sua vez, deve ser resistente a fim de impedir a deformação da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 6). A outra etapa a ser citada, é a utilização de desmoldantes que facilitam a retirada das fôrmas após a concretagem, resultando em um concreto com uma superfície menos rugosa (ALLGAYER, 2010, p. 20).

Após este processo, a laje é, então, encaminhada para a colocação de esperas, para eventuais passagens de tubulações de instalação elétrica, hidráulica e de esgoto, além de tubulações embutidas e armaduras, as quais são responsáveis por absorver os esforços de tração. Por fim, a laje passa pelo processo de concretagem (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura), seguido da desfôrma e do reescoramento, encerrando o processo de execução da laje maciça de concreto armado moldada *in loco* (ALLGAYER, 2010, p. 20-23). Segundo a NBR

14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 6), nessa etapa final, “A retirada de fôrmas e escoramentos deve ser executada de modo a respeitar o comportamento da estrutura em serviço.”.

Além do cuidado em todo o processo de produção da laje maciça de concreto armado, é necessário avaliar, também a qualidade do concreto, o qual, de acordo com Neville⁷ (1997, apud ALLGAYER, 2010, p. 22), deve apresentar fluidez que é caracterizada pela “[...] habilidade do concreto em mover-se entre obstáculos [...]” e coesão que “[...] representa a resistência do concreto em segregar-se ou sofrer exsudação.”.

Segundo Andolfato (2002, p. 2-3) e Boaventura (2009, p. 18-19), o concreto armado possui papel fundamental na construção civil, devido principalmente às seguintes vantagens:

- a) facilidade e grande disponibilidade de aquisição dos materiais que o compõem (água, cimento e agregados);
- b) boa durabilidade;
- c) materiais com custo relativamente baixo;
- d) facilidade de adaptação às formas construtivas;
- e) não necessita de mão de obra qualificada;
- f) facilidade de execução, não necessitando de tecnologia avançada para a produção e construção;
- g) elevada resistência a diversas ações, tais como, choque e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos;
- h) apresenta um baixo custo de manutenção para as estruturas.

Como vantagens das lajes maciças de concreto armado podem-se citar (ALBUQUERQUE, 1999, p. 21, 23; SPOHR, 2008, p. 31):

- a) a grande quantidade de vigas oferece à estrutura boa rigidez frente ao contraventamento;
- b) por ser um sistema muito utilizado, a mão de obra já é bastante treinada.

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 Albuquerque (1999, p. 21), Boaventura (2009, p. 19) e Spohr (2008, p. 31), dentre as desvantagens das lajes maciças de concreto armado estão:

⁷ NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

- a) limitação quanto a sua utilização devido ao peso próprio muito elevado, podendo acarretar na elevação do seu custo;
- b) necessita da utilização de fôrmas e de escoramento, os quais só devem ser retirados após o concreto alcançar a resistência esperada;
- c) alto consumo de madeira (fôrmas e escoramento), concreto (devido ao consumo das lajes) e aço;
- d) a laje maciça convencional não tem capacidade para grandes vãos;
- e) devido à grande quantidade de vigas, o pavimento se torna muito recortado, diminuindo, dessa forma, o aproveitamento das fôrmas.

3.4.3 Transporte

Segundo Barros e Melhado (2006, p. 84-85), “Uma vez liberado, o concreto deverá ser transportado para o pavimento em que está ocorrendo a concretagem, o que poderá ser realizado por elevadores de obra e jericas, guias com caçambas, ou bombeamento.”. Neste caso, quando o concreto for transportado por meio da bomba, recomenda-se lançar o mesmo diretamente sobre a laje e espalhar com auxílio de pás e enxadas.

3.4.4 Reprojeto da Laje

O reprojeto constitui-se de atividades destinadas à realização das correções e ajustes das especificações estabelecidas no detalhamento do projeto executivo do piso, os quais se desenvolverão durante a obra, ou seja, Souza e Melhado (1998) mencionam que “O reprojeto refere-se à avaliação comparativa dos parâmetros adotados em projeto com aqueles efetivamente obtidos, e à redefinição desse projeto, quando necessária, considerando as reais condições de execução da obra.”.

Deseja-se que o detalhamento do revestimento de piso possa ser mantido ao máximo; porém, considerando-se as características atuais do processo de produção de edifícios, acredita-se que possam ser necessárias correções do desnivelamento em alguns ambientes de algumas lajes, prevendo-se então para isso, reparos a serem realizados no concreto (SOUZA; MELHADO, 1998).

3.5 LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS

No atual mercado da construção civil existe uma ampla variedade de sistemas de lajes disponíveis, com características que atendem de acordo com a relação sobrecarga/vão, porém, o sistema de lajes alveolares tem obtido maior destaque na indústria de concreto pré-fabricado. Estas são frequentemente utilizadas numa variedade de projetos em todo o mundo pelo fato de serem eficientes componentes para pavimentos, oferecendo uma solução versátil e, ao mesmo tempo econômica, que pode ser utilizada em diversos tipos de edificações (PETRUCELLI, 2009, p. 1, 19). De acordo com Costa (2009, p. 2), “As lajes alveolares pré-moldadas protendidas surgiram da necessidade de se reduzir o peso próprio do elemento e, dessa forma, reduzir o custo de fabricação e o preço de venda, permitindo seu uso em grandes vãos.”.

Dessa forma, as lajes alveolares protendidas pré-fabricadas são utilizadas em diferentes tipos de construção pelo fato de serem consideradas soluções estruturais que se destacam no sistema de pisos. Porém ainda não existe Brasil uma normalização específica que oriente a padronização de projeto ou mesmo que estabeleça os critérios necessários de desempenho para a realização de ensaios de controle de qualidade, visando à certificação desses produtos (COSTA, 2009, p. 1-2).

Segundo Melo⁸ (2004 apud MIGLIORE, 2008, p. 34), existem no mercado da construção civil basicamente dois tipos de lajes alveolares: a extrudada e a moldada, as quais serão posteriormente apresentadas.

As lajes pré-fabricadas apresentam mais vantagens diante de várias situações quando comparadas às estruturas moldadas *in loco*, tanto no projeto quanto no custo, o que as torna comumente empregadas tanto em edificações comerciais quanto residenciais (PETRUCELLI, 2009, p. 19). Segundo Cassol Pré-Fabricados (2006), Petrucelli (2009, p. 20) e Villar (2002, p. 1), uma série de vantagens técnicas podem ser citadas, tais como:

- a) processo altamente automatizado e mecanizado;
- b) rígido controle de qualidade em fábrica (sistema industrializado);
- c) processo simplificado e rápido, possibilitando assim, economia no tempo, mão de obra e material;

⁸ MELO, C. E. E. **Manual Munte de projeto em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Pini, 2004.

- d) dispensa escoramentos e fôrmas na construção, além de utilizar menos concreto, contribuindo para a responsabilidade ambiental;
- e) mão de obra reduzida devido à racionalização do trabalho (indústria);
- f) boa produtividade com baixo custo de produção;
- g) os vazios longitudinais presentes na laje facilitam as instalações elétricas e hidráulicas;
- h) maior limpeza e organização na produção;
- i) proporcionam conforto, devido ao bom isolamento térmico e acústico (rigidez do concreto associada aos vazios do interior das peças);
- j) versatilidade do *layout*;
- k) possibilita a aplicação em grandes vãos;
- l) reduzem a carga sobre as estruturas e fundações, porém apresentam capacidade de carga superior à das lajes convencionais de concreto armado;
- m) dispensa estocagem de material;
- n) maior durabilidade (possibilita produção em larga escala);
- o) diminuição do seu peso devido à presença dos alvéolos;
- p) capacidade de minimizar o surgimento de fissuras e flechas.

O controle da fissuração é importante para vários aspectos, dentre eles, a segurança da estrutura, as condições de funcionalidade, estética, desempenho, durabilidade e impermeabilidade (SILVA, 2003, p. 80). Esse tipo de problema nos elementos estruturais de concreto é causado, entre outros fatores, pela sua baixa resistência à tração, a qual pode ser diminuída ou anulada com a protensão (PFEIL, 1988, p. 2).

Por outro lado, as lajes alveolares também apresentam algumas desvantagens, tais como (PETRUCCELLI, 2009, p. 20; VILLAR, 2002, p. 2):

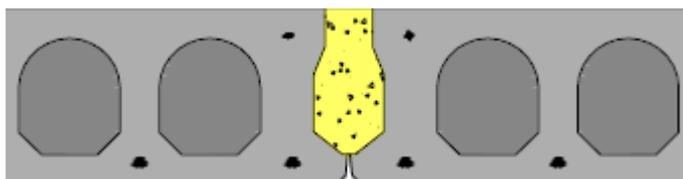
- a) dificuldade em realizar alguns projetos (largura padrão, recortes);
- b) resistência à flexão transversal limitada devido à ausência de armadura nesse sentido;
- c) necessita de equipamentos de produção e manuseamento, tais como, guinchos e guias;
- d) pelo fato de precisar de uma área para descarga dos painéis, o canteiro deve apresentar um espaço para tal procedimento;
- e) requer cuidado especial quando o transporte é realizado através da grua.

Nos tópicos subsequentes serão detalhadas as lajes alveolares protendidas pré-fabricadas de acordo com sua geometria, seus aspectos de produção, além do transporte utilizado para sua montagem.

3.5.1 Geometria

Na laje alveolar ocorre a união de duas placas, na qual apenas as faces inferiores entram em contato (figura 6), resultando no surgimento de um chanfro entre as peças, o qual necessita de um acabamento da face inferior. As faces superiores das placas, por sua vez, ficam afastadas entre si, permitindo a passagem do concreto para uma melhor transferência de tensões (TATU PRÉ-MOLDADOS, 2008, p. 5).

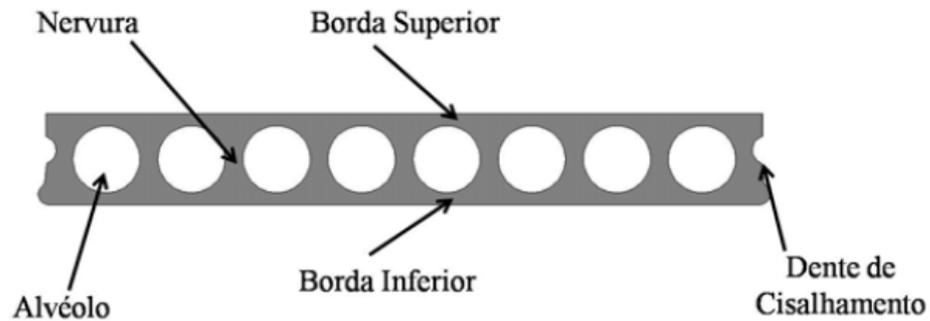
Figura 6 – Junção entre as placas – alvéolos preenchidos com isopor



(fonte: TATU PRÉ-MOLDADOS, 2008, p. 5)

Bastos (2005, p. 43) define as lajes alveolares protendidas pré-fabricadas como sendo um conjunto de painéis protendidos pré-fabricados, que possuem alvéolos e são montadas por justaposição lateral. Dessa forma, segundo Tatu Pré-Moldados (2008, p. 1), esse tipo de laje possui uma “[...] seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça.”. Além disso, a protensão possibilita a capacidade de cobrir grandes vãos (PETRUCCELLI, 2009, p. 1, 19). A figura 7 representa uma seção transversal de uma laje alveolar com vazios longitudinais.

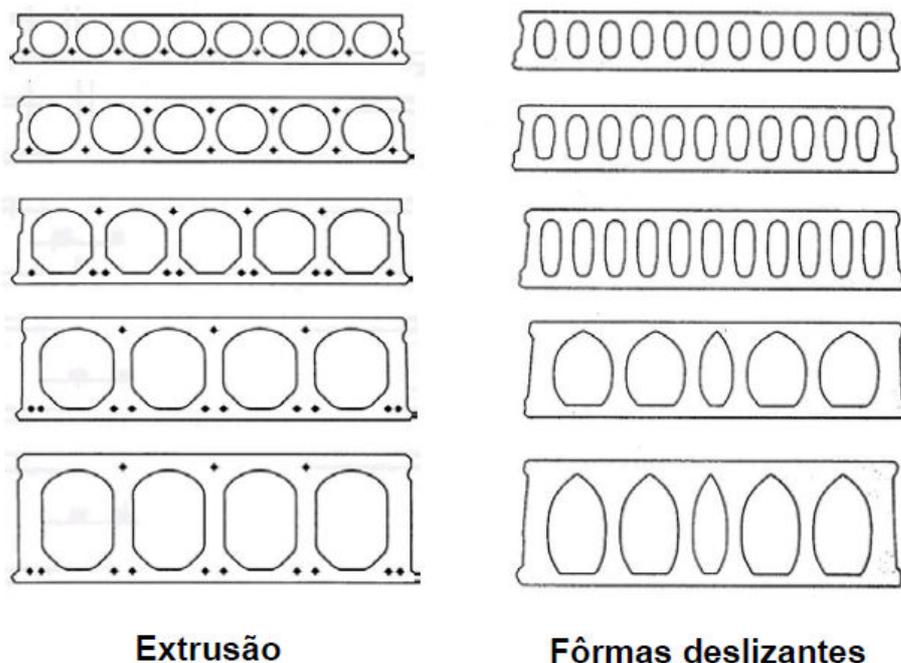
Figura 7 – Seção transversal de uma laje alveolar



(fonte: COSTA, 2009, p. 2)

De acordo com Petrucelli (2009, p. 19), “Os esforços são suportados pela armação em aço protendido no sentido longitudinal e pela resistência à tração do concreto no sentido transversal, já que não há armadura nessa direção.”. Ainda, segundo Costa (2009, p. 5) existem diversos tipos de seções transversais de lajes alveolares (figura 8), sendo que os mesmos se diferem de acordo com a altura, a largura, a quantidade de cordoalhas e o formato dos alvéolos (definido de acordo com a máquina utilizada).

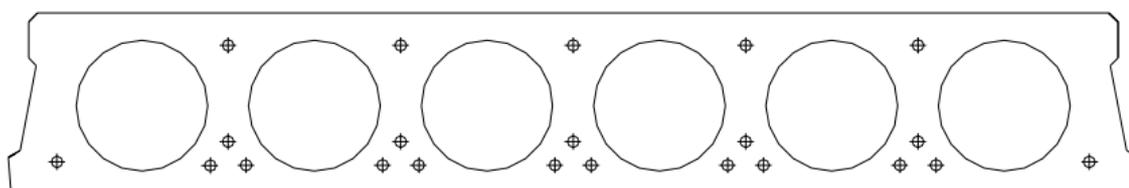
Figura 8 – Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar



(fonte: COSTA, 2009, p. 5)

As lajes alveolares protendidas produzidas por extrusoras formam um bloco único. Isso ocorre devido à movimentação causada pela alta compactação do sistema de extrusão (BRUMATTI, 2008, p. 30). Nesse caso, as lajes apresentam contra-flechas, as quais resultam dos esforços de protensão a que são submetidas (TATU PRÉ-MOLDADOS, 2008, p. 5). A figura 9 mostra uma seção genérica de uma laje alveolar produzida por máquina extrusora, com as possíveis posições das cordoalhas de protensão.

Figura 9 – Seção genérica de uma laje alveolar produzida por máquina extrusora

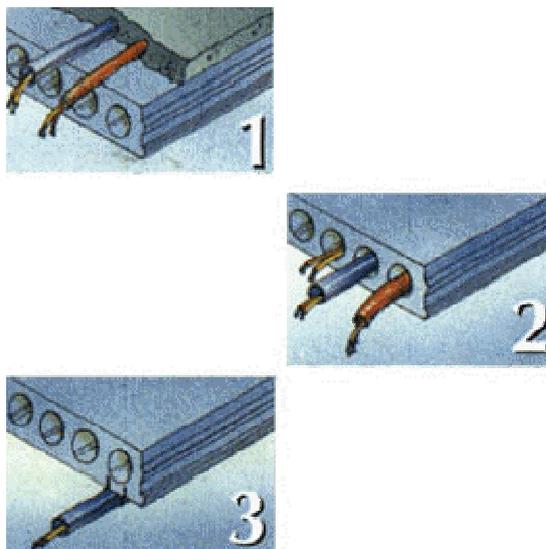


(fonte: PETRUCELLI, 2009, p. 19)

As lajes alveolares protendidas pré-fabricadas têm origem alemã e apresentam grande versatilidade, podendo, dessa forma, ser aplicadas em qualquer tipo de sistema construtivo. Além disso, elas ”[...] representam um dos mais populares elementos pré-fabricados no mundo, em especial na América do Norte e na Europa Ocidental [...]” (EL DEBS, 2000, p. 384).

Pelo fato de possibilitar a execução de furos, as lajes alveolares permitem a passagem das instalações hidráulicas e elétricas, por dentro dos alvéolos, sem que haja o comprometimento da estrutura (figura 10). O tamanho dos alvéolos difere de acordo com a espessura e a geometria dos painéis, ou seja, quanto menor for a espessura da laje, maior será a quantidade de alvéolos e, conseqüentemente, menor será o seu diâmetro (PETRUCELLI, 2009, p. 32).

Figura 10 – Formas de passagem de dutos e tubulações – (1) sobre painéis (embutido); (2) dentro de alvéolos; (3) sob os painéis (aparente)



(fonte: VILLAR, 2002, p. 5)

3.5.2 Aspectos de Produção

Segundo Petrucelli (2009, p. 20), “O sistema de produção de lajes alveolares pré-fabricadas pode ser definido como um processo linear, em que o produto é fabricado de forma contínua [...]”, sendo que o ciclo de produção termina na estocagem das lajes em fábrica, que posteriormente são transportadas para a obra.

Conforme já mencionado anteriormente, de acordo com El Debs (2000, p. 385), “[...] as lajes alveolares são produzidas em fôrmas fixas (moldada) ou executadas por fôrma deslizante (extrudada) em longas pistas de concretagem, e com utilização de concreto protendido.”. Cabe salientar que nesse caso, as lajes extrudadas, apresentam um fator água-cimento muito baixo como característica do concreto, resultando numa qualidade final melhor, a qual garante maior resistência à compressão e menor porosidade do concreto (MELO⁹, 2004 apud MIGLIORE, 2008, p. 34).

A montagem é realizada com o auxílio de guindastes, uma vez que as lajes são transportadas, através de içamento, prontas até a obra, local este onde serão montadas de acordo com o projeto. Após finalizar a montagem, as lajes são equalizadas com o uso do sistema de

⁹ MELO, C. E. E. **Manual Munte de projeto em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Pini, 2004.

torniquetes (LAMPERT, 2008, p. 9, 32-33). Este processo caracteriza-se por ser muito simples e rápido, porém, por outro lado, necessita de uma atenção especial durante o encaixe das lajes, principalmente quando houver recorte de pilares (PETRUCELLI, 2009, p. 35-36).

Segundo Oliveira (2002, p. 88), para viabilizar a montagem das peças nos prazos estabelecidos, alguns aspectos devem ser analisados, tais como:

- a) a acessibilidade da carreta no canteiro;
- b) a capacidade da grua de içar o painel do local onde estará estacionada a carreta;
- c) o número de carretas que o canteiro tem condições de receber é compatível com a quantidade de painéis necessários ao cumprimento da produtividade diária.

O processo é altamente automatizado e mecanizado, permitindo um controle de qualidade mais rigoroso em fábrica. Devido a isso, há um grande controle em todos os aspectos, dentre os quais, pode-se citar (PETRUCELLI, 2009, p. 19-20):

- a) fornecimento de materiais controlados com ensaios, como agregados graúdos e miúdos, aditivos e aços utilizados;
- b) validação dos materiais: análises periódicas de resistência e módulo de deformação do concreto;
- c) validação da peça: ensaios dos elementos em laboratórios usando equipamentos específicos para verificação do seu comportamento à flexão, cisalhamento e deformações;
- d) uso de equipamentos mecanizados que garantem a produção com qualidade, tais como macacos de protensão, medidores de pressão e de deformação, central de dosagem e mistura do concreto, equipamentos de produção de corte e içamentos, etc.;
- e) locais adequados para execução e estoques - pistas de protensão niveladas, com formas metálicas, pátios para estocagem adequada das peças;
- f) mão de obra específica e treinada: operários especializados, que só fazem a mesma função, e familiarizados com os procedimentos;
- g) procedimentos normalizados: todos os procedimentos são devidamente identificados, listados e acompanhados.

Apesar do custo inicial dos sistemas que utilizam lajes pré-fabricadas ser maior, os mesmos podem proporcionar uma economia significativa no custo final da obra, com um retorno mais rápido de investimento, além de tornar a mesma mais prática, ágil e limpa (EL DEBS, 2000).

3.5.3 Transporte Vertical e Horizontal

Há uma variedade de equipamentos disponíveis no mercado para montar as lajes pré-fabricadas na estrutura, sendo que estes devem ser escolhidos na etapa de elaboração do projeto e dependem da obra na qual serão utilizados. A escolha correta irá interferir na produtividade da montagem, assim como no custo da produção (OLIVEIRA, 2002, p. 106-108, 110).

Dessa forma, dentre os equipamentos de transporte vertical mais utilizados, pode-se citar os guindastes móveis, os quais, segundo Lichtenstein¹⁰ (1987, apud OLIVEIRA, 2002, p. 106), “[...] são formados por uma lança treliçada ou telescópica, uma cabina e um chassi montado sobre esteiras, sobre pneus ou sobre rodas de aço para circulação em trilhos.” e os guindastes de torre, conhecidos como guias.

A localização do guindaste móvel é mais flexível, porém deve ser previamente definida. Por outro lado, a localização da grua é praticamente fixa, devendo, dessa forma, ser cuidadosamente analisada, a fim de aperfeiçoar ao máximo sua utilização. Por essa razão, alguns fatores devem ser considerados para a análise da localização da grua, tais como: o comprimento da lança, o ponto mais distante de içamento (carregamento) e o de descarregamento, além da capacidade da grua, a qual depende do seu modelo (OLIVEIRA, 2002, p. 90, 113). Além disso, segundo a NR 18 (BRASIL, 2011, p. 20), deve-se tomar cuidado, também, com a rede elétrica durante a localização, montagem e operação dos equipamentos de transporte vertical, a fim de evitar acidentes que possam afetar a segurança e a produtividade da montagem.

Dessa forma, além de conhecer a tabela e o gráfico de cargas, em que exista indicação de raio de operação (distância horizontal entre o eixo de rotação do equipamento e a linha de posicionamento da carga), comprimento da lança, capacidade máxima de carga e custo diário do equipamento, algumas recomendações são mencionadas para o bom andamento das operações (OLIVEIRA, 2002, p. 92, 108; BRITISH STANDARD INSTITUTION¹¹, 2000

¹⁰ LICHTENSTEIN, N. B. **Formulação de modelo para o dimensionamento do sistema de transporte em canteiro de obras de edifícios de múltiplos andares**. 1987. 268 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

¹¹ BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 8297**: design and installation of non-loadbearing precast cladding. London, 2000.

apud OLIVEIRA, 2002, p. 92; PRECAST CONCRETE INSTITUTE¹², 1985 apud OLIVEIRA, 2002, p. 92):

- a) o equipamento de içamento deve ser testado e ter sua capacidade definida, a qual também depende do posicionamento das esteiras (retraídas ou estendidas), do uso ou não de patolas (no caso de guindaste sobre rodas), tipo de contrapeso e comprimento da lança;
- b) deve-se respeitar a posição particular de içamento de cada peça, determinando suas especificações tanto nas instruções de montagem quanto com marcas nas próprias peças;
- c) os dispositivos de içamento além de serem padronizados, devem se localizar em posições que, após a montagem, não prejudiquem a estética do painel.

Outro fator que deve ser avaliado é relativo ao tipo de terreno no qual o equipamento estará apoiado. Sendo assim, os guindastes sobre esteiras podem utilizar estrados de madeira ou, quando necessário, madeiras resistentes em toda a superfície da operação a fim de evitar a possibilidade de afundamento e, os guindastes sobre pneus, por sua vez, quando patolados, utilizam pranchas de madeira sob as sapatas, as quais devem estar dispostas umas nas outras para aumentar a área de contato com o solo (OLIVEIRA, 2002, p. 108-109).

Neste caso, segundo Oliveira (2002, p. 100), o guindaste móvel pode ser uma opção “[...] se o canteiro de obras apresentar espaço suficiente para circulação e movimentação, tanto do guindaste como de sua lança, acesso para entrada e patolamento dos mesmos, terreno firme e compactado [...]”. Porém, além dessa análise técnica, deve-se avaliar a viabilidade econômica para o empreendimento.

¹²PRECAST CONCRETE INSTITUTE. **Design handbook**. Chicago, 1972.

4 PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO HORIZONTAL

Neste capítulo são apresentadas as características observadas nos processos de execução de lajes maciças de concreto armado moldadas *in loco* e de alveolares protendidas pré-fabricadas.

4.1 PROCESSO PARA EXECUÇÃO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO*

Os próximos itens abordam os processos relacionados à execução de laje maciça de concreto armado moldada *in loco*. São apresentadas a obra, as condições iniciais de trabalho e os procedimentos para a execução dos pilares, vigas e laje, pois neste sistema construtivo, a execução destes elementos são necessariamente integrados.

4.1.1 Apresentação da obra

A obra estudada é um edifício, localizado na cidade de Porto Alegre, que está sendo construído pela EGL Engenharia SA desde dezembro de 2010. O prédio possui 17 pavimentos, sendo 1 sub-solo, 1 pavimento térreo e 15 pavimentos-tipo. Há 2 apartamentos por andar, totalizando uma área de aproximadamente 224 m²/pavimento. Nesta obra foi acompanhada a execução de uma laje maciça de concreto armado moldada *in loco*, sem acabamento superficial, prevendo a execução de contrapiso. O acompanhamento da obra compreendeu a execução de duas lajes, porém neste item é feita a descrição da execução de apenas uma. Além disso, a etapa da execução das escadas não foi descrita.

4.1.2 Documentos

Antes dos trabalhos, fez-se necessário uma fase de verificação das condições para execução, podendo-se identificar uma série de pré-requisitos que devem estar de acordo, tais como:

- a) projetos disponibilizados,
 - estrutural;
 - hidrossanitário;
 - elétrico;
 - de escoramento;
- b) equipamentos,
 - barra de ancoragem (agulhas metálicas);
 - colher de pedreiro;
 - desempenadeira;
 - dispositivo elevatório;
 - enxada;
 - equipamentos de proteção individual;
 - escoras metálicas;
 - furadeira serra copo;
 - gravatas metálicas;
 - mangueira de nível;
 - martelo;
 - nível à laser;
 - pá;
 - prumo;
 - régua metálica;
 - serra elétrica;
 - torquês;
 - trena;
 - vibrador elétrico.

4.1.3 Recebimento e armazenamento dos materiais

O início do processo, em obra, envolveu o recebimento e a armazenamento dos materiais utilizados (barras de aço, madeira, escoras metálicas), conforme *layout* pré-definido pela gerência da obra (figura 11). Esse croqui contemplava os locais destinados à armazenagem, transporte horizontal e vertical dos materiais.

Figura 11 – *Layout* da obra estudada

(fonte: foto do autor)

As barras de aço para a confecção das armaduras de lajes, pilares e vigas já vinham cortadas, dobradas e identificadas, eliminando assim, a etapa de corte e dobra, tornando o processo mais ágil.

4.1.4 Montagem das armaduras de pilares e vigas

Como local da montagem das armaduras de vigas e pilares, foi especificada uma área no andar térreo do empreendimento, próximo ao local de armazenamento das barras de aço. Para a montagem das armaduras, foram utilizados cavaletes de aço, posicionando as barras sobre eles. Estas armaduras foram sendo montadas com estribos presos às barras de aço com arame recozido, de acordo com o projeto estrutural (figura 12). Finalizada sua montagem, estas foram devidamente identificadas (figura 13) – para facilitar a locação e montagem dos elementos estruturais quando fossem requisitadas – e encaminhadas ao local de armazenamento (figura 14).

Figura 12 – Montagem das armaduras de pilares e vigas



(fonte: foto do autor)

Figura 13 – Identificação das armaduras



(fonte: foto do autor)

Figura 14 – Local de armazenamento das armaduras



(fonte: foto do autor)

As armaduras, quando solicitadas, eram transportadas horizontalmente por operários até a área de içamento, de onde eram transportadas verticalmente pelo dispositivo elevatório, as quais eram cuidadosamente fixadas com cabos de aço, sendo recebidas pelos operários que estavam no pavimento em construção.

4.1.5 Montagem das fôrmas

Para a execução da laje, houve primeiramente a necessidade de confeccionar os painéis das fôrmas, utilizando compensados plastificados, por apresentarem uma maior resistência a intempéries. Cabe salientar que as fôrmas eram confeccionadas somente uma vez, sendo reaproveitada em todos os pavimentos, fazendo retoques quando necessário. Seu local de armazenamento e montagem foi especialmente escolhido por possibilitar que a madeira ficasse depositada em locais planos, ao abrigo de intempéries e afastada do contato direto com o solo (figura 15).

Após a entrega das madeiras em obra, os carpinteiros iniciaram a etapa de preparo das fôrmas de lajes, pilares e vigas. O corte e a estrutura dos painéis foram executados conforme o projeto estrutural, com a utilização de serras elétricas, tomando cuidado para que as superfícies de corte ficassem planas e lisas.

Figura 15 – Fabricação e armazenamento das fôrmas



(fonte: foto do autor)

Assim como as armaduras, os painéis foram identificados conforme projeto estrutural, visando facilitar a montagem dos elementos estruturais e, quando requisitadas eram transportadas manualmente de um pavimento para outro.

4.1.6 Marcação dos pilares

Na etapa de marcação dos pilares, a tarefa inicial foi o transporte dos eixos, onde inicialmente foi conferida a prumada dos pilares das extremidades com relação aos do pavimento térreo. Com posse do projeto estrutural e uso da trena, locaram-se os ganchos dos pilares pregando-os na laje concretada (figura 16), sempre com a supervisão do engenheiro, pois esta etapa é considerada crucial para o bom andamento da obra. Esse procedimento foi executado no dia seguinte à concretagem da laje.

Figura 16 – Locação dos galstalos dos pilares



(fonte: foto do autor)

4.1.7 Montagem dos pilares

Em seguida, para a montagem dos pilares, sua armadura foi transportada pelo dispositivo elevatório (figura 17) e colocada nas esperas, (figura 18) sendo amarrada com arame recozido.

Figura 17 – Recebimento das armaduras



(fonte: foto do autor)

Figura 18 – Colocação das armaduras dos pilares nas esperas



(fonte: foto do autor)

Após a fixação da armadura nas esperas, concluiu-se a montagem dos pilares, fazendo-se a conferência do prumo, o travamento e o fechamento das fôrmas com gravatas, espaçadas de 50 em 50 cm, e agulhas metálicas. Estas agulhas foram colocadas com o auxílio do martelo, atravessando o painel lateral, sendo travadas por meio de uma porca. Para o travamento do pilar, foi instalado o apurador de pilar fixados com pregos de aço (figura 19).

Figura 19 – Montagem dos pilares finalizada



(fonte: foto do autor)

4.1.8 Montagem das fôrmas das vigas

Iniciou-se o posicionamento dos fundos da viga apoiado sob os pilares, e sua pregação nas cabeças das escoras metálicas, onde foi colocado um pedaço de madeira. As laterais das vigas também foram pregadas nas cabeças das escoras metálicas, passando antes pelos fundos da viga, para que houvesse uma melhor fixação (figura 20). Após, de acordo com o projeto estrutural e com o uso de uma mangueira de nível, nivelaram-se os fundos das vigas tomando por referencial o ponto de nível da viga em frente ao elevador.

Figura 20 – Montagem das fôrmas das vigas, juntamente com a elevação dos tubos da “linha de vida”



(fonte: foto do autor)

Neste mesmo momento foram elevados os tubos de linha de vida (tubos metálicos ligados entre si com cabos de aço) para ser utilizado no pavimento acima, para que os operários pudessem prender seus cintos de segurança nos cabos de aço, podendo assim trabalhar com maior segurança quando tivessem que desempenhar atividades próximas ao beiral da edificação.

4.1.9 Montagem da laje

Após a montagem e escoramento das vigas deu-se início à montagem das lajes. As mesmas foram montadas posicionando as escoras de acordo com o projeto de escoramento, colocando

madres (colocados na maior dimensão da laje, espaçado 1,2m entre si) e barrotes (menor dimensão da laje, espaçados 0,61m entre si) (figura 21).

Figura 21 – Colocação das madres e barrotes



(fonte: foto do autor)

A próxima atividade foi assoalhar as lajes colocando os painéis de compensado plastificado com espessura de 18 mm (figura 22), pregando-os nos barrotes e nos painéis das vigas. Por motivos de segurança, esta etapa não pôde ser acompanhada de perto.

Figura 22 – Colocação das fôrmas das lajes



(fonte: foto do autor)

Cabe lembrar que, como se tratava de pavimentos-tipo, os painéis de laje dos pavimentos inferiores foram desformados e transportados para o pavimento no qual a fôrma estava sendo executada, para serem reutilizados.

4.1.10 Concretagem dos pilares

Após o assoalhamento da laje, teve início à concretagem dos pilares. O concreto chegou à obra por meio de caminhões betoneira. O transporte vertical foi feito através de uma bomba lança (figura 23). Após a chegada do concreto de cada caminhão, foi conferida a nota fiscal, verificando se o concreto possuía as propriedades desejadas. Se estivesse de acordo, fazia-se o *slump* do concreto.

Antes de iniciar a concretagem dos pilares, suas fôrmas eram previamente molhadas, para que não prejudicasse a resistência do concreto, e à medida que o concreto era lançado diretamente dentro das fôrmas dos pilares, o mesmo era adensado com o uso de um vibrador elétrico.

Um aspecto interessante nesta etapa foi a presença de um operário da concreteira, o qual possuía um dispositivo para a movimentação da lança, e um *walk talk* para se comunicar com o operador da bomba que estava ao lado do caminhão betoneira, em frente à obra.

Figura 23 – Transporte vertical do concreto



(fonte: foto do autor)

4.1.11 Nivelamento da fôrma da laje

Após a concretagem dos pilares, deu-se início ao nivelamento final da laje com o uso de GPS, conferindo-se primeiramente as fôrmas das vigas e após, os painéis da laje.

4.1.12 Colocação das armaduras das vigas

Assim que foi terminado nivelamento da fôrma da laje, iniciou-se o processo de colocação das armaduras das vigas, as quais eram transportadas verticalmente pelo dispositivo elevatório, sendo recebidas pelos operários (figura 24) e inseridas no seu devido lugar.

Figura 24 – Recebimento das armaduras das vigas



(fonte: foto do autor)

4.1.13 Fixação das passagens hidráulicas

Para as passagens hidráulicas, foram fabricadas caixas de madeira, sendo estas pregadas diretamente sobre o painel da laje, nos locais por onde passariam as colunas de tubulações (*shafts*) (figura 25). Foram também colocados e fixados cilindros de PVC e de isopor para as passagens de água quente e fria, ventilação e esgoto cloacal, garantindo assim as passagens hidráulicas (figura 26). Estes materiais foram fixados nas posições estabelecidas no projeto

hidrossanitário diretamente sobre o painel da laje com o uso de pregos e arames por uma equipe especializada, composta por três operários.

Figura 25 – Caixa de madeira fixada na laje (passagem hidráulica)



(fonte: foto do autor)

Figura 26 – Colocação e fixação das passagens hidráulicas



(fonte: foto do autor)

4.1.14 Fixação dos pontos elétricos

Juntamente com a execução das passagens hidráulicas, outra equipe especializada composta por dois eletricitistas, com o projeto elétrico em mãos, marcou e fixou os pontos de iluminação de tetos e caixas de passagens (caixas metálicas) (figura 27), sendo pregadas na fôrma da laje.

Figura 27 – Fixação dos pontos elétricos



(fonte: foto do autor)

4.1.15 Colocação das armaduras positivas

Após a laje estar com as passagens hidráulicas e pontos elétricos instalados, tornou-se possível a colocação das armaduras positivas da laje. Enquanto um ferreiro com posse do projeto estrutural fazia a marcação com giz nos locais onde deveriam ser dispostas as barras, outros iam colocando-as (figura 28), resultando em uma malha de armaduras, onde, nas suas intersecções eram amarradas umas às outras com uso de arame recozido (figura 29).

Figura 28 – Colocação da armadura positiva da laje



(fonte: foto do autor)

Figura 29 – Malha de armaduras



(fonte: foto do autor)

Durante a colocação das armaduras positivas, tudo foi conferido para que não houvesse conflitos com as caixas de instalações elétricas e com as passagens de instalações hidráulicas.

4.1.16 Colocação das instalações elétricas embutidas

Após a colocação das armaduras positivas, foi iniciada a colocação das tubulações elétricas embutidas (figura 30). Nesta obra, foram utilizadas mangueiras flexíveis de cores azul e preto, colocadas diretamente sobre as armaduras positivas e embaixo das armaduras negativas (para que a espessura da laje determinada em projeto fosse atendida), amarradas às armaduras com uso de plástico para que não saíssem de suas posições de projeto. As mangueiras foram colocadas na laje de acordo com o projeto elétrico da edificação, sendo conectadas entre caixas de inspeção e pontos de iluminação de tetos e atravessando as fôrmas de lajes e vigas, ficando visíveis no andar abaixo.

Após as instalações elétricas já realizadas, as caixas dos pontos elétricos foram preenchidas com serragem, a fim de evitar a entrada de concreto na peça (figura 31). As tubulações foram colocadas para permitir que as fiações elétricas fossem inseridas após a concretagem.

Figura 30 – Instalações elétricas embutidas



(fonte: foto do autor)

Figura 31 – Ponto elétrico preenchido com serragem



(fonte: foto do autor)

4.1.17 Colocação das armaduras negativas

A colocação da armadura negativa da laje se deu no dia seguinte após a conclusão da colocação da armadura positiva e das instalações elétricas.

Os mesmos ferreiros que colocaram as armaduras positivas passaram a trabalhar na colocação das armaduras negativas da laje. Para garantir que estas ficassem em sua posição de projeto, as barras foram dobradas nas pontas para servir como espaçador, porém não substituiu o uso de peças adicionais para este fim (figura 32), a fim de evitar que as armaduras negativas saíssem da posição estabelecida no projeto, devido à intensa movimentação de operários sobre estas durante a montagem e concretagem da laje.

Depois de executada a malha da armadura negativa, foram colocados os espaçadores sobre a malha da armadura positiva, para garantir o cobrimento entre a armadura positiva e o assoalho, para que não houvesse sua exposição após a concretagem. Estes espaçadores foram colocados na proporção de quatro por metro quadrado.

Figura 32 – Uso do espaçador para armaduras negativas



(fonte: foto do autor)

4.1.18 Fixação das mestras

Para o estabelecimento da espessura da laje, foram confeccionadas mestras de madeira (figura 33). Estas foram fixadas na fôrma da laje com arame recozido, sendo posicionadas conforme o projeto estrutural, lado a lado, com uma distância de aproximadamente dois metros, formando assim faixas de mesma altura. Como havia diferença de espessura entre as

dependências, foram executadas mestras de 10 e de 12 cm de altura, para que toda a laje ficasse no mesmo nível após a concretagem.

Figura 33 – Fixação das mestras de madeira



(fonte: foto do autor)

4.1.19 Preparação para a concretagem da laje

Após o término da montagem e conferência das armaduras da laje, a fôrma da laje sofreu uma limpeza para remoção de pregos, arames, pedaços de madeira, pó e quaisquer outros resíduos materiais, sendo lavada com o uso de mangueira, deixando-a pronta para a concretagem.

4.1.20 Concretagem da laje

A concretagem iniciou um dia após o término dos itens citados anteriormente, sendo os procedimentos realizados para a concretagem da laje exatamente iguais à concretagem dos pilares.

Antes de iniciar a concretagem propriamente dita, foi definido o sentido geral de concretagem, o qual foi feito a partir dos pontos mais distantes com relação à saída do pessoal – a escada – para que não implicasse no retorno dos operários às áreas cujos serviços já tivessem sido executados (figura 34).

Figura 34 – Sentido geral da concretagem



(fonte: foto do autor)

Antes também, a fôrma da laje foi molhada, para não absorver a água do concreto, prejudicando sua resistência. À medida que foi sendo lançado o concreto (figura 35), os operários espalhavam-o com pás e enxadas (figura 36), evitando o acúmulo deste. Em seguida, foi realizado o adensamento com o uso de um vibrador elétrico (figura 37). À medida que o concreto era vibrado, foi sendo feito o nivelamento do concreto através das mestras de madeira.

Figura 35 – Lançamento do concreto



(fonte: foto do autor)

Figura 36 – Concreto sendo espalhado



(fonte: foto do autor)

Figura 37 – Adensamento do concreto



(fonte: foto do autor)

A seguir, com uso de régua metálica, o concreto entre as mestras foi sendo reguado (figura 38), fazendo com que todo ele ficasse no nível destas. Após, um operário retirava as mestras de madeira para seu reaproveitamento nas próximas lajes e com o auxílio de uma desempenadeira manual, regularizava a superfície e efetuava o acabamento final nos locais que ainda necessitavam de retoques (figura 39). Este processo foi repetido até o preenchimento de toda a laje e vigas (figura 40).

Notou-se que, no pavimento, 10 operários trabalharam na concretagem, tendo uma duração de aproximadamente cinco horas.

Figura 38 – Concreto sendo reguado



(fonte: foto do autor)

Figura 39 – Acabamento final com o auxílio de uma desempenadeira manual



(fonte: foto do autor)

Figura 40 – Fim da concretagem



(fonte: foto do autor)

4.1.21 Cura do concreto

Foi realizada a cura do concreto da laje, utilizando-se mangueira e formando lâminas de água, visando à proteção do concreto, para que não houvesse o aparecimento de fissuras e o comprometimento da estrutura. Para a execução de aproximadamente 224 m² do pavimento, com o uso de lajes maciças de concreto armado moldada *in loco*, totalizaram-se 10 dias, desde a marcação dos pilares, até a concretagem.

4.2 PROCESSO PARA EXECUÇÃO DE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS

Os próximos itens abordam os processos relacionados à execução de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas. São apresentadas a obra, as condições iniciais de trabalho e os procedimentos para a execução de montagem somente dos painéis alveolares.

4.2.1 Apresentação da obra

A obra estudada é um clube de compras do WallMart, localizado na cidade de Porto Alegre, no qual as lajes estão sendo montadas pela CASSOL Pré-Fabricados. A edificação possui três

pavimentos, totalizando uma área de aproximadamente 14 000 metros quadrados. Nesta obra foi acompanhada apenas a montagem da laje alveolar protendida pré-fabricada, por isso a execução dos pilares e vigas não serão descritas.

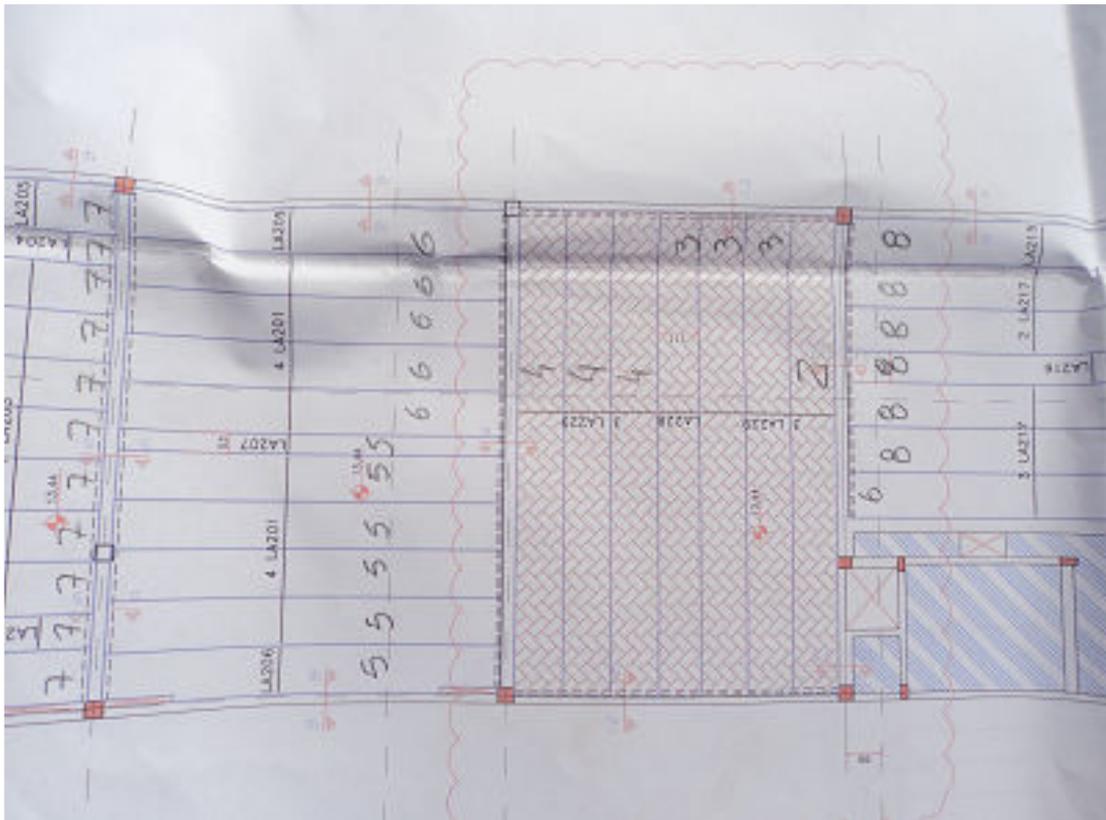
4.2.2 Condições para início dos trabalhos

Após a conclusão da execução dos pilares e vigas pré-fabricadas, deu-se início aos processos para execução da vedação horizontal com painéis alveolares protendidos pré-fabricados. Porém, antes dos trabalhos, assim como no processo de execução das lajes maciças de concreto armado moldada *in loco*, fez-se necessário uma fase de verificação das condições para execução, identificando-se alguns pré-requisitos que devem estar de acordo, tais como:

- a) projetos disponibilizados: de montagem;
- b) documentos aprovados: liberação da EPTC para interdição do tráfego;
- c) equipamentos,
 - corda;
 - equipamentos de proteção individual;
 - guindaste;
 - martelo;
 - pé-de-cabra;
 - rádio comunicador;
 - torniquetes;
- d) treinamentos realizados,
 - operador do guindaste;
 - sinalizador do guindaste.

Antes também, para que ocorresse o início da montagem dos painéis, havia a necessidade da utilização de um guindaste que possuísse as características exigidas pela obra (peso da peça e distância de lançamento). Geralmente a CASSOL possui guindastes para a montagem, porém como se trata de uma obra de grandes proporções, fez-se necessário a locação de um guindaste com capacidade de erguer até 100 toneladas. Antes também, de posse do projeto de montagem da obra (figura 41), foi definido o sentido de montagem com antecedência, tudo para facilitar e agilizar a montagem dos painéis.

Figura 41 – Projeto de montagem



(fonte: foto do autor)

4.2.3 Locação do guindaste

O início do processo em obra envolveu a locação do guindaste conforme *layout* pré-definido pela gerência da obra. Esse croqui contemplava os locais destinados ao estacionamento das carretas e ao içamento dos painéis.

Nesta etapa teve o início do patolamento do guindaste, no qual consiste em fixar os braços das sapatas no terreno, e da colocação de contrapesos (figura 42), para que não ocorresse o seu tombamento durante o içamento dos painéis.

Figura 42 – Patolamento e colocação dos contrapesos



(fonte: foto do autor)

4.2.4 Chegada dos painéis na obra

As peças chegaram à obra por meio de uma carreta, devidamente amarradas e empilhadas (figura 43). Foram também nomeadas, numeradas (figura 44) e dispostas na carreta conforme projeto de montagem para facilitar ao montador a sequência que devia ser seguida para o cobrimento do pavimento.

Figura 43 – Chegada das lajes na obra – aguardando liberação para entrar no local de içamento



(fonte: foto do autor)

Figura 44 – Identificação dos painéis alveolares



(fonte: foto do autor)

Os painéis foram também espaçados entre si por meio de apoios de madeira, posicionados a aproximadamente 30 cm das extremidades da peça e, no ato da entrega dos painéis, o cliente preencheu o **Formulário de Inspeção de Recebimento de Peças** (figura 45), que foi entregue junto com a nota fiscal, onde foram analisadas as peças e relatadas as condições das mesmas. Caso as peças recebidas não estivessem de acordo, estas eram fotografadas e enviadas de volta para a fábrica.

Figura 45 – Formulário de inspeção de recebimento de peças

FORMULÁRIO DE INSPEÇÃO DE RECEBIMENTO DE PEÇAS - RS			
44	OBRA / CLIENTE:	WALA	NOTA FISCAL: 5.455
393	NOME MOTORISTA:	ANDERSON	EMPRESA: JMTT
DO MATERIAL:			
<input type="checkbox"/>	ESTACA	<input type="checkbox"/>	PAINEL
<input type="checkbox"/>	VIGAS	<input type="checkbox"/>	PILAR
<input type="checkbox"/>	TELHA		
ANÁLISE DAS PEÇAS (FABRICA)		ANÁLISE DAS PEÇAS (OBRA)	
OS NO CAMINHÃO?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	EXISTEM APOIOS NO CAMINHÃO?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
ÇÃO ESTÁ ADEQUADA?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	A AMARRAÇÃO ESTÁ ADEQUADA?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
ESTÃO INTEGRAS?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	AS PEÇAS ESTÃO INTEGRAS?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
ESTÃO LIMPAS?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	AS PEÇAS ESTÃO LIMPAS?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
ETAS ATENDEM NF?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	AS ETIQUETAS ATENDEM NF?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
ACABAMENTO ADEQUADO?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	POSSUEM ACABAMENTO ADEQUADO?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
DATA: 19/10/11	DATA: 19/10/11	OBSERVAÇÕES:	

(fonte: foto do autor)

4.2.5 Içamento dos painéis

Para o içamento, houve a necessidade de a carreta deixar a área destinada ao estoque para se direcionar à área de içamento, estacionando próximo do guindaste. As lajes foram laçadas com cabos de aço adequados ao peso e comprimento das peças, posicionados a 30 cm das extremidades da peça, e içadas pelo guindaste (figura 46) e, para evitar danos às peças, foram colocados pedaços de borrachas entre o cabo e a peça (figura 47).

Figura 46 – Içamento do painel alveolar



(fonte: foto do autor)

Figura 47 – Colocação de borrachas para a proteção do painel alveolar



(fonte: foto do autor)

As mesmas foram movimentadas com o auxílio de uma corda guia, controlada por um operário no solo (figura 48), atuando em conjunto com o operador do guindaste e os montadores na estrutura.

Figura 48 – Movimentação do painel alveolar com o auxílio de uma corda



(fonte: foto do autor)

4.2.6 Montagem dos painéis

Antes do posicionamento das lajes nas vigas, foram instaladas as linhas de vida, feitas com cabos de aço, entre os pilares da edificação. Esse sistema de proteção coletiva viabilizou que os funcionários responsáveis pelo posicionamento do painel pudessem se aproximar da periferia através da fixação do cinto de segurança no cabo de aço (figura 49).

Figura 49 – Utilização da linha de vida



(fonte: foto do autor)

Antes também, foi observado se as vigas de apoio estavam bem niveladas para que se evitasse o desnivelamento das lajes. Por isso, para o um perfeito nivelamento, espalhou-se uma camada de argamassa pronta seca sobre a superfície do apoio da viga. A movimentação da peça durante o encaixe foi realizada via rádio entre o operador do guindaste e outro operário que estava próximo à montagem (figura 50).

Figura 50 – Operário com posse de um rádio comunicador



(fonte: foto do autor)

Apesar da simplicidade da montagem, teve-se extremo cuidado no momento do posicionamento das lajes nos apoios, cuidando para que não ocorressem impactos (figura 51).

Figura 51 – Posicionamento da laje no apoio



(fonte: foto do autor)

Somente após o posicionamento das lajes, foram aliviados os cabos e procedido o desengate do conjunto (figura 52). Notou-se que cada placa foi apoiada sobre a estrutura com um pequeno afastamento em relação à anterior para que os cabos de aço fossem retirados. Após, com o auxílio de pés-de-cabra, as placas eram deslocadas pelos montadores para suas posições de projeto.

Figura 52 – Retirada dos cabos de aço



(fonte: foto do autor)

Desde o içamento até o posicionamento definitivo de cada laje, eram gastos menos de 10 min.

4.2.7 Equalização das lajes

Após o posicionamento de todas as peças (figura 53), algumas lajes apresentavam desníveis em relação a outras. Por isso estas eram niveladas com a colocação de torniquetes de aço na face superior e travadas com cunhas de madeira na face inferior (figura 54), torcendo a amarra de arame até que a laje ficasse nivelada.

Figura 53 – Fim da colocação dos painéis alveolares



(fonte: foto do autor)

Figura 54 – Colocação de torniquetes



(fonte: foto do autor)

4.2.8 Chaveteamento

Para executar o chaveteamento (rejuntamento) das lajes foram retirados materiais soltos e foi realizada uma limpeza das juntas com água. O fundo das juntas foi vedado com argamassa seca para evitar que escorresse nata de concreto pela parte inferior, durante a concretagem. Em seguida, foi executado o chaveteamento das peças com concreto no traço adequado ao f_{ck} das lajes (figura 55).

Figura 55 – Início do chaveteamento



(fonte: foto do autor)

Segundo os técnicos, não se deve transitar com sobrecarga excessiva sobre as lajes, durante 24 horas, após o rejuntamento.

48 horas após o rejuntamento, foram removidos os sistemas de travamento (figura 56). Segundo o engenheiro responsável pela obra, a geometria da peça é concebida para que o rejuntamento permita comportamento monolítico da laje, através de transferência parcial das cargas entre painéis de lajes adjacentes.

Figura 56 – Retirada dos torniquetes

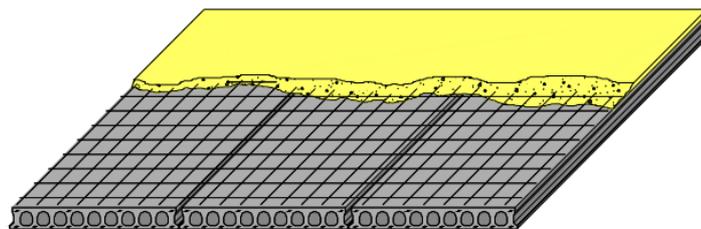


(fonte: foto do autor)

4.2.9 Capeamento

Por questão de prazo, não foi possível acompanhar a execução do capeamento (figura 57) nesta obra, porém, de acordo com informações obtidas na empresa, após o chaveteamento, as lajes alveolares receberiam, em geral, uma capa de concreto de 5 cm, armada, com tela soldada, variando conforme o vão e a sobrecarga do piso, a fim de garantir a transmissão de esforços entre os painéis, o nivelamento da superfície da laje e correção da contra-flecha decorrente da protensão dos painéis alveolares. Ainda, segundo o engenheiro responsável pela obra, o capeamento deve ser executado no mínimo 12 horas após o rejuntamento das chavetas.

Figura 57 – Capeamento



(fonte: TATU PRÉ-MOLDADOS, 2008, p. 6)

5 COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO

Neste capítulo pretende-se, resumidamente, fazer um comparativo dos processos de execução de ambos os sistemas estruturais (quadro 4).

Quadro 4 – Quadro comparativo

PROCESSOS	LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS PRÉ-FABRICADAS	LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS <i>IN LOCO</i>
Treinamento da mão de obra de produção	X	
Documentação	X	X
Layout	X	X
Verificação das condições iniciais	X	X
Necessidade de estoque de materiais em obra		X
Guindaste	X	
Elevador de carga	X	X
Utilização de fôrmas		X
Necessidade de escoramento		X
Transporte horizontal no canteiro		X
Limpeza da estrutura	X	X
Necessidade de equipes terceiras durante o processo	X	X
Colocação de armaduras		X
Execução de concretagem	X	X
Maior velocidade de execução	X	
Aumento da produtividade da mão de obra	X	
Redução de etapas de produção no canteiro	X	
Eliminação de resíduos	X	
Garantia de qualidade do produto	X	X

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que o sistema de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas permite eliminar completamente o uso de fôrmas e os serviços relacionados a ela (colocação das fôrmas e posterior desfôrma), proporcionando um 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 desescoramento), a eliminação parcial da colocação

da armadura da laje e o acabamento da parte inferior da laje, visto que com estas lajes não se faz necessário realizar o revestimento para corrigir as emendas de concreto.

Outra característica que pode ser mencionada com o emprego das lajes alveolares protendidas pré-fabricadas, é a velocidade de execução, uma vez que as mesmas proporcionam grande produtividade, reduzindo os prazos de entrega da obra assim como os custos da mão de obra. Tal vantagem pode ser obtida devido à eficiência do processo de montagem, o qual considera alguns aspectos, tais como o envio das peças, a localização dos guindastes, os métodos e a sequência de montagem, içamento e fixação. Dessa forma, em obras que trabalham com prazos reduzidos, o sistema de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas se apresenta como uma boa alternativa.

Ainda, a tecnologia de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas, apresenta o potencial de incrementar o processo de produção do edifício, em nível de industrialização, uma vez que elas proporcionam uma uniformidade do projeto arquitetônico, sendo específicas para a obra. Outra vantagem, frente aos sistemas tradicionais, é a capacidade de vencer grandes vãos com elevados carregamentos. Isso ocorre devido à utilização da armadura ativa de protensão combinada com um elemento geométrico de concreto de maior resistência e menor peso próprio, devido aos alvéolos inseridos no interior da peça.

Entretanto, apesar das vantagens citadas acima, a utilização das lajes alveolares protendidas pré-fabricadas requer alguns cuidados especiais na fase de projeto, produção e montagem (necessário treinamento da mão de obra para a qualificação da mesma). Além disso, outras desvantagens podem ser citadas, tais como, o custo inicial referente ao transporte.

Para as etapas construtivas, a execução da obra realizada através do sistema de lajes maciças de concreto armado moldadas *in loco* apresenta, em relação ao sistema de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas, a etapa de moldagem da laje, sendo uma técnica já consagrada que permite o emprego extensivo de mão de obra qualificada e equipamentos simples. A marcação do gabarito das furações nas fôrmas também é uma 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.

Verifica-se, ainda, que a grande dificuldade do sistema de lajes de concreto armado moldadas *in loco* é evitar a perda de qualidade durante o processo e, embora as medidas adotadas pareçam apontar para o caminho correto, ainda há o que evoluir, como pôde ser visto na dificuldade de, por exemplo, garantir a posição das armaduras negativas, passagens das tubulações, etc. Cada vez mais são necessários investimentos neste sentido, como a utilização de projetos para a produção, utilização de equipamentos de tecnologia avançada, preocupações extras com a concretagem e, principalmente, conscientização por parte dos operários, de que controle da qualidade no momento da execução tem influência direta no desempenho do produto final.

Sendo assim, conclui-se que é de extrema importância o conhecimento das características do produto que será utilizado, pois desta maneira é possível comparar e verificar qual é o mais apropriado para o caso específico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve, como principal objetivo proposto, estabelecer um comparativo dos processos de execução entre lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas *in loco*. Isso, por sua vez, permitiu o desenvolvimento dos objetivos secundários, possibilitando, dessa forma, estabelecer uma avaliação qualitativa entre tais processos. Sendo assim, este capítulo apresenta as considerações finais referentes aos dois métodos construtivos descritos no trabalho.

A pesquisa, relacionando os dois tipos de lajes, foi considerada produtiva pelo fato de ter permitido avaliar as vantagens e desvantagens de ambas as técnicas construtivas, possibilitando conhecer detalhes da execução de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e suas aplicações em edificações. Isso explica o motivo pelo qual, apesar desta técnica construtiva ser utilizada há alguns anos no país, ainda se mostra recente e em fase de aprimoramento. Por outro lado, pôde-se verificar que ainda existem obras que utilizam o sistema construtivo convencional, destacando alguns fatores que reforçam a idéia de manutenção deste sistema de produção histórico.

Concluindo, a busca pela industrialização requer o aperfeiçoamento dos profissionais, assim como, se faz necessário o desenvolvimento de manuais e normas técnicas que estabeleçam parâmetros no âmbito técnico, estabelecendo critérios de desempenho, padronização e tolerâncias. Dessa forma, os comparativos realizados no presente trabalho não esgotam as possibilidades de que outros estudos sejam efetuados, a fim de complementar as considerações obtidas. Uma sugestão para trabalhos futuros é a realização de uma análise dos custos envolvidos na implementação dos dois sistemas de execução de lajes.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- ALLGAYER, M. O. **Laje zero em edificações de múltiplos pavimentos: comparação com o sistema construtivo tradicional**. 2010. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: UNESP, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. **NBR 9062: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 14931: execução de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15575-3: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – parte 3: requisitos para os sistemas de pisos internos**. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 15696: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto: projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.
- BARBOZA, M. R. **Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado**. Bauru: UNESP, 2008. Relatório Final de Iniciação Científica n. 07.
- BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2006. Apostila da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios I.
- BIANCO, L. V. **Estrutura de Concreto Armado**. 1999. Disponível em: <<http://www.edifique.arq.br/estconcr.htm>>. Acesso em: 7 jun. 2011.
- BASTOS, P. S. S. **Vigas e Lajes de Concreto Armado**. Bauru: UNESP, 2005. Notas de aula da disciplina de Sistemas de Estruturas I. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Sistemas%20Estruturais/Sistemas2.pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2011.
- _____. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006. Notas de aula da disciplina de Estruturas de Concreto I. Disponível em:

<<http://www.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2011.

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

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção**. Atualizada pela Portaria n. 237, de 10 de junho de 2011. Altera o item 18.37 e revoga o item 18.32 da Norma Regulamentadora n. 18, aprovada pela Portaria n. 3.214, de 8 de junho de 1978. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_18geral.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2011.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados: estudo e viabilidade**. 2008. 54 f. (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória.

CASSOL PRÉ-FABRICADOS. Laje Alveolar. 2006. Disponível em: <<http://www.arweb.com.br/cassol/php/produtos.php?id=16>>. Acesso em: 4 jun. 2011.

COSTA, O. O. **Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

DUTRA, C. **Análise Teórica e Experimental de Lajes Cogumelo Nervuradas em Escala Reduzida**. 2005. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

LAMPERT, C. F. R. **Lajes alveolares protendidas pré-fabricadas: um estudo de caso desde sua produção até sua utilização no canteiro de obras**. 2008. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LIMA, J. E. P. Sistema convencional versus pré-fabricado: os ganhos qualitativos e quantitativos na gestão de um projeto pelo sistema construtivo pré-fabricado em concreto. **Fae Business**, n. 10, p. 21-23, 2004. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/revista_da_fae/fae_v10_n1/sistema%20convencional.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2011.

MIGLIORE, G. M. **Dimensionamento e utilização de laje alveolar protendida**. 2008. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PETRUCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PFEIL, W. **Concreto Protendido**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

RANGEL, D. O. **A laje nível zero, em substituição do contrapiso em edifícios residenciais, como alternativa viável**. Salvador: UCSAL, 2009.

RODRIGUES, P. P. F. **Controle de qualidade na indústria de pré-fabricados**. São Paulo: EPUSP, 1991. Boletim Técnico n. 49.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, F. H.; FRANCO, L. S.; BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de vedações verticais**. São Paulo: EPUSP, 1993. Apostila da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios I.

SARTOR, E.; SILVA, M. **Pré-moldados de concreto**. 2008. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão. Disponível em:
<http://portal2.unisul.br/content/navitacontent_/userFiles/File/pagina_dos_cursos/Engenharia_Civil_Tubarao/TCC_2008-A/TCC_Marcus_da_Silva_e_Ezequiel_Sartor.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2011.

SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SILVA, R. C. **Vigas de concreto armado com telas soldadas: análise teórica e experimental da resistência à força cortante e do controle da fissuração**. 2003. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. **O projeto e a qualidade das lajes de concreto armado de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1996. Boletim Técnico n. 169.

_____. O projeto para produção como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. **Téchné**, v. 6, n. 36, 1998. Disponível em:
<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/36/imprime32123.asp>>. Acesso em: 9 jun. 2011.

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

TATU PRÉ-MOLDADOS. Laje alveolar protendida, 2008. Disponível em: <www.tatu.com.br/Paineis%20Alveolares%20Tatu.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2011.

VERÍSSIMO, G. S.; MOREIRA, M. S. S.; PAES, J. L. R.; SILVA, R. C. **Sistemas estruturais: aplicações**. Viçosa: UFV, 2008. Apostila da disciplina de Sistemas Estruturais.

VILLAR, F. H. R. **Lajes alveolares pré-fabricadas de concreto protendido x lajes de concreto armado**. São Carlos: UFSCAR, 2002. Trabalho da disciplina de Sistemas Estruturais de Edificações e sua Tecnologia.

