



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA PAOLA GUEDES BATISTA

**CONCRETO PRÉ-FABRICADO “UM ESTUDO DE CASO NA EXECUÇÃO DE
UMA OBRA COMERCIAL EM BARBACENA – MINAS GERAIS”**

**BARBACENA/MG
2020**

JÉSSICA PAOLA GUEDES BATISTA

**CONCRETO PRÉ-FABRICADO “UM ESTUDO DE CASO NA EXECUÇÃO DE
UMA OBRA COMERCIAL EM BARBACENA – MINAS GERAIS”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Emanuel Bomtempo Matos.

**BARBACENA/MG
2020**

Dedico essa jornada aos meus pais, amigos e mestres.

Aos meus pais por acreditarem no meu potencial, por investirem nos meus estudos e por apoiarem todas as decisões até aqui tomadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me amparado ao longo desses cinco anos e permitido que eu superasse todas as dificuldades e limites que me deparei.

Aos meus pais por todo apoio, compreensão e amor ofertado a mim.

Aos meus colegas de jornada e professores por terem ajudado na construção desse trabalho e contribuído com minha trajetória acadêmica, especialmente ao professor orientador Emanuel Bomtempo Matos pela paciente orientação, competência, apoio e empenho dedicados à elaboração deste trabalho.

RESUMO

A necessidade de prazos cada vez mais curtos para execução de obras e a escassez de mão de obra qualificada constituem o cenário atual da construção civil brasileira. Sendo assim, está se tornando muito comum a busca por métodos que garantem o aumento da produtividade e rápida execução da obra. Nesse contexto, o sistema pré-fabricado vem se destacando e ganhando força em todo o território nacional por se tratar de um sistema construtivo que oferece uma redução de 35% no tempo total de entrega da obra, quando comparada a obras executadas no sistema tradicional moldado in loco. A otimização na montagem da estrutura é o principal fator que garante a entrega da obra na data planejada. Além disso, o sistema pré-fabricado permite executar variados serviços concomitantes com sua montagem, o que é mais um atrativo em empreendimentos que tem necessidade de uma rápida execução. O custo elevado do sistema pré-fabricado ainda é a maior desvantagem que se encontra na atualidade. Por se tratar de uma fabricação controlada, muitas vezes executada apenas em grandes centros e com a necessidade de equipamentos de grande porte, bem como mão de obra qualificada, o gasto com esse sistema se torna mais elevado em comparação com o sistema tradicional. O presente trabalho tem como objeto de estudo uma obra comercial, que utilizou o sistema pré-fabricado na cidade de Barbacena, em Minas Gerais. Toda a execução da montagem estrutural foi acompanhada e registrada. O sistema utilizado garantiu a entrega da obra na data prevista e assim, atendeu ao objetivo do empreendimento, sendo possível cumprir o compromisso estabelecido com o cliente.

Palavras-chave: Pré-fabricado, montagem de estruturas, estudo de caso.

ABSTRACT

The need for shorter and shorter deadlines for the execution of works and the shortage of qualified labor is the current scenario of Brazilian civil construction. Therefore, the search for methods that guarantee increased productivity and quick execution of the work is becoming very common. In this context, the prefabricated system has been standing out and gaining strength throughout the national territory because it is a construction system that offers a 35% reduction in the total delivery time of the work, when compared to works performed in the traditional molded system in loco.

Optimization in the assembly of the structure is the main factor that guarantees the delivery of the work on the planned date. In addition, the prefabricated system allows us to perform several other services concurrent with its assembly, which is another attraction in projects that need a quick execution. The high cost of the prefabricated system is still the biggest disadvantage that we find today. As it is a controlled manufacturing process, often carried out only in large centers, with the need for large equipment, as well as qualified labor, the cost of this system becomes higher compared to the traditional system. The present work has as object of study a commercial work, which used the prefabricated system in the city of Barbacena, in Minas Gerais. The entire execution of the structural assembly was monitored and recorded. The system used guaranteed the delivery of the work on the scheduled date and, thus, met the objective of the enterprise, being possible to fulfill the commitment established with the client.

Keywords: Prefabricated, assembly of structures, case study.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DESENVOLVIMENTO	8
2.1 Estruturas em concreto pré-fabricado	8
2.1.1 Definição	8
2.1.2 Origem e Utilização	8
2.1.3 Vantagens e Desvantagens	10
2.1.4 Vantagens	11
2.1.5 Desvantagens	12
2.2 Sistema pré-fabricado no Brasil	12
2.3 Elementos estruturais: Lajes alveolares, pilares e vigas	14
2.3.1 Lajes alveolares	15
2.3.2 Pilares	18
2.3.3 Vigas	20
2.4 Fabricação, transporte e montagem	21
2.4.1 Fabricação	21
2.4.1.1 Fabricação de pilares e vigas	23
2.4.1.2 Fabricação de lajes alveolares	23
2.4.2 Transporte	24
2.4.3 Montagem	25
2.5 Estudo de caso	26
2.5.1 Transporte	27
2.5.2 Montagem da estrutura	28
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
4 REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, graves crises no capitalismo fizeram com que houvesse uma reestruturação no padrão de desenvolvimento mundial. Assim, Pochmann (2013) afirma que “o Brasil, em especial, terminou por aproveitar essa oportunidade de turbulência internacional para se reposicionar no interior do sistema de economia-mundo de forma considerável”. Esse grande salto de desenvolvimento no país e com perspectiva de crescimento ainda mais elevado para os próximos anos determina, de forma natural, a busca por técnicas construtivas que atendam de forma simultânea os chamados “pilares da construção civil”, que são as exigências de custo, durabilidade do empreendimento e, principalmente, prazo para a execução da obra.

Os elementos pré-fabricados de concreto são uma alternativa interessante para atender esses propósitos e em decorrência desse fato, essa indústria vem alcançando um grande crescimento nos últimos tempos. Além da facilidade para os engenheiros que têm a possibilidade de encomenda das peças, as mesmas já chegam prontas para serem fixadas no local definitivo. A empresa responsável pelo cálculo estrutural também fabrica as peças, transporta e executa (ou terceiriza) a montagem das mesmas sendo possível observar como essa técnica construtiva está se desenvolvendo de forma a estimular o progresso tecnológico na construção civil.

Desta forma, o presente trabalho possui como objetivo inicial trazer uma revisão bibliográfica sobre a utilização de estruturas em concreto pré-fabricado no Brasil, bem como as etapas construtivas e posteriormente um estudo de caso da execução de uma obra, em Barbacena – MG, que utilizou esse sistema construtivo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Estruturas em concreto pré-fabricado

2.1.1 Definição

O termo pré-fabricado, na construção civil, segundo Revel (1973) significa: “fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra”. A NBR 9062 (ABNT, 2017, p.12), que estabelece requisitos para o projeto, execução e controle de estruturas em concreto, complementa essa informação apresentada e distingue os elementos pré-moldados dos pré-fabricados, trazendo a seguinte definição:

- a) Pré-moldado: elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura.
- b) Pré-fabricado: elemento pré-moldado executado industrialmente, em empresa destinada para este fim e que disponha de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade.

Compreende-se que peças fabricadas e moldadas em indústrias são aquelas feitas a partir das matérias primas já conhecidas no setor da construção civil. Após a fabricação, essas peças são transportadas até a obra e lá acontece a montagem, que nada mais é que seu posicionamento final no local destinado a edificação.

2.1.2 Origem e Utilização

Salas (1988) considera que o início da utilização de pré-fabricados no mundo foi em 1950, após a Segunda Guerra mundial. A Europa estava devastada e assim houve a necessidade de executar construções rápidas, economicamente viáveis e em grande escala. Cidades inteiras precisavam ser reconstruídas, desde habitações familiares a escolas e hospitais. Os componentes estruturais dessa época provinham geralmente de um mesmo fornecedor, o que deu nome ao chamado “Ciclo fechado de produção”.

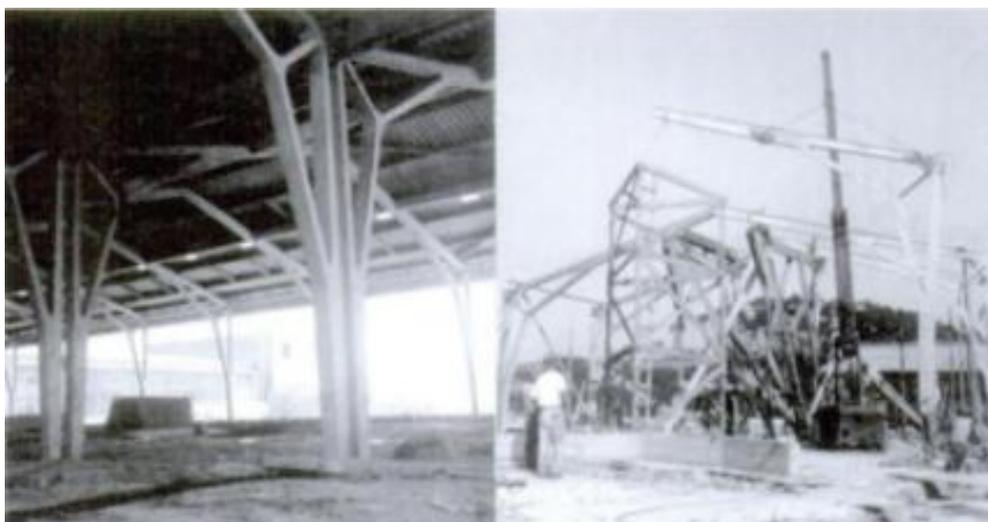
Vasconcellos (2002) afirma que a primeira grande obra em que utilizou pré-fabricado no Brasil foi no Rio de Janeiro e refere-se a construção do hipódromo da Gávea, executada pela construtora dinamarquesa Christian-Nielsen. Assim como esta, outras obras em concreto pré-fabricado podem ter sido executadas pela mesma construtora, mas não há nenhum registro.

Ainda segundo Vasconcellos (2002), a próxima obra que se tem notícia executada utilizando-se desse sistema construtivo foi realizada muitos anos depois em São Paulo, pela construtora Mauá que era especializada em construções industriais. Ela executou diversos galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras, o processo executivo era simples, todavia, consistia em executar as peças em sequência vertical, uma sobre a outra e separadas com papel parafinado. Uma das principais execuções foi a dos pavilhões da fábrica ELCLOR, em Rio Grande da Serra (SP), conforme as FIG.1 e FIG. 2 abaixo.

A Figura 1 apresenta o segundo galpão construído para a fábrica ELCLOR pela construtora Mauá, com pórticos protendidos e 4 cabos de Ø 5mm (diâmetro).

Já a Figura 2 representa pórticos um pouco mais simples e com uma única barra diagonal na região do nó.

Figura 1 – Fábrica ELCLOR (1958) pronta e em montagem



Fonte: Vasconcellos (2002, p. 14)

Figura 2 – Primeira fábrica da ELCLOR construída pela construtora Mauá



Fonte: Vasconcellos (2002, p.15)

A evolução tecnológica também é de grande relevância na utilização desse sistema construtivo, uma vez que a montagem dos elementos exige, na maioria das vezes, equipamentos de grande porte como guindastes e guias. A seleção do equipamento varia conforme a necessidade da obra, espaço e investimento financeiro disponíveis, bem como a capacidade do mesmo. Dessa forma, pode-se concluir que a evolução tecnológica e a utilização de pré-fabricados estão diretamente ligadas ao grau de desenvolvimento social de um país visto que, com esse fator em alta, existe uma maior demanda de mão de obra qualificada, elevado grau de exigência na qualidade das peças e maior demanda de equipamentos específicos.

2.1.3 Vantagens e Desvantagens

As vantagens são inúmeras quando a pré-fabricação é comparada ao método tradicional moldado “*in loco*”. Porém, como todo sistema construtivo, ainda existe algumas desvantagens e essas são consideradas muito baixas diante dos benefícios que são atingidos.

2.1.4 Vantagens

Segundo Van Acker (2002, p.2) uma dessas vantagens é o trabalho ser feito em fábricas modernas, pois “possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade”. O uso otimizado de materiais também merece destaque, pois a pré-fabricação utiliza-se de equipamentos automatizados e controlados por computador para o preparo do concreto.

Essa tecnologia permite o desempenho mecânico exato para cada classe de concreto. Dessa forma, “a relação água/cimento pode ser reduzida ao mínimo possível e o adensamento e cura são executadas em condições controladas. [...] A eficácia da mistura é melhor que o concreto moldado no local” (VAN ACKER, 2002, p.3).

A redução de mão de obra também é um dos principais pontos que pode ser considerado vantajoso dentro desse sistema construtivo. Isso se dá pelo fato de não haver fôrma e desfôrma, cimbramento, uso de andaimes e concretagem no local. Assim, o número de trabalhadores necessário é inferior ao habitual e não há desperdícios em sua execução, portanto, o fluxo constante de operações idênticas também acelera a produtividade. O QUADRO 1 abaixo expõe um comparativo de atividades, onde fica clara a redução no prazo de execução das atividades.

Quadro 1 – Comparativo de atividades

Mês	0	1	2	3	4
Método tradicional					
Andaimes		■	■		
Fôrmas		■	■		
Armaduras			■	■	
Concretagem			■	■	
Desfôrma				■	■
Acabamentos					■
Pré-fabricados					
Instalação da fábrica	■				
Pré-fabricação		■			
Montagem		■	■		
Acabamentos			■		

Fonte: Revel (1973) apud Treviso (2013, p.27)

A redução nos prazos de execução é possível porque as estruturas pré-fabricadas de concreto além de padronização, racionalização e repetição de elementos, representam uma redução de 35% no tempo total de execução e entrega da obra, quando comparada a obras em concreto convencional moldado “in loco”, como foi apontado por Sayegh (2011).

A soma desses fatores: redução de mão de obra + velocidade na construção / redução nos prazos de execução, mostra o sistema mais viável e de certa forma até mais sustentável, pois ainda há a economia em material, água e energia. Com poquíssimo desperdício em sua execução e montagem, a técnica se torna ainda mais limpa e segura, como foi citado anteriormente.

2.1.5 Desvantagens

A principal desvantagem apresentada por esse sistema construtivo é o custo de fabricação. As peças pré-fabricadas precisam de um controle de qualidade mais rigoroso, o que acaba gerando um preço final elevado.

Para Porto (2010, p.18), outro ponto que prejudica o desenvolvimento dos pré-fabricados no Brasil são as distâncias, pois também é um fator determinante no custo final: “Acho que é ainda a questão dos custos, das distâncias. O Brasil é um país muito grande. Temos regiões muito afastadas – como a Amazônia – onde, às vezes, torna-se muito difícil entrar com os pré-moldados como solução.”

2.2 Sistema pré-fabricado no Brasil

Um grande salto de qualidade foi alcançado nos canteiros de obra do Brasil e isso resulta da industrialização da construção civil através da utilização dos pré-fabricados. Materiais de boa qualidade, fornecedores selecionados e mão-de-obra treinada e qualificada, tornaram as obras mais organizadas e seguras (SERRA et al., 2005).

Apesar de não ser um sistema construtivo novo no país, ele continua sofrendo diversas inovações. Todo esse interesse por desenvolvimento e pesquisas faz com que o método cresça a passos largos e o Brasil se posicione em um patamar relativamente

elevado em relação a outros países que também desenvolveram a técnica efetivamente a partir da década de 90 (SERRA et al., 2005).

O crescimento da cidade de São Paulo (SP) nesta época fez com que a mesma passasse a receber grandes e generosos investimentos na área de serviços, o que teve impacto direto para a construção civil com um aumento significativo na construção de shoppings e hotéis. Devido à necessidade de requinte para o acabamento desses empreendimentos e com o intuito de valorizar o projeto, foi necessário utilizar novamente os painéis pré-fabricados para edifícios de múltiplos pavimentos, esses são chamados de painéis arquitetônicos e incorporam detalhes construtivos e revestimentos em seu acabamento. Eles aumentam a qualidade estética do produto final e acelera consideravelmente a execução da obra (OLIVEIRA, 2002).

A primeira tentativa do sistema pré-fabricado com estrutura reticulada utilizada em edifícios de diversos pavimentos foi a do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo – CRUSP, na cidade universitária Armando Sales de Oliveira, em 1964. O conjunto projetado pelo FUNDUSP – Fundo de construção da Universidade de São Paulo, foi idealizado para abrigar estudantes de outras cidades que iniciariam algum curso nas faculdades da universidade. O projeto desse conjunto era constituído por 12 prédios de 12 andares cada um e a obra foi executada por duas empresas diferentes, sendo 6 prédios construídos através do sistema tradicional e 6 através do sistema pré-fabricado, onde as peças foram fabricadas no próprio canteiro de obras, denotando o grande espaço para produção e armazenagem das peças. Como toda novidade, essa também teve seus percalços ao longo do caminho visto que o sistema era pouco utilizado e foi o primeiro caso em um grande edifício. Vários problemas relacionados à falta de mão de obra qualificada foram solucionados ao longo da execução, mas não foi o suficiente para atingir o objetivo e o resultado foi inesperado, os prédios executados através do sistema tradicional ficaram prontos antes dos pré-moldados (VASCONCELLOS, 2002).

Atualmente, diversos elementos pré-moldados e pré-fabricados são inseridos nas obras de todo o estado de São Paulo, sendo cada vez mais notável o crescimento da utilização do mesmo para a construção de edifícios comerciais, residenciais, hotéis e até em construções industriais (SERRA et al., 2005).

A utilização de elementos pré-fabricados é um processo industrializado que se tornou uma realidade no país e possui grande potencial para o futuro, hoje em dia, várias empresas já utilizam esse modelo construtivo e dedicam-se para que o sistema

seja difundido progressivamente. Assim, a mão de obra será cada vez mais qualificada e problemas relacionados à falta de treinamento ou ausência de profissionais capacitados serão significativamente menores. Além disso, será possível uma expansão econômica e social considerável, uma vez que a industrialização da construção civil está diretamente ligada a esses fatores.

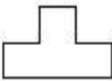
2.3 Elementos estruturais: Lajes alveolares, pilares e vigas

Uma estrutura é composta por um conjunto de elementos estruturais que interagem de forma a resistir todos os esforços decorrentes de cargas permanentes e acidentais. Esses elementos são parte resistente da construção e além de suportar as ações das cargas, têm a função de transmiti-las para o solo.

A necessidade de agilizar os processos construtivos após o crescimento contínuo da construção civil manifestou a criação dos elementos pré-fabricados, como pilares, vigas e lajes (DUARTE et al., 2016).

Apesar de inúmeros elementos pré-fabricados serem utilizados atualmente no Brasil, de maneira geral, os principais exemplos são os apresentados por El Debs (2000), conforme FIG.3 abaixo:

Figura 3 – Elementos pré-fabricados de uso comum

Lajes e paredes	Vigas e pilares
 <p data-bbox="576 1442 762 1473">painel alveolar</p>	 <p data-bbox="1018 1451 1225 1482">seção retangular</p>
 <p data-bbox="576 1554 699 1585">painel TT</p>	 <p data-bbox="1018 1585 1114 1617">seção I</p>
 <p data-bbox="576 1697 683 1729">painel U</p>	 <p data-bbox="1018 1697 1232 1729">seção T invertido</p>
 <p data-bbox="576 1823 746 1854">painel maciço</p>	 <p data-bbox="1018 1809 1305 1841">seção quadrada vazada</p>

Fonte: El Debs (2000)

2.3.1 Lajes alveolares

Na atualidade, existe uma variedade de sistemas de lajes disponíveis no mercado da construção civil com propriedades que consideram a relação sobrecarga/vão, mas as lajes pré-fabricadas de utilização mais comum no Brasil são as lajes alveolares El Debs (2000).

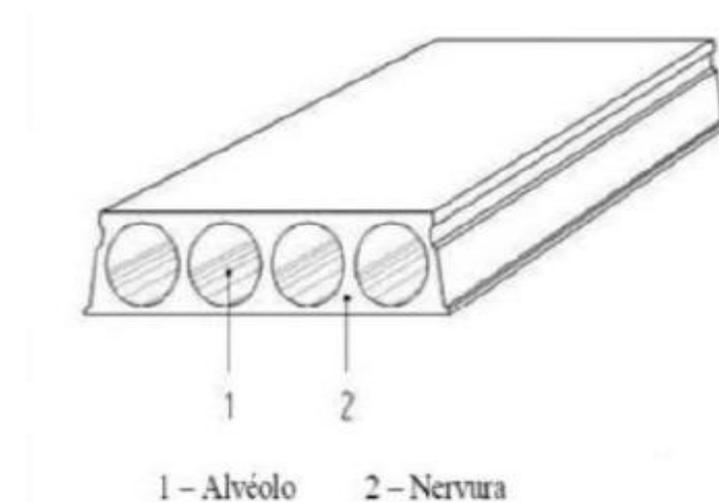
Para Van Acker (2002, p 73) “Os elementos de lajes alveolares protendidas possuem alvéolos (vazios) longitudinais com a intenção principal de reduzir o peso próprio. As lajes alveolares são principalmente utilizadas em construções com grandes vãos”.

Normalmente, com largura de 1,20m e comprimento de até 20m, as lajes alveolares, em geral, são um elemento protendido, com os alvéolos separados por nervuras verticais (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004).

Ainda segundo a norma europeia, *European Committee for Standardization* (2004), os elementos das lajes alveolares são definidos como:

- a) Alvéolo são os furos longitudinais, distribuídos de maneira uniforme, com a finalidade de reduzir o peso próprio do elemento.
- b) Nervura é região de concreto entre os alvéolos ou na borda lateral da laje. A visualização e entendimentos destes elementos são possíveis através da FIG. 4 a seguir.

Figura 4 – Elementos da laje alveolar



Fonte: European Committee for Standardization (2004)

“As lajes alveolares são constituídas de fios ou cordoalhas de protensão dispostos na mesa inferior, podendo ocorrer também na mesa superior” (EL DEBS, 2000, p. 255).

O mesmo autor expôs que, via de regra, armadura transversal não é colocada na alma e admite-se também, na análise estrutural, que o comportamento desse elemento condiz ao de uma laje armada em uma direção e são projetados para funcionar simplesmente apoiados, casualmente com pequenos balanços.

Lajes alveolares ainda permitem a execução de furos. Esses podem ser utilizados para passagem de tubulações hidráulicas ou elétricas e não podem de maneira alguma interromper as cordoalhas de protensão, devendo passar obrigatoriamente pelos alvéolos e evitando assim o comprometimento da capacidade de suporte da estrutura. (PETRUCELLI, 2009)

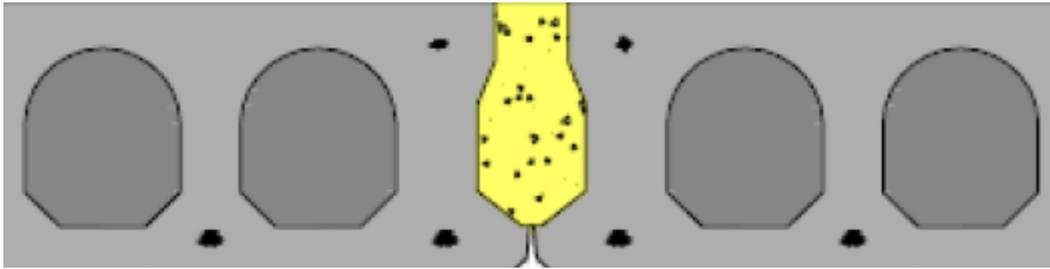
Segundo a mesma autora, Petrucelli (2009, p.32) os alvéolos são “diferenciados conforme a espessura dos painéis e sua geometria (quanto menor a espessura da laje, maior a quantidade de alvéolos e menor o seu diâmetro).

A geometria da laje alveolar faz com que, na união de duas placas que são montadas por justaposição lateral, apenas as faces inferiores entrem em contato. As faces superiores ficam afastadas entre si e permitem assim a passagem do graute, que é um tipo de concreto de alta resistência e consistência fluida, utilizado para preencher vazios de concretagem. (FIG. 5). Esse preenchimento é chamado de chaveteamento, formando a chave de cisalhamento e estabelece entre as placas uma redistribuição das cargas, além de fornecer acabamento e estanqueidade (TATU PRÉ-MOLDADOS, 2008¹).

Para Van Acker (2002, p. 40) “As chaves de cisalhamento trabalham como barreiras mecânicas que previnem qualquer deslizamento significativo ao longo da junta. O pré-requisito para o funcionamento do sistema é que os elementos são prevenidos contra movimentação sob solicitações de cisalhamento.”

¹ Disponível em <www.tatu.com.br/paineis%20alveolares%20tatu.pdf>

Figura 5 – Junção entre duas placas, preenchimento com graute



Fonte: Tatu pré-moldados (2008, p. 5)

Porém, esse chaveteamento das lajes só é possível após a equalização das mesmas. Tatu pré-moldados (2008, p.6) afirma que:

Como os painéis alveolares são protendidos, após sua fabricação surgem pequenas contra-flechas. Estas contra-flechas não são iguais para todas as placas sendo necessário, após o posicionamento sobre a estrutura, a execução do nivelamento (equalização) das placas através de torniquetes de madeira e arame.

Após 48 horas decorridas do procedimento de chaveteamento realizado, o sistema de travamento poderá ser removido e os trabalhos para conclusão da laje retomados (FIG. 6).

Figura 6 – Sistema de equalização com torniquete e grauteamento das chaves de cisalhamento



Fonte: Petrucelli (2009, p. 37)

De acordo com a sua característica industrial de produção em série, a repetição, como forma de padronização das lajes alveolares, deve ser priorizada. Essa atitude determina um baixo número de colaboradores envolvidos na produção e poucas intervenções para recortes e reforços nos alvéolos das lajes.

2.3.2 Pilares

Segundo Libânio (2016, p.9) “pilares são barras em geral verticais que recebem as ações das vigas ou das lajes e dos andares superiores e as transmitem para os elementos inferiores ou para a fundação.”

Já com relação à padronização desses elementos, foi afirmado por Melo (2004 apud PINTO, 2016, p.42):

Os pilares são as peças mais complexas e com maior dificuldade de execução, tanto nas definições de projeto quanto na fábrica. Os detalhes, de modo geral, são incorporados no projeto individual dos pilares e por isso mesmo eles são as peças menos padronizadas do sistema do pré-fabricado.

No sistema pré-fabricado, os elementos da fundação são diferentes do convencional, uma vez que nas estruturas moldadas *in loco*, os pilares são diretamente ligados nos blocos da fundação e isso não ocorre com os pré-fabricados. Neste sistema, a interligação entre pilar e fundação é chamada de “ligação”.

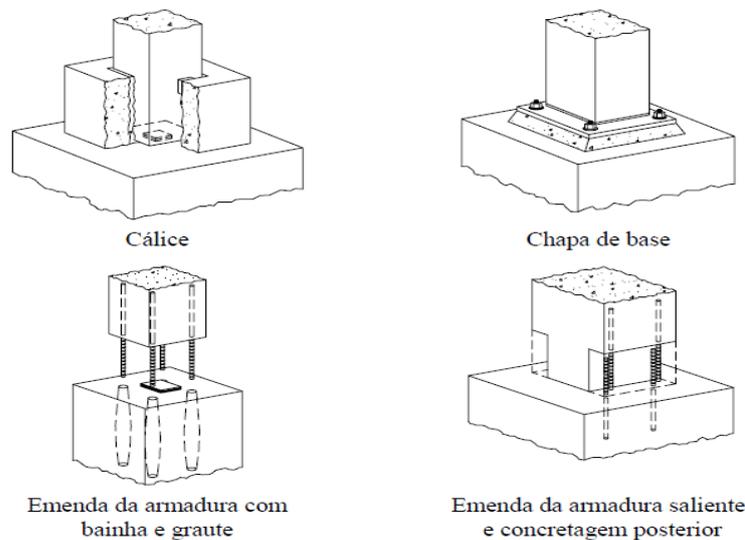
“As ligações entre as peças pré-fabricadas estão diretamente ligadas ao bom desempenho estrutural da construção. Quanto mais eficiente e bem executada for a ligação, melhor desempenho estrutural é atingido.” (SANTOS; CIRILO; SOUZA, 2014, p.3).

Para Jaguaribe (2005) existem pelo menos quatro tipos de ligação entre o pilar e a fundação. São elas:

- A. Cálice;
- B. Chapa de base;
- C. Emenda de armadura com bainha e graute;
- D. Emenda de armadura saliente e concretagem posterior.

As ligações supracitadas estão representadas na FIG. 7 abaixo:

Figura 7 – Ligações pilar/fundação.



Fonte: Jaguaribe (2005)

Van Acker (2002), afirma que as ligações são de extrema importância quando falamos de estrutura pré-fabricada. Toda a interligação estrutural entre as peças é feita por meio das ligações e o intuito é fazer com que esse sistema estrutural seja capaz de resistir a todas as forças atuantes, inclusive ações indiretas provenientes de retração, fluência, ação do fogo, movimentação térmica e etc.

Abaixo são explicitados quatro tipos de ligações, citadas conforme Jaguaribe (2005):

A. A ligação por meio de cálice é o tipo de transmissão pilar-fundação mais utilizado no Brasil e muito bem empregado em todo o mundo. O que torna esse tipo de ligação tão utilizada são as vantagens apresentadas, entre elas: facilidade e rapidez na montagem, ajustes facilitados nos desvios de execução e boa transmissão de momentos, o que torna o comportamento próximo ao de uma ligação monolítica. Essa ligação, por meio de cálices, é realizada embutindo-se uma parte do pilar – denominado comprimento de embutimento – em uma abertura no elemento da fundação, essa abertura que possibilita o encaixe é o cálice. Após os elementos se encaixarem perfeitamente, os espaços vazios entre fundação e pilar são preenchidos com graute e finalmente a ligação é efetivada. O posicionamento do pilar no centro do cálice é feito por

meio de dispositivos de centralização e a fixação temporária é feita através de cunhas colocadas nos quatro cantos do cálice e impedindo o deslocamento do pilar do centro até que seja feita a concretagem final da junta (JAGUARIBE, 2005).

- B. A ligação por meio de chapa base é mais complexa quando comparada a ligação por cálices, uma vez que exige mais técnica para ser executada. Esse tipo de ligação é feita por chapas metálicas na base do pilar, e essas têm a necessidade de ter dimensões maiores que a seção do pilar para “permitir a transmissão dos esforços provocados pelos momentos fletores através da ligação” (SANTOS; CIRILO; SOUZA, 2014). Esperas rosqueáveis, chamadas de chumbadores, são instaladas na fundação, as chapas possuem furos e após o posicionamento do elemento, as esperas são parafusadas. Assim como na ligação através de cálice, os espaços vazios entre a chapa e o elemento da fundação são preenchidos com graute.
- C. No caso da emenda de armadura com bainha e graute a armadura longitudinal fica como espera na fundação, essa espera poderá ser rosqueável ou em barras de aço. Em seguida, elas são encaixadas nas bainhas do pilar e posteriormente são preenchidas com graute. A espera também pode ser deixada no pilar e o nicho a ser encaixada pode estar localizado na fundação.
- D. Segundo Jaguaribe (2005, p.18) o último de tipo de ligação é pouco usada e é realizada “mediante a união por meio de solda ou acopladores da armadura saliente do pilar com a armadura saliente da fundação. Após a montagem, faz-se a concretagem da emenda.”

2.3.3 Vigas

Para Libânio (2016, p.9) “vigas são barras em geral horizontais que delimitam as lajes, suportam paredes e recebem ações das lajes ou de outras vigas e as transmitem para os apoios”

Assim como nos outros elementos estruturais citados, a padronização das vigas também é uma prioridade dentro do sistema de pré-fabricados e, ainda para Melo (2004 apud PINTO, 2016, p.42), vigas são os elementos mais bem estudados na parte de

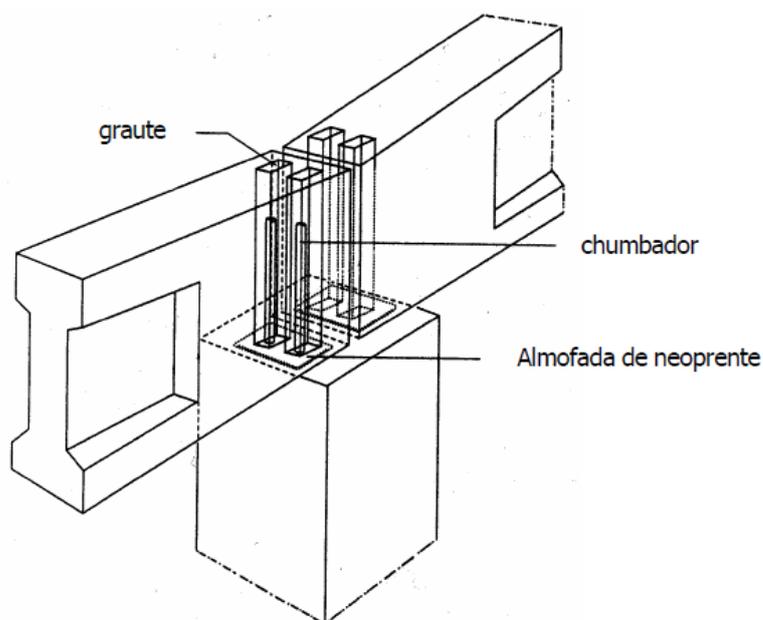
cálculo estrutural e a repetitividade das mesmas auxilia na racionalidade de tempo e material, bem como na facilidade de execução e montagem.

A ligação pilar-viga é simples, uma vez que vigas pré-fabricadas são projetadas apenas para serem apoiadas e essas ligações apenas transferem forças horizontais. Os chumbadores são o tipo de ligação mais utilizado nesses casos, pois possuem uma montagem simples e facilitada. Os chumbadores são utilizados apenas para transferir forças de tração e cisalhamento (VAN ACKER, 2002).

Van Acker (2002, p. 45) afirma ainda sobre essa ligação: “as forças horizontais são transferidas por ação de pino do chumbador inserido nos elementos de concreto, quando o nicho para o chumbador na extremidade da viga é grauteado.”

Na FIG. 8 a seguir vemos a ligação por meio de chumbadores ilustrada:

Figura 8 – Ligação Viga-pilar por meio de chumbadores



Fonte: Van Acker (2002, p. 46)

2.4 Fabricação, transporte e montagem

2.4.1 Fabricação

Como citado anteriormente, a produção de peças pré-fabricadas está associada à padronização de elementos e simplificação do projeto, o que conseqüentemente gera seu

menor custo. Buscar a industrialização e mecanização dos processos executivos acarreta em sustentabilidade, por economizar tanto em material, como em água e energia e também em mais qualidade, uma vez que o controle de qualidade é acentuado no ambiente industrial.

As peças que são padronizadas de modo habitual são pilares, vigas e lajes. Mais à frente será visto de forma detalhada a fabricação desses elementos.

A padronização estabelece detalhes, dimensões e geometria das peças. Com relação aos projetos, Van Acker (2002, p. 8) afirma que “o projetista pode selecionar o comprimento, dimensões e capacidade de carga dentro de certos limites. Essa informação pode ser encontrada em catálogos dos fabricantes”. O que nos leva a crer que mesmo sendo um sistema industrializado, o projetista tem grande importância no processo, determinando, dentro dos parâmetros do fabricante, quais formatos e peças atende melhor a obra em particular. Todavia, cautela ainda é necessária quando se trata de pré-fabricados, pois há pouca literatura brasileira sobre o assunto e normas ainda estão em aperfeiçoamento. Poucos profissionais podem se responsabilizar pelo dimensionamento, produção e comportamento das peças. Tabelas baseadas em bibliografias estrangeiras são apresentadas às empresas e através delas os projetistas indicam quais elementos serão utilizados (PETRUCELLI, 2009).

De forma geral, os processos de execução de pré-fabricados podem ser divididos em três tipos:

- A. Execução com fôrma estacionária;
- B. Execução com fôrma móvel (carrossel);
- C. Execução em pista de concretagem.

Execução com fôrma estacionária, as fôrmas ficam na mesma posição até o fim dos trabalhos e os trabalhos de execução giram em torno da fôrma.

Já na execução com fôrma móvel é completamente o oposto, as fôrmas que se deslocam até as equipes de execução dentro do processo e essas equipes ficam localizadas em pontos diversos da fábrica.

A execução em pista de concretagem, os elementos ficam servidos em uma linha de produção e de forma sequencial eles são alimentados. Método empregado para a produção de peças protendidas (PINTO, 2016).

A NBR 9062 (ABNT, 2017) explica de forma clara e precisa os métodos relativos aos materiais e procedimentos de fabricação, como fôrma (montagem, desmontagem, cuidados), concreto (dosagem, transporte, lançamento), manuseio e

armazenamento dos elementos (utilização de balancins, métodos de empilhamento), entre outros.

2.4.1.1 Fabricação de pilares e vigas

A produção desses elementos é destacada por Duarte et al., (2016, p. 33):

O processo de fabricação se inicia com a montagem das armaduras, determinado na NBR 6118 (ABNT, 2014), que podem ser armaduras protendidas e não protendidas, que depende do projetista informar ao fabricante. Após a montagem da armadura, a mesma é colocada do interior da fôrma de modo que, durante o lançamento do concreto, não saia da posição indicada pelo projeto sem alterar as distâncias das barras entre si e as faces internas das formas.

Após essa etapa o concreto deve ser adensado e esse procedimento pode ser feito por vibração, centrifugação ou prensagem.

No processo de cura, o concreto leva em torno de 28 dias para atingir a resistência de projeto e em seguida a desmolda e o armazenamento das peças é realizado. O armazenamento é sempre feito sobre apoios como cavaletes ou vigotas e em caso de empilhamento, cuidados para manter a verticalidade dos planos devem ser tomados. (DUARTE et al., 2016)

2.4.1.2 Fabricação de lajes alveolares

O processo executivo de lajes alveolares ocorre por extrusão ou fôrmas deslizantes, em pistas de protensão. Van Acker (2002, p. 73) afirma que: “as pistas de protensão são construídas em concreto ou em aço, com largura normal de 1200 mm e com comprimento de 80 a 150 m. O grau de protensão, tipos de cordoalhas e espessura dos elementos são os principais parâmetros de projeto”. Essas pistas são concretadas uma única vez e posteriormente recebem o corte no tamanho de cada uma das lajes.

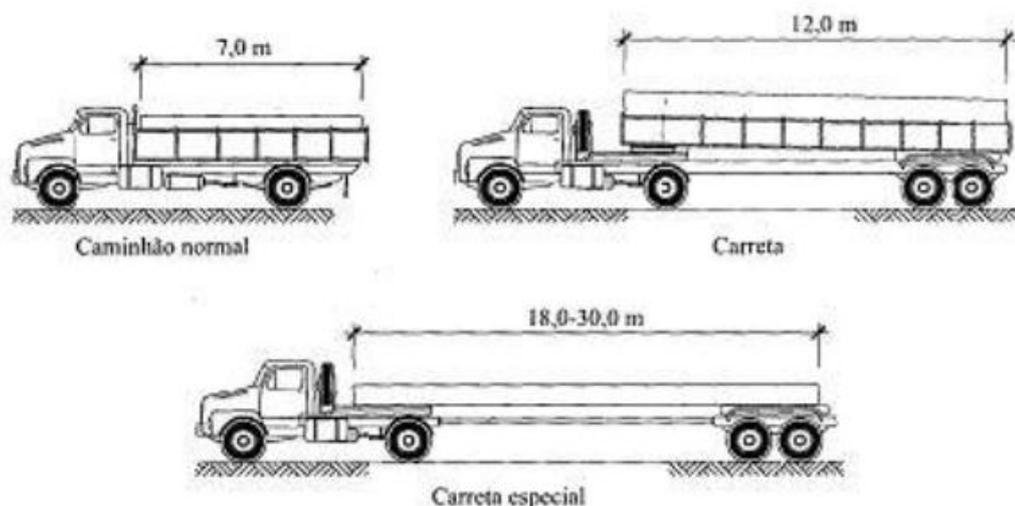
Para Cassol (2012) apud Treviso (2013, p.31) “O processo por extrusão gera um alto grau de compactação no concreto, oferecendo um produto com grande durabilidade”.

2.4.2 Transporte

O transporte refere-se à transferência das peças executadas da fábrica até ao local de montagem. Esse transporte é realizado de forma terrestre, por meio de rodovias e o deslocamento das peças é feito por caminhões, carretas e carretas especiais (EL DEBS 2000), conforme detalhado na FIG. 9 a seguir:

Os problemas mais comuns nessa etapa são o peso e comprimento das peças e principalmente a distância que será percorrida. Ainda existe um limite com o número de elementos a ser transportado por viagem em função do peso, comprimento e largura dessas peças (TREVISIO, 2013). Toda a logística para transporte deve ser observada com antecedência, pois muitas obras não têm a acessibilidade necessária para pré-fabricados de grande porte. De maneira geral, o valor de referência para as fábricas é de uma peça para até 30m.

Figura 9 – Veículos para transporte de pré-fabricados



Fonte: El Debs (2000)

Alguns dispositivos são utilizados como apoios para não danificar as peças e são constituídos ou revestidos com material macio, um exemplo desses dispositivos é o cavalete.

2.4.3 Montagem

Uma característica das estruturas pré-fabricadas é a agilidade no processo de montagem e o rápido levantamento da estrutura. Porém, para que isso ocorra, diversos fatores são importantes e imprescindíveis, desde o planejamento detalhado da montagem, até a organização de acessos no canteiro para facilitar o deslocamento das peças e equipamentos.

No processo de planejamento será definida a melhor sequência de montagem das peças, a fundação será verificada para que receba as mesmas e serão feitas análises de logísticas e de processos executivos da obra, de modo que a montagem não interfira em outros serviços que podem estar sendo executados concomitantes à montagem. Nesse mesmo aspecto de planejamento, condições climáticas também devem ser observadas (PINTO 2016).

A montagem é realizada por içamento, onde a escolha do equipamento pode ser influenciada por diversos fatores, que foram definidos por Pinto (2016, p. 64):

- a) Pesos, dimensões e raios de levantamento das peças mais pesadas e maiores;
- b) Número de levantamentos a serem feitos e a frequência das operações;
- c) Mobilidade requerida, condições de campo e espaço disponível;
- d) Necessidade de transportar os elementos a serem erguidos;
- e) Necessidade de manter os elementos no ar por longos períodos;
- f) Condições topográficas de acesso;
- g) Disponibilidade e custo do equipamento.

Os trechos onde tem maior número de elementos que se repetem são indicados para o início da montagem, a importância de montar todos os elementos de um determinado setor está relacionada em evitar que movimentações desnecessárias do guindaste sejam realizadas no canteiro. Para Van Acker (2002, p. 55) “as ligações devem ser projetadas de modo que os elementos possam ser içados, posicionados e desenganchados dos equipamentos o mais rápido possível.”

Já o ritmo de montagem está relacionado tanto à capacidade do equipamento utilizado, quanto ao ciclo de montagem, que é a colocação das peças, preparação de juntas e união dos elementos (PRIETO, 1968, apud TREVISI, 2013, p. 94-95).

O plano de movimentação de cargas que envolvem o içamento de peças é chamado de plano de *rigging* e é obrigatório por se tratar de uma atividade que envolve alto risco de acidentes. É um planejamento formal da movimentação de cargas e deve ser elaborado antes do início da operação de içamento. Sua finalidade, segundo Junior; Mazuco; Mathias (2019, p. 2) é “planejar e simular a operação por meio do estudo da carga a ser içada, equipamento e acessórios a serem utilizados, condições de solo e influências que podem influenciar na operação a ser realizada”.

De maneira geral, o plano de *rigging* pode ser elaborado para qualquer atividade que exija o içamento de cargas e nele deve conter uma memória de cálculo, demonstrativo das fases do içamento, estabelecimento de indicadores críticos e folgas previstas. O plano de *rigging* garante que a movimentação seja feita com segurança e agilidade, tornando a atividade mais segura (JUNIOR; MAZUCO; MATHIAS, 2019).

2.5 Estudo de caso

O objeto de estudo de caso desse trabalho é uma obra comercial na cidade de Barbacena – MG. Situada à Rua Doutor Antonino Sena Figueiredo, 807, no bairro Santa Tereza II. Todo o sistema estrutural da obra foi o pré-fabricado e a montagem de toda a estrutura foi acompanhada.

Trata-se de uma edificação para fins educacionais, sendo previsto para a mesma as futuras instalações da UNIPAC (Universidade Presidente Antônio Carlos) – Barbacena. A obra contou com 10.000m² de área construída, dividida em quatro pavimentos.

As peças que constituem o sistema estrutural (pilares, vigas e lajes) foram fabricadas em Belo Horizonte/MG, pela empresa “INCOPRE”, e a empresa também foi a responsável pelo projeto estrutural, transporte, içamento com o devido plano de *rigging* e montagem.

A fase de montagem da estrutura na obra teve início em 30 de julho de 2019. A execução da montagem ficou a cargo da empresa terceirizada “CAVAC”, que tem sua sede em Belo Horizonte e presta serviços em todo o território nacional.

2.5.1 Transporte

O transporte foi feito por carretas de 30m, sendo deslocado de Belo Horizonte a Barbacena e inicialmente transportando apenas os pilares e as vigas (FIG.10). Conforme a montagem foi avançando, as lajes também começaram a ser transportadas. O planejamento diário de montagem foi de suma importância nesse processo, pois através dele as peças corretas eram transportadas até a obra, uma vez que não havia local disponível apropriado para armazenamento de peças que não estavam previstas na montagem. Ou seja, eram deslocadas apenas as peças que seriam montadas naquele mesmo dia.

Figura 10 A – Carretas de transporte da empresa INCOPRE



Figura 10 B - Carretas de transporte da empresa INCOPRE



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

2.5.2 Montagem da estrutura

O tipo de ligação pilar-fundação adotado foi por meio de cálices e inicialmente a marcação e nivelamento dos cálices foram realizados para receber os devidos pilares. Para tais marcações é necessário o uso de uma estação total operada por um profissional habilitado, que nesse caso foi um topógrafo. Após o nível e o prumo do pilar serem definidos pelo mesmo, as marcações são feitas nos cálices e a partir de então o mesmo já está apto para a montagem (FIG. 11 e 12).

Figura 11 – Marcação no cálice sendo realizada



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

Figura 12 – Marcação no cálice já executada



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

A montagem foi feita por etapas, sendo o canteiro dividido em cinco partes.

Por se tratar de uma obra grande, foi possível obter uma logística satisfatória e executar vários serviços concomitantes, assim a estrutura foi montada seguindo o cronograma e outros serviços também sendo executados, de forma a garantir os prazos e a segurança da estrutura. Com relação à segurança da estrutura, é necessário que após a montagem dos dois primeiros pavimentos a estrutura desses precise ser intertravada para receber vigas e lajes nos pavimentos superiores, ou seja, é necessário que ao término da montagem das lajes, a estrutura seja chaveteada e a execução do piso precisa ser concluída, garantindo assim a estabilidade estrutural para a montagem dos próximos pavimentos.

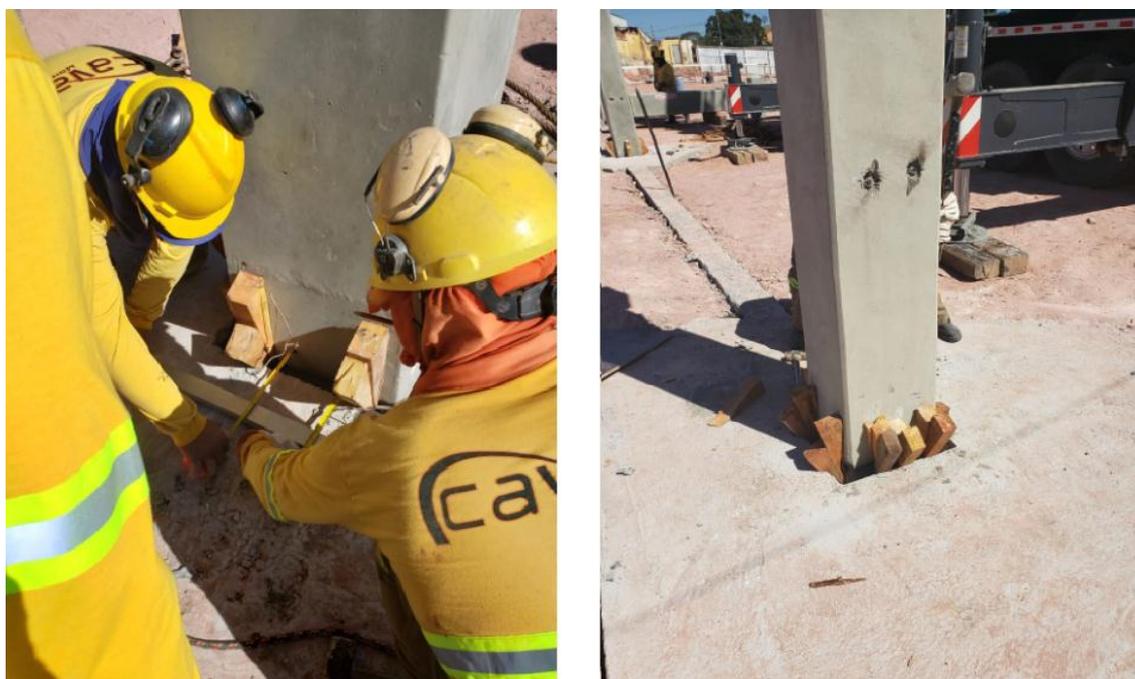
A montagem da estrutura teve início em 31 de julho de 2019. As peças foram içadas através de guindaste com capacidade de 80 toneladas (FIG.13). Após o posicionamento correto dos pilares, foi feito o encunhamento com madeira, para garantir a excentricidade do mesmo (FIG.14). Em seguida, o grauteamento dos vazios (entre pilar e cálice) é realizado. O processo de cura do graute nessa obra em questão foi de 24 horas, de acordo com o comprimento da laje e traço escolhido para o chaveteamento. Depois da cura, a peça fica pronta para receber as vigas.

Figura 13 – Içamento das primeiras peças



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

Figura 14 – Encunhamento dos pilares



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

A ligação viga-pilar foi feita por meio de chumbadores (FIG. 15) e, após a montagem, as ligações também foram grauteadas, para que a área pudesse receber as lajes. O processo de montagem, como já foi dito anteriormente, é muito rápido, em

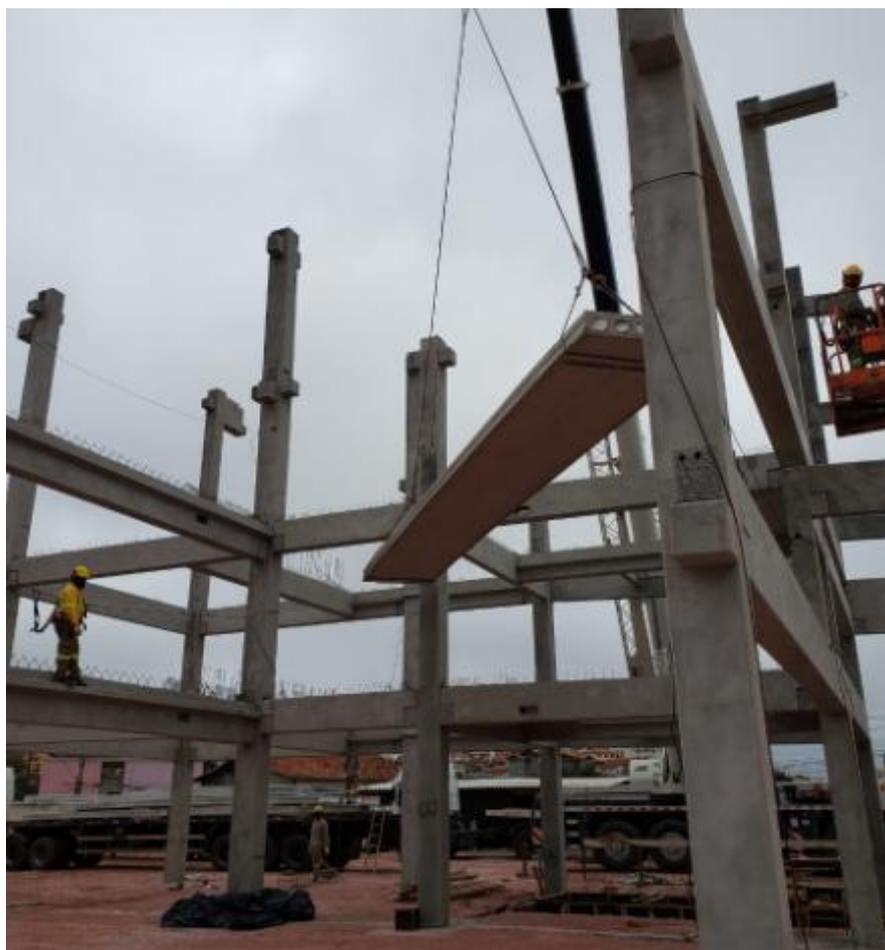
poucos dias é possível ver a estrutura pilar-viga toda montada e apta para receber as lajes. (FIG.16)

Figura 15 – Detalhes dos chumbadores na ligação viga-pilar



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

Figura 16 – Ligações viga-pilar aptas para receber as lajes alveolares



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

O tipo de laje utilizado nessa obra foi as lajes alveolares e a sua montagem teve início no dia 5 de agosto de 2019.

Conforme a montagem foi progredindo, as lajes foram equalizadas e chaveteadas, conforme FIG 17 abaixo:

Figura 17 – Equalização das lajes e chaveteamento com graute



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

Com a conclusão do chaveteamento das lajes e obedecendo ao tempo de cura indispensável, as mesmas já puderam receber a malha de aço necessária, com os devidos espaçadores, para que se dessem início a concretagem dos pisos, conforme FIG 18 abaixo:

Figura 18 – Lajes chaveteadas, com a malha de aço e aptas para serem concretadas



Fonte: Acervo particular da autora (2019)

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da grande necessidade de prazos que o mercado atual exige cada vez mais se buscam soluções que atendam como um todo, isto é, atender não só à redução nos prazos de execução, mas também alcançar um baixo custo e uma boa durabilidade da edificação.

Ao longo desse estudo observa-se que o sistema pré-fabricado, em geral, apresenta um custo elevado quando comparado ao sistema tradicional, porém, é notável que em relação ao planejamento, controle e principalmente tempo gasto na execução, ele oferece um resultado superior e bem mais satisfatório. É necessário que, no ato de definição do sistema que será utilizado, o alto custo do mesmo seja estudado e levado

em consideração de forma que atinja um nível que atenda a todas as necessidades do empreendimento.

A construção civil, acompanhando o desenvolvimento mundial, está cada vez mais apostando nos pré-fabricados e isso leva a crer que o custo poderá ser reduzido e dentro de alguns anos, valores mais atrativos para a execução desse sistema possa vir a se destacar.

A praticidade que o pré-fabricado oferece torna o método ainda mais atrativo e estimulante, visto no presente estudo de caso uma obra com 10.000m² de área construída, que teve toda sua parte estrutural executada em apenas seis meses. Assim, o método colaborou significativamente com o objetivo do empreendimento, que prezava pela agilidade em todos os processos e detinha de capital disponível para a realização do mesmo.

4 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **Manual de montagem de pré-moldados**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2017

DUARTE, E. L.; ELMIR, J. C. J; PITOL, A. P. **As principais vantagens e desvantagens da utilização de elementos pré-fabricados de concreto e seus processos de fabricação**. 2016. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da universidade FUMEC. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2016.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos/USP – projeto REENGE, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Design of concrete structures: general rules and rules for buildings**. 2004.

JAGUARIBE, K. B. **Ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado com profundidade de embutimento reduzida**. 165p Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

JUNIOR, A. G; MAZUCO, F. M; MATHIAS, R.V; **Içamento de grandes estruturas por meio do plano de rigging – estudo realizado em uma termelétrica do sul de Santa Catarina**. Capivari de Baixo, 2019.

LIBÂNIO, M. P - **Estruturas de concreto – Capítulo 1** - Fevereiro de 2016

MELO, C. E. E. **Manual Munte de Projetos em Pré-Fabricados de concreto**. Munte construções Industrializadas. São Paulo. Editora Pini, 2004 apud PINTO, J. C. C. C. **Análise comparativa da execução de obra de edificação utilizando estrutura de concreto pré-fabricada**. Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 191p. Dissertação de mestrado –Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

PETRUCELLI, N.S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 106f. Dissertação (Mestrado em construção civil) – Programa de pós-graduação em construção civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

PINTO, J. C. C. C. **Análise comparativa da execução de obra de edificação utilizando estrutura de concreto pré-fabricada**. Rio de Janeiro, 2016.

PORTO, S. **Pré-moldados de concreto: Soluções sustentáveis para obras habitacionais, esportivas e de infraestrutura**. IBRACON, LII CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, São Paulo, 2010.

REVEL, M. **La prefabricacion em la construccion**, 1.ed. Bilbao: Urmo, 1973, 457p.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1988.

SANTOS, C. H; CIRILO, R. E; SOUZA, R. F. **Estudo das ligações de montagem em estruturas pré-fabricadas de concreto**. Revista Pensar Engenharia, v. 2, n. 1, jan. 2014. Artigo Científico do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Kennedy.

SAYEGH, S. **Como especificar: estruturas pré-fabricadas de concreto**. Revista Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, ano 26, número 209, p. 78, ago.2011.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

TATU PRÉ-MOLDADOS. Laje alveolar protendida, 2008. Disponível em <www.tatu.com.br/paineis%20alveolares%20tatu.pdf> Acesso em: 24 set 2020.

TREVISIO, J. P. M. **Concreto pré-fabricado: análise de práticas adotadas no processo executivo de estrutura de grande porte**, Porto Alegre, 2013.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: Associação Brasileira de Construção Industrializada de concreto, 2002.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.