

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**GUSTAVO JOSÉ VALÕES DE SOUSA
KELLER CÉSAR MONTEIRO CAMARÇO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE
CONCRETO PRÉ-FABRICADOS COM ESTRUTURAS
MOLDADAS *IN LOCO***

ANÁPOLIS / GO

2019

**GUSTAVO JOSÉ VALÕES DE SOUSA
KELLER CÉSAR MONTEIRO CAMARÇO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE
CONCRETO PRÉ-FABRICADAS COM ESTRUTURAS
MOLDADAS *IN LOCO***

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, GUSTAVO JOSÉ VALÕES/ CAMARÇO, KELLER CÉSAR MONTEIRO

Estudo comparativo entre estruturas de concreto pré-fabricado com estruturas moldadas *in loco*

65P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - Uni Evangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Pré-fabricado | 2. Pré-moldado |
| 3. Industrialização | 4. Parede de Concreto |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10º) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, Gustavo José. Valões; CAMARÇO, Keller César Monteiro. Estudo comparativo entre estruturas de concreto pré-fabricadas com estruturas moldadas *in loco*. TCC, Curso de Engenharia Civil, Uni Evangélica, Anápolis, GO, 65p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo José Valões de Sousa

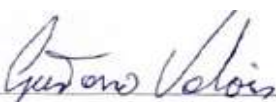
Keller César Monteiro Camarço

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de estruturas pré-fabricados em comparação com as estruturas moldadas dentro do canteiro de obras

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Uni Evangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Gustavo José Valões de Sousa

E-mail: gustavovaloes.56@gmail.com



Keller César Monteiro Camarço

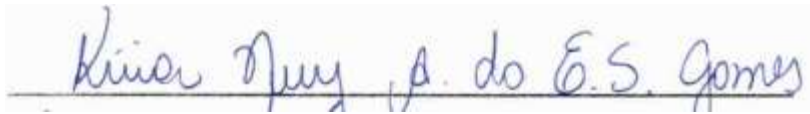
E-mail: kellercomarcao@gmail.com

**GUSTAVO JOSÉ VALÕES DE SOUSA
KELLER CÉSAR MONTEIRO CAMARÇO**

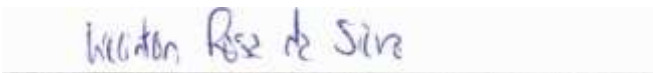
**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE
CONCRETO PRÉ-FABRICADOS COM ESTRUTURAS
MOLDADAS IN LOCO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**KÍRIA NERY AL S DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**ANDERSON DUTRA E SILVA, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 02 de DEZEMBRO de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela coragem e fé dada, o apoio e a motivação para não desistir mesmo com os problemas do dia a dia, agradeço também o apoio dos familiares, amigos e a professora Kíria por ter orientado métodos fundamentais para conclusão desta pesquisa.

Gustavo José Valões de Sousa

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, aos meus pais que me apoiaram e fizeram de todo o possível para dar mais esse passo. Agradeço aos amigos, ao vovô Tarso, meu parceiro no presente trabalho, e a professora Kíria por ter orientado, dedicado seu tempo, repassado seus conhecimentos e principalmente por ter tido paciência.

Keller César Monteiro Camarço

RESUMO

O tema abordado vem comparar o método construtivo convencional, de estruturas moldadas *in loco*, com o sistema pré-fabricado de concreto, que elucidada não somente o avanço da tecnologia na construção civil, mas também a evolução da construção de maneira geral, que está ligada diretamente ao estilo de vida da sociedade contemporânea, pretendendo sempre a evolução e mudanças, com o intuito de conseguir praticidade, eficiência em tempo hábil, qualidade executiva e um melhor custo benefício. No contexto da modernização, está evidente os benefícios proporcionados pela estrutura pré-fabricada, gerando agilidade na construção, estratégias diversificadas, além de se alcançar vãos relativamente altos devido a protensão. O presente trabalho apresenta o modo de execução de ambos os métodos, desde o processo de fabricação do elemento pré-fabricado, com também a montagem de uma trama de fôrmas para a execução de um elemento moldado *in loco*. Expõe as avaliações de grandes pensadores e profissionais da área e apresenta um estudo de caso, onde compara custos detalhados e prazos de entrega da estrutura. A partir dos resultados levantados, além dos aspectos econômicos e de otimização do tempo construtivo, a compatibilidade das peças pré-fabricadas com o objetivo arquitetônico e estético da edificação, tornam-se fatores decisivos na escolha da construção modular a optar-se.

PALAVRAS-CHAVE:

Pré-fabricado, Pré-moldado, Convencional, Estrutura, Concreto.

ABSTRACT

The theme approached compares the conventional construction method, molded structures on site, with the prefabricated concrete system, which not only has the advancement of technology in civil construction, but also the evolution of construction in general, which is directly applicable to the lifestyle of contemporary society, always seeking evolution and changing, aiming at practicality, efficiency in time available, executive quality and a better cost benefit. In the context of modernization, it is evident the benefits provided by the prefabricated structure, generating agility in construction, diversified strategies, and achieving relatively high values due to protection. The present work presents the method of execution of both methods, from the manufacturing process of the prefabricated element, as well as the assembly of a molding frame for execution of a molded element in place. It presents as great thinkers and professionals in the field and presents a case study, which compares the detailed costs and delivery times of the structure. From the results obtained, in addition to the economic aspects and the optimization of the construction time, the compatibility of prefabricated parts with the architectural and aesthetic purpose of the building, makes them decisive factors in choosing the modular construction to be used.

KEYWORDS:

Precast, Precast, Conventional, Structure, Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de moradia no período paleolítico.....	17
Figura 2 - Ruínas de Parthenon	17
Figura 3 - Hipódromo da Gávea.....	19
Figura 4 - Processo construtivo das escolas	20
Figura 5 - Campus Educacional Maré finalizado	21
Figura 6 - Execução da ampliação aeroporto de Brasília	22
Figura 7 - Obra da ampliação aeroporto de Brasília finalizada.....	23
Figura 8 - Etapas da fabricação do concreto pré-fabricado	26
Figura 9 - Fôrma metálica para pré-fabricados	27
Figura 10 - Caminhão para transporte de peça pré-fabricada.....	29
Figura 11 - Manuseio de peças pré-fabricadas	30
Figura 12 - Possibilidades de levantamento e rotação de elementos.....	31
Figura 13 - Armazenamento de peças pré-fabricadas	31
Figura 14 - Exemplos de elementos em concreto pré-fabricado	33
Figura 15 - Construção do Shopping Estação e da Estação Vilarinho	34
Figura 16 - Laje alveolar	35
Figura 17 - Pré-fabricados quanto a suas aplicações.....	36
Figura 18 - Pilar pré-fabricado embutido na fundação.....	37
Figura 19 - Ligação entre pilar e cálice	38
Figura 20 - Exemplo sistema de fôrmas	40
Figura 21 - Trama de pilar.....	41
Figura 22 - Representação esquemática de um sistema estrutural com lajes maciças	43
Figura 23 - Laje nervurada	44
Figura 24 - Elementos de enchimento	44
Figura 25 - Laje treliçada.....	45
Figura 26 - Concretagem com bomba-lança	46
Figura 27 - Vista panorâmica da obra (julho/19)	47
Figura 28 - Prédio apartamentos totalmente moldados <i>in loco</i>	48
Figura 29 - Formas e travamentos dos pilares, vigas e laje.....	49
Figura 30 - Bomba estacionária e bomba lança.....	50
Figura 31 - Perspectiva prédio apartamento em pré-fabricado.....	52
Figura 32 - Estrutura do prédio apartamento finalizada.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quem se propõe ao uso dessa tecnologia?	24
Gráfico 2 - Percentual de cimento destinado a pré-fabricados e pré-moldados	25
Gráfico 3 - Custo de uma estrutura de concreto armado	40
Gráfico 4 - Levantamento de gastos do prédio apartamento	51
Gráfico 5 - Levantamento de gastos do pré-fabricado	53

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Orçamento resumido: moldados <i>in loco</i>	54
Tabela 2- Orçamento resumido: pré-fabricado.....	54

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional Habitacional
CPM	Concreto Pré-Moldado
ELS	Estado de Limite de Serviço
ELU	Estados Limites Último
ISO	Organização Internacional para Padronização
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
RBCE	Revista Brasileira de Comércio Exterior
CP	Cimento Portland

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 PRÉ- FABRICADO	17
2.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA PRÉ-FABRICADO	17
2.2 DEFINIÇÃO	21
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	21
2.4 PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO.....	25
2.4.1 Fabricação.....	26
2.4.2 A importância da logística na construção pré-fabricada.....	28
2.4.3 Montagem.....	32
2.5 SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS APLICADOS NO CANTEIRO DE OBRAS	32
2.5.1 Elementos unidimensionais	33
2.5.2 Elementos bidimensionais.....	34
2.5.3 Elementos tridimensionais.....	37
3 ESTRUTURA CONVENCIONAL NO CONCRETO ARMADO.....	39
3.1 PROCESSO EXECUTIVO DE PILARES, VIGAS <i>IN LOCO</i>	39
3.2 LAJES	42
3.2.1 Lajes maciças	42
3.2.2 Lajes nervuradas	43
3.2.3 Lajes treliçadas	45
3.3 CONCRETAGEM	45
4 ESTUDO DE CASO	47
4.1 PRÉDIO DOS APARTAMENTOS.....	48
4.1.1 Método convencional.....	48

4.1.2	Método pré- fabricado	52
4.1.3	Análise dos dados.....	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXO A – ORÇAMENTO DE PRÉDIO COM ELEMENTOS <i>IN LOCO</i>	62
	ANEXO B - ORÇAMENTO DE PRÉDIO COM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS.	64
	ANEXO C - PROJETO DE FORMA ESTRUTURA <i>IN LOCO</i>	65

1 INTRODUÇÃO

É da natureza do ser humano sempre procurar a evolução, inovação, destaque pessoal e profissional. Tornou-se notório esse crescimento, no qual, muitas das vezes impulsionado pela necessidade, como se narra por toda extensão da história. A busca pelo desenvolvimento, também estimulada pela industrialização, está interligada com o que a sociedade contemporânea almeja: economia, produtividade e tempo. A partir desse princípio tem-se o desenvolvimento industrial com a criação de máquinas, produção em larga escala, especialização da mão de obra, tendo a revolução industrial como o marco zero dessa jornada.

Segundo El Debs (2017), aliada a Revolução Industrial, o final da segunda grande guerra mundial, em 1945, foi de grande importância para o desenvolvimento não só da indústria como também da construção civil, de forma que se buscavam a reconstrução das grandes cidades de forma rápida e econômica, pensando também que se tinha escassez de mão de obra, sendo assim, foi onde deram início as primeiras construções em concreto pré-fabricado.

Conforme Ordonéz (1974, *apud* Serra, 2005), foi no período pós Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, que começou, verdadeiramente, a história da pré-fabricação como “manifestação mais significativa da industrialização na construção”, e que a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se pela precisão de se construir em grande escala.

De acordo com Oliveira (2002) este método construtivo bastante efetivo com crescimento significativo no Brasil, ganha espaço a partir da industrialização nas grandes edificações, tendo como uma das principais vantagens o prazo de execução, organização no canteiro de obras e racionalização de materiais além de reduzir os imprevistos de execução, logo aumentando a produtividade da mão de obra.

Segundo El Debs (2017), mesmo com o avanço e uso significativo do método construtivo, a engenharia civil em comparação com o desenvolvimento tecnológico de outros setores profissionais ainda se encontra com uma tecnologia defasada de produção e pesquisas. Os avanços na utilização dos pré-fabricados na construção reformulam o conceito de construção civil, diminuindo custos, impactos visuais e ambientais, contrapondo a ideia de ser um setor arcaico através de novas técnicas e conhecimentos específicos.

Os pré-fabricados e os pré-moldados surgiram a partir do momento que grandes obras começaram exigir o aumento da eficiência na construção civil. Apesar dos dois processos serem similares é essencial saber qual será adequado para obra.

Segundo a norma brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 9062 de 2017, os elementos pré-moldados dispensam o uso de laboratório não exigindo um controle de qualidade rigoroso, podendo ser moldados dentro do canteiro de obras. Já o pré-fabricado é moldado previamente fora do canteiro, executado em nível industrial, no qual já exige um rigor técnico e controle de qualidade maior, além de dar ao cliente toda especificação do material, como registro de data, tipo de concreto, aço e as assinaturas dos responsáveis.

Esses processos também são conhecidos como construção modular, são materiais revolucionários que geram menos resíduos, permite que os projetos sejam concluídos em curto prazo e reduz os riscos de acidentes e responsabilidades relacionadas aos trabalhadores.

1.1 JUSTIFICATIVA

O mercado nacional se encontra com grande morosidade quanto a execução de obras civis e com a competitividade cada vez maior, sendo assim, surge a necessidade de buscar novas técnicas e soluções para se sobressair mediante a um nicho saturado. Com o intuito de adquirir informações e conhecimento de uma nova metodologia construtiva, a utilização de peças pré-fabricadas já é bastante comum em muitos países da Europa e está em grande ascensão nas construções do mercado brasileiro. Tendo vista que o uso do concreto pré-fabricado é ainda no cenário nacional um método construtivo que demanda grandes estudos na área, o tema em questão vem para elucidar e contribuir para o melhor entendimento a respeito de estruturas pré-fabricadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa terá como objetivo geral relacionar as estruturas pré-fabricadas com as estruturas moldadas dentro do canteiro de obras analisando os pontos favoráveis e desfavoráveis na utilização do pré-fabricado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as vantagens e desvantagens do pré-fabricado em projeto, execução, mão de obra e custos orçamentais;
- Identificar as principais necessidades e dificuldades do pré-fabricado que ocorrem dentro do canteiro de obras;
- Comparar a execução e custos entre as estruturas pré-fabricadas e moldadas *in loco*.

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado como base o conhecimento técnico e teórico da NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ABNT, 2017). O levantamento de informações se deu através de pesquisas e trabalhos realizados por grandes profissionais e pesquisadores da área, procurando agregar o máximo de informações para a compreensão do tema e expor a atual situação.

No estudo de caso, serão coletados dados em campo e em projeto de uma obra localizada no estado de Goiás, próximo ao Distrito Federal, buscando levantar informações orçamentais, metodologia de entrega e montagem do material visando um comparativo em dois métodos construtivos: pré-fabricadas e moldados *in loco*.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A fim de atingir o objetivo proposto, este trabalho trata o assunto dividindo-o em capítulos. No primeiro capítulo encontra-se a introdução do trabalho, contendo um breve histórico do tema abordado, justificativa do tema e objetivos a serem percorridos ao longo do trabalho.

O capítulo 2 aborda o histórico do tema de forma mais aprofundada, buscando compreender de que maneira e em quais circunstâncias iniciou-se o desenvolvimento do concreto pré-fabricado, chegando até os dias atuais. Tem-se uma breve definição do tema de forma técnica e logo após explanando sobre os prós e contras da utilização pré-fabricada. A fabricação, logística, projetos e montagens também são assuntos abordados neste capítulo, referenciando também as estruturas mais usuais no mercado da atualidade.

O capítulo 3 contextualiza sobre estrutura de concreto armado *in loco*, enfatizando o processo executivo dos elementos estruturais: pilares, vigas e lajes.

O capítulo 4 apresenta o estudo de caso, relatando todos os dados obtidos através de projetos, cronogramas de obra e orçamentos.

No capítulo 5 abrange o fechamento do trabalho, as considerações finais do estudo após ter realizado toda a comparação dos dados. Também tem um breve comentário de sugestões para trabalhos futuros, similar a este apresentado.

2 PRÉ- FABRICADO

2.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA PRÉ-FABRICADO

A busca pela simplificação e melhor desempenho dos materiais utilizados nas construções são aprimorados gradativamente ao longo da história. Têm-se narrativas de que até mesmo no período pré-histórico os homens já tinham a intenção de melhorar a performance de seus abrigos, recolhendo materiais próprios da natureza, como por exemplo, galhos parecidos entre si, e modificavam, cortavam e modulavam de acordo com seu desejo (Figura 1). Na Grécia antiga, as construções dos grandes templos, sendo o de Parthenon (Figura 2), símbolo histórico da arquitetura Grega, representa a grande evolução da forma de se construir, dando início a um sistema construtivo feito a partir de pedras lapidadas, que seguiam padrões que se repetiam (HALPIN & WOODHEAD, 1998).

Figura 1 - Ilustração de moradia no período paleolítico



Fonte: ESCOLA E EDUCAÇÃO, 2014

Figura 2 - Ruínas de Parthenon



Fonte: VAINFAS *et al*, 2010

Segundo Vasconcelos (2002, *apud* Pagoto, 2013), o sistema modular de concreto industrializado teve início apenas no século XX, se destacando especialmente em obras em que o prazo de execução é o fator determinante. Isso gerou a otimização do tempo e qualidade nos canteiros de obras.

Em 1900 teve origem os elementos pré-moldados de amplas dimensões para cobertura nos EUA, tais como pré-moldados de piso para uma construção de quatro andares (1905), afirma EL DEBS (2000, *apud* BOIÇA, 2006). Na Europa foram produzidas treliças e estacas de concreto armado (1906). Em 1907 Thomas Alva elaborou dentro do canteiro de obras todos elementos pré-moldados para levantar uma obra industrial nos EUA (VASCONCELLOS, 2002).

De acordo com Salas (1988) pode-se dividir o emprego da pré-fabricação na Europa em três estágios:

Nos anos de 1950 a 1970 existiu uma grande falta de edificações que foram devastadas pela guerra, com isso verificou-se a busca para construir edifícios habitacionais, escolas, indústrias e hospitais. Esses edifícios aos poucos foram construídos, além disso foi utilizado componentes pré-fabricados, onde se ajustou ao ciclo fechado de produção.

Sendo assim, de 1970 a 1980 houve a destruição de alguns edifícios construídos por painéis pré-fabricados, com isso, existiu uma rejeição social com os mesmos. Após esse acontecimento, a revisão desse método foi mais aprofundada, para buscar entender o processo construtivo desses elementos que de fato estavam se esgotando em curto prazo, tendo o início do enfraquecimento dos sistemas pré-fabricados.

Já após 1980, destacou-se a demolição de conjuntos habitacionais, principalmente depois do desprezo social e da danificação funcional dos sistemas. Dando sequência a consolidação da fabricação do ciclo aberto exigindo componentes adaptáveis e de grandes origens.

De acordo com Vasconcelos (2002, *apud* Diógenes, 2010) a primeira grande obra onde se teve o uso de elementos pré-fabricados no Brasil foi o Hipódromo da Gávea, Figura 3, no Rio de Janeiro. A empresa construtora dinamarquesa Christian-Nielsen, com filial no Brasil, executou em 1926 a obra completa do hipódromo, com diversas aplicações de elementos pré-fabricados, dentre eles, pode-se citar as estacas nas fundações e as cercas entorno da área reservada ao hipódromo.

Figura 3 - Hipódromo da Gávea

Fonte: MACHADO, 2016

Após a segunda guerra mundial em 1945, o Brasil foi um dos países que não sofreu devastações, logo não se interessando no desenvolvimento e aprendizado da nova modalidade que vinha se destacando, porém na Europa foi de grande valia e importância para as construções em larga escala. No entanto, conforme afirma a RBCE – Revista Brasileira de Comércio Exterior (2018) “o período em que a política industrial foi mais ativa — corresponde ao Plano de Metas na década de 1950 executado no período 1957/1961”, dessa forma a preocupação com a racionalização e “industrialização” de processos construtivos surgiu na mesma época conforme afirma OLIVEIRA (2002).

Além do desinteresse, tiveram vários outros fatores significativos para o fraco desenvolvimento e utilização de pré-fabricados no Brasil, como por exemplo, afirma Oliveira (2002), BNH – Banco Nacional Habitacional adotou uma política de desestímulo ao uso do pré-fabricado no setor de habitação, na expectativa de incentivar o emprego maciço de mão-de-obra não qualificada no canteiro de obra.

Até o final da década de 80 apresentou grande morosidade no sistema de pré-fabricados no Brasil, de forma que as poucas obras financiadas pelos BNH, que no final da década de 70 adotou novos critérios para o setor, apresentaram muitos problemas patológicos e de ordem operacional, tendo algumas que serem demolidas de acordo com Oliveira (2002). As construções mais usuais do sistema pré-fabricado, os galpões, tiveram um crescimento notório ao final da década de 80 conforme afirma ABCIC (1980, *apud* Oliveira, 2002):

Não existiu no Brasil uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor da construção industrializada. Assim, o que restou, até o início da década de noventa, se deve ao arrojo dos empresários interessados no avanço da industrialização, que buscavam redução de custos e maior agilidade no processo de execução. Por isso, até hoje, a utilização de processos construtivos pré-fabricados, tanto de elementos estruturais como de painéis de fechamento, é mais expressiva nas construções industriais, comerciais e em empreendimentos hoteleiros.

Atualmente o uso do CPM – Concreto Pré-Moldado de fábrica, vem ganhando espaço com maior frequência no cenário nacional em construções de grande porte como shopping centers e estádios, construídos, por exemplo, na copa do mundo em 2014 e nos jogos olímpicos em 2016, ambos sediados no Brasil. Também há construções cumprindo um papel relevante em construções habitacionais e obras de interesse social. Segundo a ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, em 2016 foram finalizadas 136 novas escolas dentro do programa da Prefeitura do Rio, denominado de Fábrica de Escolas do Amanhã Governador Brizola, considerada a maior obra com o uso de pré-fabricado de concreto da América Latina, tendo seu início representado na Figura 4 e seu produto final na Figura 5.

Figura 4 - Processo construtivo das escolas



Fonte: ROMAR, 2015.

Figura 5 - Campus Educacional Maré finalizado



Fonte: ROMAR, 2016.

2.2 DEFINIÇÃO

Para uma definição de concreto pré-fabricado deve-se entender que o mesmo é proporcionado através da industrialização na construção. Segundo Oliveira (2002):

O conceito de industrialização voltado para a construção civil pressupõe organização, planejamento, continuidade executiva, repetitividade e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício. E sua principal ferramenta é a racionalização construtiva.

De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), pré-fabricado é um elemento pré-moldado executado industrialmente em instalações permanentes da empresa destinada para este fim, que se enquadrem e estejam em conformidade com as especificações descritas na norma.

Em ressalva a norma citada acima, entende-se que o pré-moldado é um elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, para o qual se dispensa a existência de laboratório e demais instalações congêneres próprias.

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A construção industrializada proporciona ao longo da obra várias vantagens, não apenas se tratando de condições de serviço e qualidade de obra, mas também contribui para o desenvolvimento sustentável, que segundo a ONU- Organização das Nações Unidas, pode ser definida da seguinte forma: “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.” e pode ser considerado no meio ambiental, econômico e social.

De acordo com Pagoto (2013):

Outra vantagem para ele (concreto pré-fabricado) é a maior qualidade e precisão, proporcionando uma economia de materiais – concreto e aço – por terem cobrimentos menores de armadura, com isso, podemos mencionar benefícios ambientais, com o resultado de estruturas mais sustentáveis em virtude de menor consumo de energia.

Pode-se dizer ainda que a principal vantagem do uso de CPM está no prazo de execução. Para El Debs (2017) o uso de concreto pré-fabricado acarreta em benefícios bastante importantes como, a diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de materiais na construção.

Monteiro, engenheiro responsável pela ampliação do aeroporto de Brasília, em entrevista para a ABCIC (2014) diz que, a redução de tempo pode chegar de 50% a 60% do tempo de execução da estrutura, no qual foi de suma importância para a realização da ampliação do terminal aeroportuário no Aeroporto Internacional de Brasília — Presidente Juscelino Kubitschek, evidenciado nas Figuras 6 e 7, que segundo a ABCIC (2014), exigiu um cumprimento de cronograma ousado e de alta velocidade.

Figura 6 - Execução da ampliação aeroporto de Brasília



Fonte: ABCIC, 2014

Figura 7 - Obra da ampliação aeroporto de Brasília finalizada



Fonte: ABCIC, 2014

Consegue-se também, reduzir a quantidade de improvisos, redução da mão de obra e possíveis erros de execução, revisões projetuais, ou seja, promove grande otimização de custo.

Um outro quesito a se avaliar que gera grandes benefícios, é a produção em série. Esse processo gera agilidade na produção desencadeando a facilidade de seguir o cronograma rigorosamente, evitando imprevistos e atrasos, além de facilitar o controle de produtividade de cada operário, e a inspeção de qualidade final do produto (ALMEIDA, 2015).

Quando o assunto se trata de qualidade temos um significado amplo, que o objetivo final é conseguir que os produtos e serviços respondam as expectativas do cliente. Isso se inicia desde o planejamento do projeto, dando sequência ao processo com a produção dos componentes, assim respeitando o cronograma de entrega e de montagem do sistema construtivo pré-fabricado.

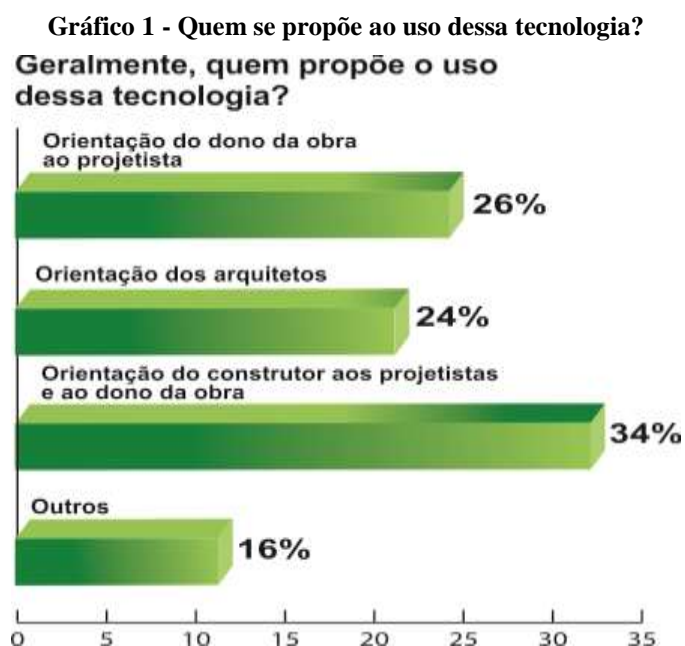
Segundo Van Acker (2002) a garantia da qualidade durante a fabricação consiste de procedimentos, instruções, inspeções regulares, testes e utilização dos resultados dos equipamentos de controle, matéria-prima, outros insumos, processos de produção e produtos. Os resultados da inspeção são registrados e ficam disponíveis aos clientes. Algumas empresas de pré-fabricados possuem certificação ISO 9000, sendo uma vantagem adicional garantindo qualidade dos processos da organização.

Em uma enquete feita pela revista Grandes Construções (2013), eles informam o resultado (Gráfico 1) de uma pesquisa feita em relação ao emprego de concreto pré-moldado, conforme a seguir:

Em nossa enquete sobre uso de pré-moldados de concreto, os leitores que responderam nos deram indicadores que apontam positivamente para o uso dessa tecnologia. 80% projetam ou constroem considerando o uso desse método construtivo. E optam por esse sistema por motivos diversos, desde sua praticidade até o controle de desperdícios.

A proposta de uso de pré-moldados acontece de diversas formas, mas de acordo com nossa enquete, para 33% dos leitores a ideia parte do construtor ao projetista e ao dono da obra. Para 25% a sugestão parte do dono da obra. 22% dizem que os arquitetos que propõe seu uso. 19% citaram outros.

Alguns fatores importantes que implicam diretamente na decisão do uso dos pré-fabricado são os altos investimentos iniciais, mão de obra especializada, conforme afirma El Debs (2017): “o custo da hora de operário em canteiro de obra de alguns países da Europa chega a valer até cinco vezes o custo da hora de operário do Brasil”, se falando de obras usando pré-fabricado. O maquinário a ser utilizado para transporte e montagem no local se transforma em um ponto muito importante para o sucesso e vantagem do uso do pré-fabricados em relação aos demais métodos construtivos, não somente na rapidez de execução, mas também como um retorno de custo benefício dentro do planejado. Dessa maneira o serviço deve ser executado de forma minuciosa e rápida, pois as atividades realizadas por máquina possuem uma diária de locação considerada alta, encarecendo o custo da obra e influenciando negativamente para a escolha do uso do CPM de fábrica.



Fonte: GRANDES CONSTRUÇÕES, 2013

Um dos principais pontos negativos das estruturas pré-fabricadas é devido o custo do transporte formado por impostos, frete e pedágios, inviabilizando muitas vezes o cliente não optar do uso desse tipo de tecnologia. Além dos problemas previstos dentro do canteiro que possam dificultar o acesso de caminhões de transporte e dos guindastes de montagem.

Além de todos os pontos técnicos que possam influenciar na escolha do modelo de estrutura a ser utilizada, podemos ainda citar que a cultura do país tem o maior voto, levando a monotonia e estagnação da maneira de construir, evidenciando um receio em escolhas alternativas para realização da obra. Assim, ligamos todos os fatores de escolhas e pontos técnicos ao Gráfico 2. Pode se observar uma comparação das taxas de cimento destinado a pré-fabricados e pré-moldados entre grandes potências mundiais. No Brasil ainda é muito baixo, mantendo um índice aproximadamente de 4,5%, enquanto em regiões como Finlândia, Dinamarca e Holanda, chegam a um percentual quase 10 vezes maior que o Brasil.

Gráfico 2 - Percentual de cimento destinado a pré-fabricados e pré-moldados



Fonte: ABCIC, 2014

2.4 PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

Segundo Melo, (2007, p.381):

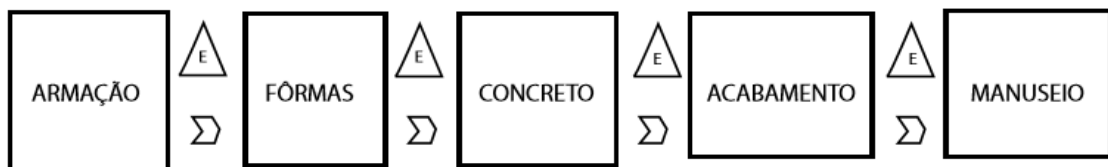
As plantas gerais de montagem e os desenhos de obra são as únicas formas de comunicação entre o projetista e os executores da obra, e a responsabilidade de execução do projeto inclui a qualidade e a quantidade das informações contidas nos desenhos gerais.

Visto que o sucesso de uma obra realizada com elementos pré-fabricados é o projeto, cria-se uma necessidade de um elevado nível de detalhamento auxiliando ao máximo no processo de execução, uma vez que, esse sistema não permite ajustes nas dimensões de última hora, como um erro ou uma situação não prevista em projeto, devendo ter cautela, percepção de espaço e principalmente agregando toda a logística à fase de elaboração dos projetos. A NBR 9062 (ABNT, 2017) tem como um dos principais itens para a análise estrutural o item 5.2.1.4 que diz: A análise deve ser efetuada considerando todas as fases por que possam passar os elementos, os quais sejam suscetíveis a condições desfavoráveis quanto aos ELU's - Estados Limites Último e ELS – Estado Limite de Serviço previstas na NBR 6118 (ABNT, 2014). As fases frequentes que exigem dimensionamento e verificação dos elementos são: fabricação, manuseio, armazenamento, transporte e montagem.

2.4.1 Fabricação

Na perspectiva de Melo (2007), o sistema de manufatura do concreto pré-fabricado é compartimentado conforme representado na Figura 8:

Figura 8 - Etapas da fabricação do concreto pré-fabricado



Fonte: MELO, 2007

Quanto a preparação das armaduras, a NBR 9062 (ABNT, 2017) afirma que devem ser preparadas da seguinte forma: para armaduras passivas, deve ser feita a conferência quanto à limpeza e oxidação, tamanho dos cortes e dobras, o atendimento as tolerâncias especificadas, apuração dos tipos, quantidades e locações das barras e insertos metálicos, estes seguindo projeto, e averiguação das deformações e torções no estoque das armações prontas e no seu posicionamento final; já para armadura protendida, seguem-se a análise da limpeza e oxidação, os tipos, quantidade, tamanhos e locações de fios e cordoalhas de acordo com suas respectivas tolerâncias, inspenionamento dos dispositivos de ancoragem e tração dos fios, ordenação dos calços e outros dispositivos de manutenção da pré-tração destes.

Destaca-se também a viabilidade de empregar solda para facilitar a armação e possibilitar ancoragens mecânicas, e destaca que em virtude das condições em fábricas, esse recurso é bem mais confiável que a solda de campo, mas sua qualidade deve ser verificada periodicamente (El DEBS, 2017).

As fôrmas devem ser adaptadas de acordo com as tolerâncias de dimensões conforme o item 5.2.2 da NBR 9062 (ABNT, 2017): “Podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidos ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais” como demonstrado na Figura 9.

Figura 9 - Fôrma metálica para pré-fabricados



Fonte: DIÓGENES, 2010

Quanto ao preparo do concreto deve se seguir a NBR 12655 (ABNT, 2015) que relata o uso de aditivos ou adições no concreto, com finalidade de acelerar ou retarda o início da pega, amenizando a temperatura do concreto com a relação água/cimento, reduzindo a permeabilidade ou aprimorando a resistência aos agentes agressivos e as variações climáticas.

“De todos os tipos de cimento, o mais utilizado para a indústria de pré-fabricados é o CP V-ARI, devido à sua característica principal de resistência inicial elevada” (MELO, 2007, p. 405). O cimento CP V-ARI-RS possui uma maior durabilidade e resistência a sulfatos em ambientes agressivos (obras de saneamento, esgotos e ambientes marinhos) além de apresentar o tempo

de pega igual ao CP II E40 e proporcionar uma desforma rápida para agilizar as grandes obras sendo o mais utilizado para a indústria de pré-fabricados.

Ainda se tratando das propriedades do concreto a norma NBR 9062 (ABNT, 2017) abrange no item 8.2.2.2 que:

O concreto dos elementos pré-moldados e pré-fabricados deve ter resistência característica à compressão (f_{ck}) em conformidade com a ABNT NBR 6118. Para o saque, manuseio, transporte e montagem, deve ser definida em projeto a resistência do concreto para a referida etapa do processo, com o mínimo de 15 MPa para elementos em concreto armado e 21 MPa para elementos em concreto protendido (ver 9.2.5.3). O concreto pré-misturado deve ser fornecido com base na resistência característica.

Já El Debs (2017), apresenta este processo subdividido em três grupos, denominados em:

- Atividades preliminares, consistente no armazenamento das matérias primas, preparação das armaduras, dosagem e mistura de concreto;
- A execução propriamente dita, iniciando-se na preparação da fôrma, recebimento da armadura, seguida de sua concretagem e tempo de cura;
- Desmoldagem; conclui-se as atividades posteriores, composta pelo transporte do elemento construtivo do local até a área de armazenamento, suas cinco etapas de inspeção, tratamentos finais e eventuais consertos.

2.4.2 A importância da logística na construção pré-fabricada

A utilização da logística é uma das ferramentas fundamentais para o sucesso de sistemas de gestão da produção na construção civil. Segundo Silva & Cardoso (2000), a gestão da logística na construção civil desenvolve atividades de planejamento, organização, direção e controle dos fluxos físicos no canteiro de obras.

Ao longo dos tempos a logística sofreu diversas alterações. Começando com uso dela em estudos logísticos na arte da guerra até chegar hoje, sendo aplicada em grandes empresas.

JUNIOR (2007) afirma que dentro desse progresso, a tradicional logística passou a agregar os seguintes valores à cadeia produtiva:

Valor do lugar: com o tempo, transporte e armazenagem foi sendo confundido devido a tais atividades. Com isso o conceito de transporte vem se deslocando cada vez mais no quesito de materiais e mercadorias que são distribuídas. Contudo dependendo do transporte do produto, desde a primeira etapa sendo a planta industrial ao depósito e do local que está a mercadoria até

a loja ou residência do cliente. Ou até mesmo nos elementos pré-fabricados. Com todos esses processos veio também a evolução tecnológica ao se transportar algo de grande importância. Mas com o tempo, passou a não satisfazer de maneira isolada as necessidades e expectativas que os clientes buscavam.

Valor de tempo: vem tornando-se cada vez mais importante por conta do valor que os produtos mostram. Com o tempo eles vão sendo gradativamente produzidos e os custos financeiros são cada vez maiores.

Quanto ao valor de qualidade, vem se manifestando uma grande luta quando o assunto se trata de economia. Até mesmo quando o produto é disponibilizado desde a origem até o destino final, e buscando sempre atender o prazo estabelecido.

A logística está diretamente relacionada ao transporte, manuseio e armazenamento das peças, além de promover recursos e dar informações para a execução de todas as atividades de forma organizada. Todas essas características devem ser bem definidas previamente conforme as exigências da NBR 9062 (ABNT, 2017).

O item 10.3 da NBR 9062 (ABNT, 2017) cita especificamente a respeito do transporte dos elementos pré-fabricados, orientando que devem ser tomadas as devidas precauções, que o transporte deve ser realizado em um veículo apropriado (Figura 10) e como devem ficar dispostos durante o trajeto.

Figura 10 - Caminhão para transporte de peça pré-fabricada



Além de citar no item 10.1 sobre do manuseio das peças, diz o seguinte: os elementos pré-fabricados devem ser suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto perfeitamente definidos em projeto, evitando-se choques e movimentos abruptos. Devem ser obedecidas as especificações do projeto de içamento (ângulos e posicionamentos) para os cabos de aço e outros dispositivos de içamento, conforme disposto em 5.3.3. As máquinas de suspensão, balancins, cabos de aço, ganchos e outros dispositivos devem ser dimensionados levando-se em conta as solicitações dinâmicas, conforme o disposto em 5.3.2. conforme mostra a Figura 11.

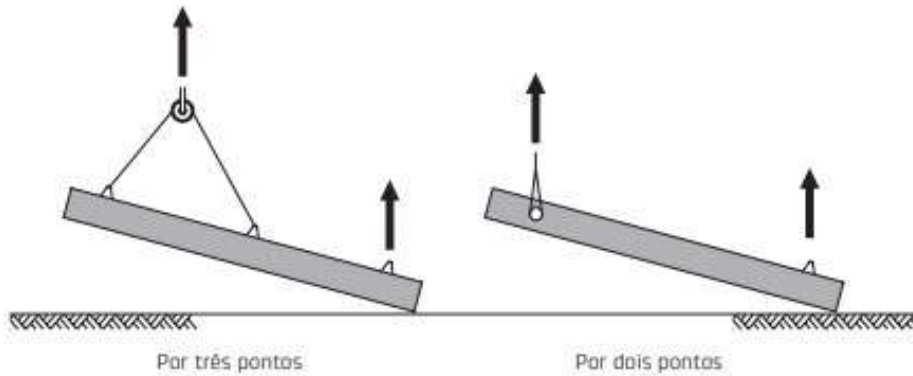
Figura 11 - Manuseio de peças pré-fabricadas



Fonte: AUTORES, 2018

Ilustrado na Figura 12, El Debs (2017) informa que os pontos de içamento devem ficar superiores ao centro de gravidade dos elementos, para que haja equilíbrio estável.

Figura 12 - Possibilidades de levantamento e rotação de elementos.



Fonte: EL DEBS, 2017

As alças e pinos de içamento são considerados ligações temporárias como se refere NBR 9062 (ABNT, 2017) utilizando dispositivos de manuseio para montagem das peças. Quando inserido na face externa da peça predomina a tração, já na parte imersa do concreto prevalece o cisalhamento por aderência. Solicitando barras de aço ou cordoalhas ou cabos que formem um ângulo mínimo de 45°. Em todos os casos devem ser verificados as condições da peça caso haja necessidade dispositivos especiais para o içamento.

A respeito do armazenamento a NBR 9062 (ABNT, 2017) diz que os elementos de concreto devem ser empilhados com os mesmos cuidados do manuseio, devem ser armazenados com apetrechos de apoio, como cavaletes, caibros ou vigotas, constituídos ou revestidos de material suficientemente macio para evitar danificação das peças, garantindo estabilidade como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Armazenamento de peças pré-fabricadas



Fonte: AUTORES, 2018

2.4.3 Montagem

O que atrai muitos empresários na escolha do pré-fabricado é a agilidade do seu processo de montagem, pois consegue-se assim um retorno rápido do seu investimento. Outro fator atrativo é a não geração de entulhos, deixando o canteiro limpo e organizado.

De acordo com manual da ABCIC (2014), deve ser feita uma verificação dos elementos pré-fabricados antes de descarrega-los na obra, permitindo visualizar possíveis defeitos. Alguns itens devem ser verificados antes do descarregamento como:





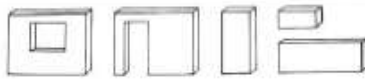


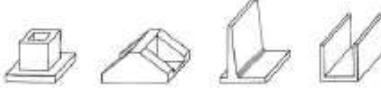
- Identificação se a quantidade de peças veio de acordo com a Nota Fiscal;
- Averiguar se todas as peças estão com o selo de qualidade ABCIC;
- Analisar em toda superfície das peças a presença de fissuras que podem ocorrer no momento do carregamento;
- Içamento com alças e inserção: Assegurar-se que o plano onde será efetuado o içamento está em boas condições;

Todos os mecanismos de içamento devem possuir força necessária para que a peça seja içada, possuindo uma programação de sequência de montagem das peças. Portanto deve-se analisar a estrutura sendo ela integralmente pré-fabricada, mista com estrutura moldada *in-loco*, mista com estrutura metálica, com lajes alveolares ou painéis de fechamento. No qual esses elementos ainda em fábrica devem ser examinados antes do carregamento e na chegada do canteiro antes do descarregamento. Sendo assim, cada item deve ser acrescentado a cada peculiaridade de cada projeto (ABCIC, 2014).

2.5 SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS APLICADOS NO CANTEIRO DE OBRAS

Atualmente as ramificações de elementos modulares são bastantes significativas, indo de fachada pré-fabricadas até elementos de fundação. As peças são relacionadas de maneira uniforme em cada classe dos elementos. Usualmente, as particularidades, propriedades e geometria das seções transversais dos objetos são padronizadas, o que não ocorre com regularidade em relação a sua seção longitudinal, afirma Van Acker (2002). Alguns elementos que são padronizados como as vigas, pilares e lajes. Pode se observar alguns exemplos de seções transversais utilizadas em peças pré-fabricadas na Figura 14:

Figura 14 - Exemplos de elementos em concreto pré-fabricado

Concreto armado – Elementos de montagem		
Tipos	Elementos	Exemplos
Elementos uni-dimensionais	Pilares	
	Vigas	
	Barras de treliças	
Elementos bi-dimensionais	Placas de lajes	
	Placas de paredes	
	Placas especiais	
	Calhas e Rufos	
Elementos tri-dimensionais	Fundações	

Fonte: LAUTERBACH, 2004

2.5.1 Elementos unidimensionais

Os modelos de elementos unidimensionais são constituídos de partes de barras ou componentes estruturais, que por sua vez em segmentos de uma reta são constituídos por pilares, vigas pré-moldadas. Em um plano são constituídos por treliças planas, pórticos planos e grelhas. Já em um espaço tridimensional as treliças e pórticos, tendo como característica um número finito de incógnitas como afirma Soriano (2003).

As aplicações destes sistemas, se utiliza geralmente, em galpões, centros de distribuição comerciais e instalações de agronegócio como descreve Chastre & Lúcio (2012).

Enquanto Van Acker (2002) conceitua que os sistemas esqueléticos permitem alcançar espaços abertos sem interseção de vigas e pilares tendo uma ótima utilidade para construções de shopping centers, indústrias, estacionamentos, quadras esportivas, e também, para construções de salas de escritórios. Na Figura 15, observa-se o sistema esquelético da construção do Shopping Estação e da Estação Vilarinho, em Belo Horizonte.

Figura 15 - Construção do Shopping Estação e da Estação Vilarinho



Fonte: EDUARDO, 2015

2.5.2 Elementos bidimensionais

Os elementos bidimensionais estão entre os mais utilizados nas construções atuais juntamente com os de ordem uni dimensional (vigas, pilares e barras treliça). Além de se destacarem em sua função estrutural, as placas de lajes e paredes também participam diretamente na função estética da edificação, deixando de ter a monotonia visual e passando a ser uma opção vantajosa, unindo qualidade, rapidez e estética.

Segundo Oliveira (2002), os painéis de fachada têm sua base constituída por uma camada de concreto armado, feita essencialmente para garantir a performance para qual o elemento foi projetado, podendo destacar: isolamento térmico e acústico, segurança estrutural, resistência ao fogo e durabilidade compatível a qual o edifício foi projetado.

De acordo com à ABCIC (2016), para a montagem de uma estrutura convencional existem tolerâncias, assim, “facilitando” na hora da montagem. Mas para o caso dos painéis, nenhuma tolerância pode haver. As peças devem ficar exatamente com as medidas de projeto, já que o painel arquitetônico tem um apelo enorme pela estética.

Em entrevista a ABCIC (2016), a arquiteta Rosilene Fontes, responsável por um projeto arquitetônico da fachada de um edifício comercial em São Paulo/SP no ano de 2014, conta que com o pré-fabricado teve a liberdade de criar, inovar esteticamente e com a vantagem de ser possível de executar. Além de resultar numa obra de execução rápida e limpa.

As lajes alveolares como mostra a Figura 16, destacam-se por serem regularmente utilizadas em obras de médio e grande porte devido as suas características que são bastante significativas. De acordo com Diógenes (2010), as lajes alveolares podem ser ocas ou vazadas e os alvéolos podem possuir variados formatos, reduzindo o peso próprio e a quantidade de concreto empregada no elemento. Alienado às vantagens físicas, o comportamento estrutural também possui números expressivos, onde as lajes alveolares podem atuar em um intervalo de vãos na faixa de 5 a 15 metros de comprimento e larguras de 1,0 m podendo chegar a 2,5m.


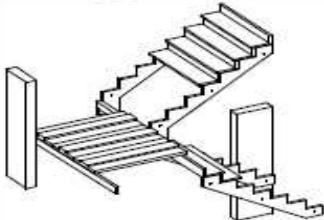
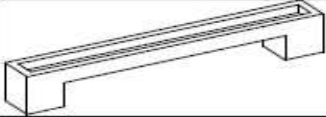
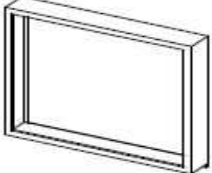
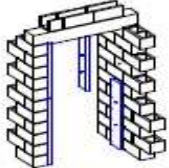
Figura 16 - Laje alveolar



Fonte: AUTORES, 2018

Dentro dos componentes bidimensionais, ainda existem muitos elementos a serem citados e utilizados de forma vantajosa, como demonstrado na Figura 17. Estes, também estão presentes com frequência na construção industrializada, visando a otimização de recursos, sempre garantindo a qualidade e produtividade.

Figura 17 - Pré-fabricados quanto a suas aplicações

Pré-fabricado	Aplicação Vantajosa	Ilustração
Blocos de concreto	Constituem as paredes estruturais das edificações em alvenaria estrutural. Podem reduzir o custo de edificações de até 10 pavimentos (sem transição) em torno de 20 a 40%.	
Escadas	Minimizam os transtornos de execução de escadas no local, com vantagens quanto ao manuseio, compatibilidade com a capacidade do ser humano, rapidez e simplificação de execução. As paredes estruturais suportam o peso das escadas pré-moldadas.	
Verga	Além da função estrutural, também promovem o ajuste dimensional assimétrico das aberturas de portas. Permitem o assentamento ininterrupto dos blocos.	
Contra-marcos	Regulam o vão das aberturas, são assentados durante a elevação da alvenaria representando terminalidade do serviço e melhoram o desempenho de estanqueidade das esquadrias.	
Peças de ajuste dimensional	Promovem a coordenação modular entre os componentes com dimensões incompatíveis, sem necessitar de enchimentos e conseqüentes perdas de materiais, racionalizando o processo.	

Fonte: MAMEDE, 2001

Alguns desses elementos, como por exemplo, as escadas e vergas, trabalham de forma muito interessante ao decorrer da obra, promovendo de forma clara uma das principais vantagens dos pré-fabricados, a rapidez de execução.

As escadas, elementos de fácil manuseio e montagem, contribuem de forma relevante no tempo de execução, pois quando moldadas *in loco*, exigem um trabalho preciso na preparação das formas, escoras e montagem da ferragem, demandando de tempo, além do preparo do concreto e o seu prazo de cura. O mesmo pode-se dizer das vergas pré-fabricadas, um elemento que não é a principal peça pré-fabricada e nem é lembrado com regularidade. Porém, também é um item que quando utilizado acelera a execução, permitindo continuar o

assentamento de blocos sobre ela de maneira consecutiva, além de auxiliar no ajuste dimensional e de nível.

2.5.3 Elementos tridimensionais

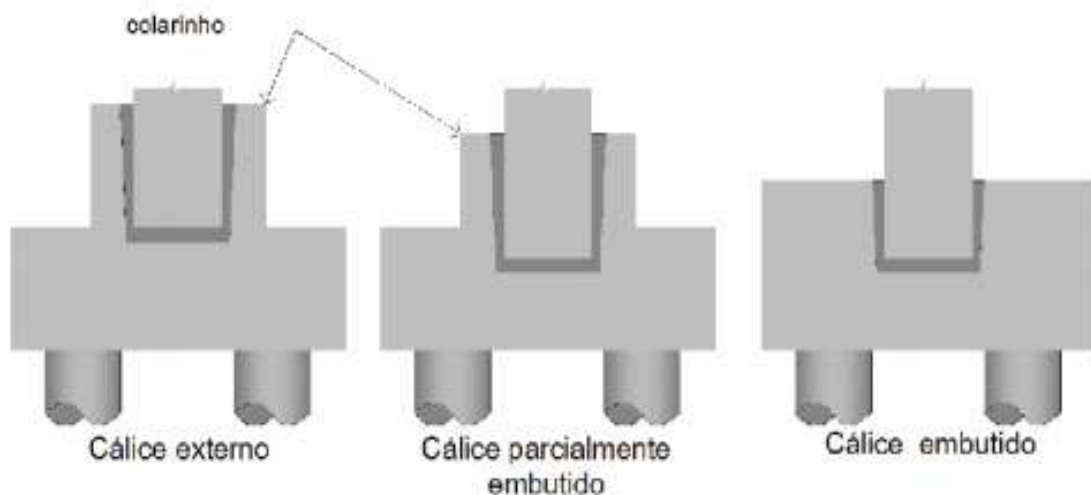
Os modelos tridimensionais ou de volume são elementos com três direções, por exemplo, de um bloco de fundação que transferem ao solo as cargas provenientes dos pilares, considerando as características mecânicas envolvidas (SORIANO, 2003).

Soriano (2003) afirma que as fundações podem ser classificadas em:

- diretas ou rasas quando a transferência de carga se der a pequena profundidade. Neste caso, o elemento estrutural de fundação que distribui a carga do pilar para o solo chama-se sapata direta;
- profundas em estacas ou em tubulão, quando a transferência de carga se der a “grande” profundidade. Neste caso, o elemento estrutural de fundação que transfere a carga do pilar para as estacas ou tubulões chama-se bloco.

O estudo de ligações apresenta grande importância em estruturas pré-moldadas de concreto, analisando a estrutura e dimensão das peças. Campos (2010) relata que a ligação por meio de cálice (modelo tridimensional de fundação superficial) é a mais aplicada atualmente no Brasil, apresentando grandes vantagens como: simplicidade na hora da montagem, boa capacidade de transmissão de força normal, força cortante e momentos fletores, dentre outras. Enquanto a autora Canha (2004), afirma que as ligações entre os pilares e a fundação por meio do cálice consiste em unir parte do pilar a fundação como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Pilar pré-fabricado embutido na fundação

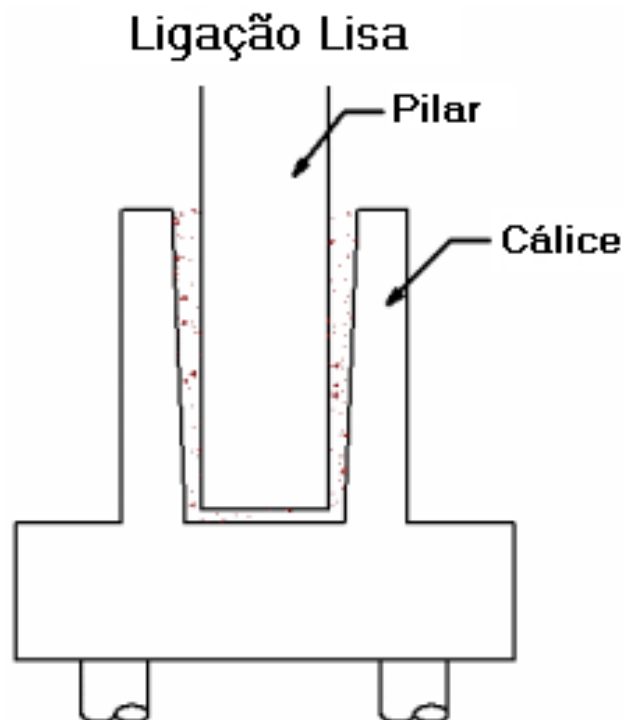


As ligações existentes no elemento estrutural pelo modelo tridimensional cálice é subdividida em três interfaces, sendo estas exemplificadas pela NBR 9062 (ABNT, 2017) como:

As ligações entre pilar e fundação por meio de cálice podem ser através de interface lisa, rugosa ou por chave de cisalhamento, sendo considerada interface rugosa quando houver uma rugosidade mínima de 3 mm a cada 3 cm, quer na superfície do cálice quer na superfície do pilar. A interface por chave de cisalhamento é obtida quando a configuração das chaves apresentar uma profundidade mínima de 1 cm a cada 5 cm nas superfícies do cálice e do pilar. Em casos onde essas condições não são atendidas a ligação é considerada com interface lisa.

Outro método de ligação entre o pilar e o elemento de fundação é por meio do colarinho, que de acordo com NBR 9062 (ABNT, 2017) pode ser entendido com uma parcela do cálice sendo constituído de paredes salientes, que ficam entorno da cavidade recebedora do pilar. Após a instalação do pilar os espaços não preenchidos são completados com graute ou concreto auxiliando no travamento do pilar (Figura 19).

Figura 19 - Ligação entre pilar e cálice



Fonte: FRANCESCHI, 2019

3 ESTRUTURA CONVENCIONAL NO CONCRETO ARMADO

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) o item 3.1.3 define elementos de concreto armado como: “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Para Fajersztajn (1987, *apud* Salim Neto, 2009), o uso do concreto armado para a realização das estruturas no Brasil ainda são as mais utilizadas devido ao hábito na maneira de se construir, sendo até uma tradição. De uma concepção econômica em geral, o concreto armado representa em média 20% do custo de uma construção.

Segundo Assahi (2005):

No processo produtivo tradicional de edifícios (elementos estruturais moldados “*in-loco*”), a execução da estrutura sempre faz parte do caminho crítico na composição do cronograma físico. Desconsiderando-se alguns casos atípicos, a execução da estrutura consome, aproximadamente, 50% do prazo total de execução. Por sua vez, a fôrma é responsável por 60% deste, concluindo-se que ela consome 30% do prazo total do empreendimento. Ou seja, as atividades de montagem da fôrma são responsáveis por, aproximadamente 30% do caminho crítico do cronograma físico, elegendo-se uma das atividades de maior influência no prazo de execução de qualquer empreendimento civil com estrutura em concreto armado.

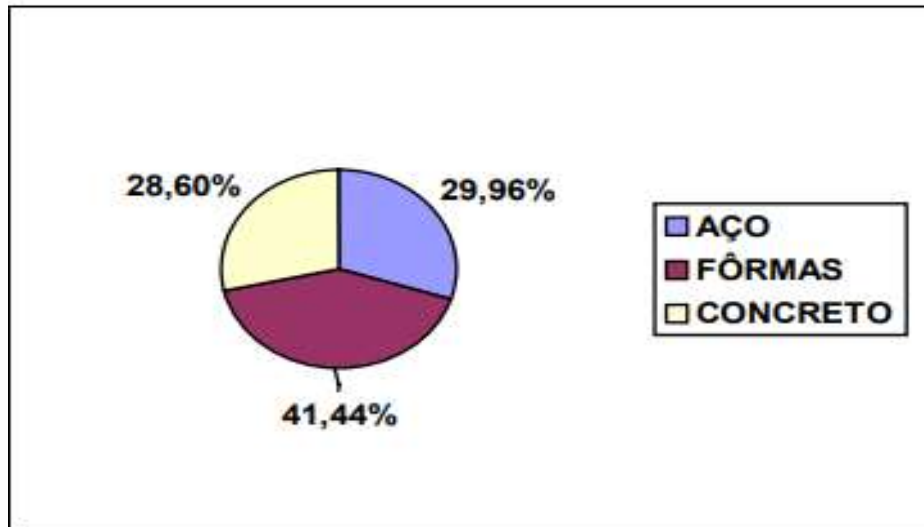
3.1 PROCESSO EXECUTIVO DE PILARES, VIGAS *IN LOCO*

Desde o início da história da construção civil, as fôrmas permitem dar forma a estrutura, sendo uma estrutura provisória que deve atender condições seguras tanto na hora da montagem, quanto na desforma, conforme a requerido no projeto (SALGADO, 2014).

Esse sistema construtivo consiste em moldar pilares, vigas e lajes *in loco*, utilizando formas de madeira ou metálicas. Além disso, o aço é posicionado dentro delas, sendo fixado de acordo como o projeto estrutural e travado durante a concretagem. Após a concretagem deve-se vibrar o concreto e esperar durante sete dias para a retirada das fôrmas (ALLEN & IANO, 2013).

Usualmente as obras feitas com estruturas convencionais de concreto moldado *in loco* demandam uma grande quantidade de fôrmas (Figura 20) que conforme Morikawa (2003) introduz, elas possuem peso relevante no custo da obra, podendo chegar facilmente a metade dos custos de uma obra com concreto armado, sendo assim, todo o cuidado com as mesmas podem resultar em uma economia significativa ao final da obra. O Gráfico 3, demonstra claramente como o custo das fôrmas sempre foi relevante nas despesas de uma obra.

Gráfico 3 - Custo de uma estrutura de concreto armado



Fonte: MORIKAWA, 2003

Figura 20 - Exemplo sistema de fôrmas



Fonte: MORIKAWA, 2003

De acordo com Freire (2001), a utilização das fôrmas baseia-se em um sistema, no qual todos os seus componentes trabalham em prol de uma função em especial, no qual tem o objetivo de atender às finalidades de :

- Moldar o concreto;
- Conter o concreto fresco e sustentá-lo até que tenha resistência suficiente para se sustentar por si só;
- Proporcionar à superfície do concreto a textura requerida;
- Servir de suporte para o posicionamento da armação, permitindo a colocação de espaçadores para garantir os cobrimentos;

Servir de suporte para o posicionamento de elementos das instalações e outros ‘tens embutidos;
Servir de estrutura provisória para as atividades de armação e concretagem, devendo resistir às cargas provenientes do seu peso próprio, além das de serviço, tais como pessoas, equipamentos e materiais;
Proteger o concreto novo contra choques mecânicos;
Limitar a perda de água do concreto, facilitando a cura;

Segundo Costa e Filho (2008), na execução das formas a madeira é um elemento que proporciona uma boa relação resistência/peso, contendo características técnicas e estéticas raramente encontradas em outros materiais.

Freire (2001) ainda diz que as fôrmas podem ser divididas em 3 grupos, cada qual com sua função. O primeiro grupo trata as fôrmas como moldes, ficando em contato direto com a superfície do concreto (Figura 21), dando à peça sua forma desejada. O segundo grupo, chamado de cimbramento, trata dos elementos que auxiliam no suporte dos moldes, absorvendo ou transferindo as cargas recebidas por eles para um local seguro e pode ser subdividido da seguinte maneira: travamento, vigamento, escoramento e mão francesa. Os acessórios completam o que seria o terceiro grupo, que são as peças em conjunto participando no funcionamento do elemento como um todo.

Figura 21 - Trama de pilar



Fonte: FREIRE, 2001

As fôrmas, escoramento, armação de ferragem, fazem parte de um sistema interligado, de maneira que a qualidade de execução de um influencia na qualidade do serviço subsequente. Para Freire (2001, *apud* Salim Neto, 2009), define serviço de armação como: “conjunto de

atividades relativas à preparação e posicionamento do aço dentro da estrutura”. Ainda se refere a tal atividade como um serviço complexo, necessitando de mão de obra qualificada para a sua execução.

O vergalhão de aço passa por diversos processos até chegar à sua condição de armação dentro da estrutura. Para Freire (2001), “vergalhão é definido como barra ou fio de aço com comprimento aproximado de 12 metros” e devem ser tomadas grandes precauções durante o transporte, local de armazenamento, tendo o cuidado para não alterar sua forma geométrica e impedir de possíveis contaminações, procurando também evitar o máximo de perdas possíveis.

3.2 LAJES

Nos dias de hoje, grandes construtoras vêm se aperfeiçoando com novas técnicas, afim de diminuir desperdícios dentro dos empreendimentos. Se tratando das lajes e visando a economia, deve-se avaliar fatores como redução de materiais e quantidade de pavimentos, resultando em um processo rápido (ARAÚJO, 2008)

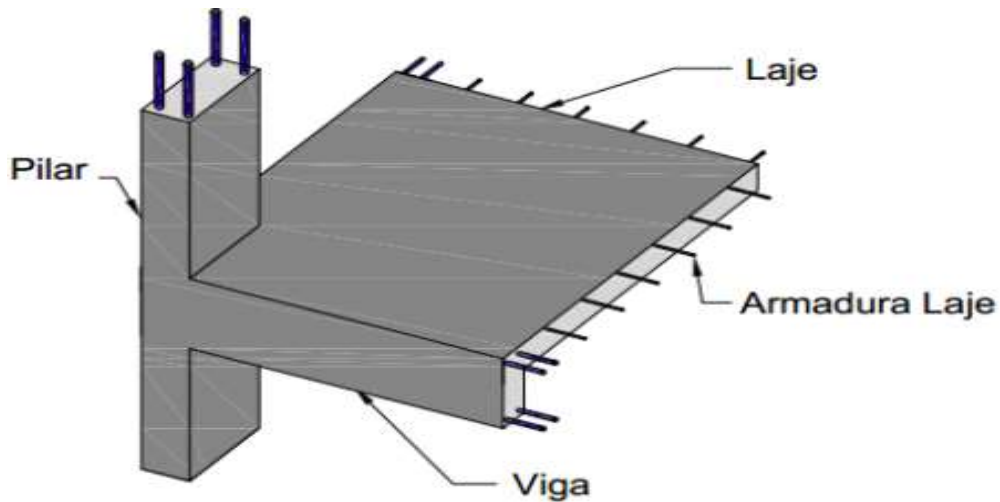
Lajes são componentes estruturais laminares planas, no qual formam os pisos dos edifícios, predominando em suas dimensões comprimento e largura. Esses elementos são diferenciados de acordo com seu formato, sendo as mais utilizadas lajes maciças, treliçadas, nervurada.

3.2.1 Lajes maciças

Lajes maciças atualmente são mais utilizadas no Brasil, moldada *in loco*, são formadas por uma malha com vergalhões de aço, dessa maneira devem ser lançadas em uma fôrma, dando sequência ao processo, finalizado com o concreto. Podem ser constituídas de alvenarias e vigas, sendo apoiadas ao longo do seu contorno, predominante em edifícios residenciais (ARAÚJO, 2003).

Segundo Spohr (2008), estruturas moldadas *in loco* são aquelas que podem ser constituídas de pilares, vigas e lajes maciças, sendo que a laje recebe os carregamentos oriundos, transmitindo para as vigas e descarregando seus esforços nos pilares como é mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Representação esquemática de um sistema estrutural com lajes maciças



Fonte: SPOHR, 2008

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), os elementos de lajes maciças precisam seguir alguns limites de espessura:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 KN;
- 15 cm para lajes com pra tensão apoiada em vigas, com o mínimo de para lajes de piso $L/42$ bi apoiadas e $L/50$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

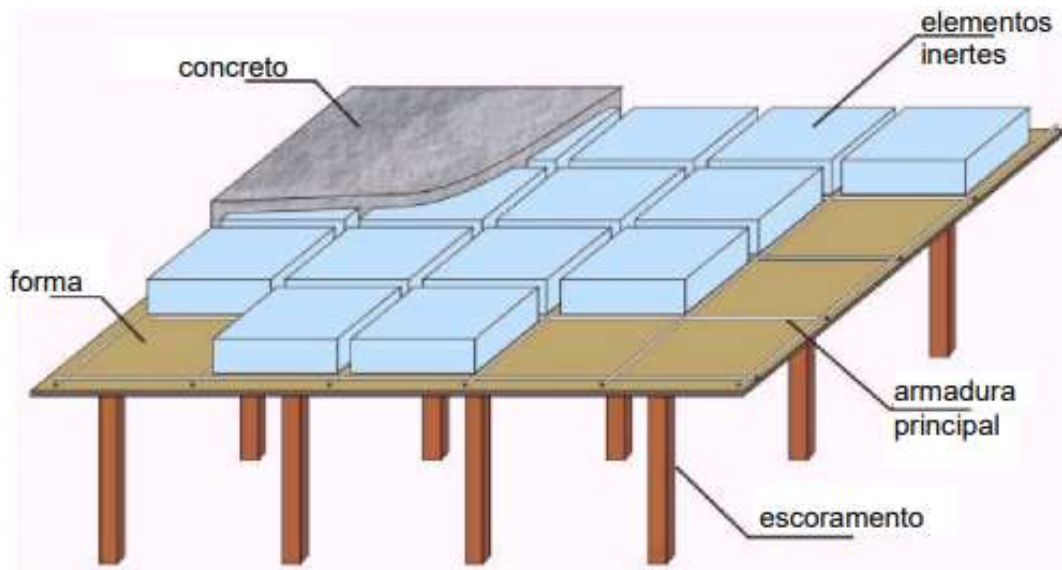
3.2.2 Lajes nervuradas

Laje nervurada é um elemento constituído de vigas que se cruzam. Esse componente estrutural terá como procedimento intermediário entre a laje maciça e a de grelha.

De acordo com NBR 6118 (ABNT, 2014) lajes nervuradas são “as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.”

Neste processo as etapas de execução são realizadas *in loco*, sendo necessário a utilização de fôrmas e escoramentos demonstrados na Figura 23. Essas fôrmas podem ser feitas de polipropileno ou em metal, com dimensões moduladas, sendo necessário o uso do desmoldante para finalizar o processo.

Figura 23 - Laje nervurada

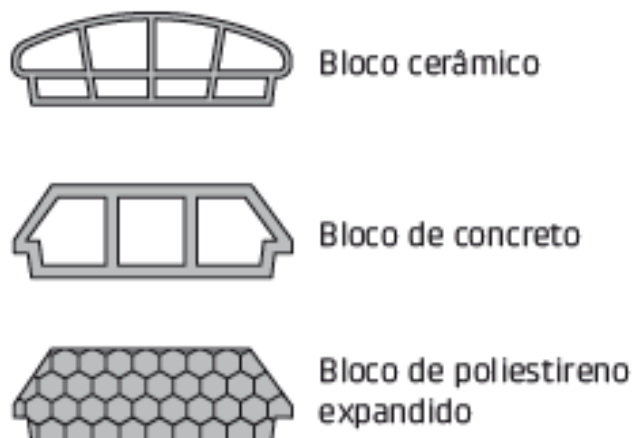


Fonte: VIZOTTO, 2002

Andrade (1983) afirma que este método gera uma economia no consumo de concreto e reduz o peso próprio da laje, por conta da utilização de matérias mais leves ocupando bastante espaço, restando os espaços não preenchido entre as nervuras.

De acordo com El Debs (2017) atualmente os elementos de enchimento mais utilizados são os blocos cerâmico, concreto e de EPS (Figura 24).

Figura 24 - Elementos de enchimento

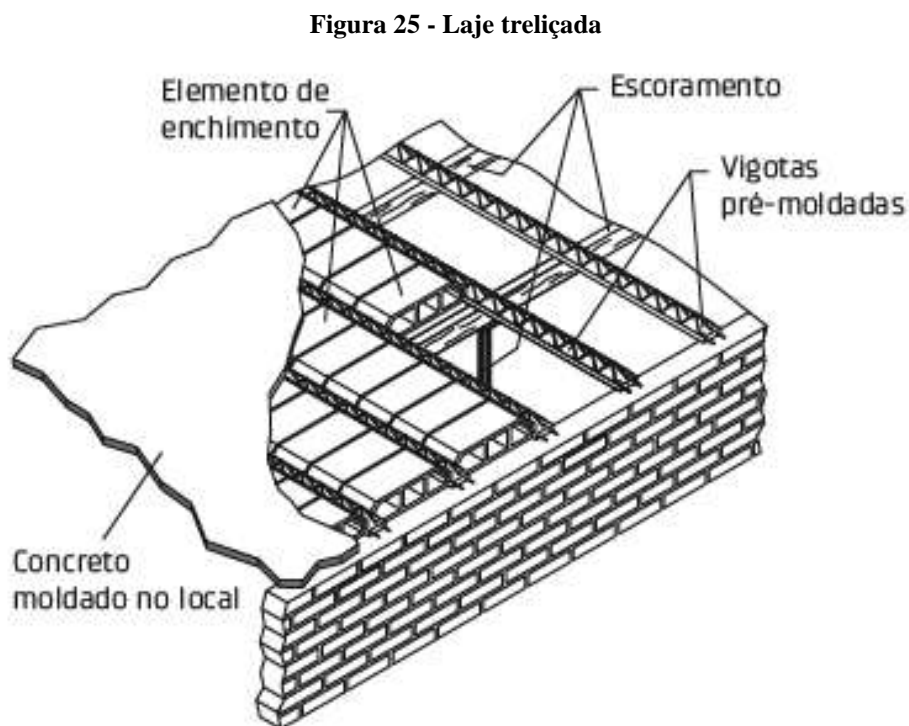


Fonte: EL DEBS, 2017

3.2.3 Lajes treliçadas

De acordo com El Debs (2017), uma laje treliçada é composta de vigotas com armação treliçada. As vigotas treliçadas são preenchidas com materiais de enchimento, que reduzem o peso próprio, preenchendo também a parte inferior da laje, onde é lançado uma camada de concreto que completa a laje nervurada, podendo ser chamada de capa representado na Figura 25.

Essa laje tem oportunidade de ser armada em duas direções, Carvalho (2005) disserta que as lajes treliçadas tem a possibilidade de criar com o uso de poliestireno expandido (EPS) lajes bidirecionais.



Fonte: EL DEBS, 2017

3.3 CONCRETAGEM

A concretagem *in loco* de elementos de fundação e estruturais requer uma grande mobilização de recursos e mão de obra, visando atender as exigências prescritas em norma e melhor qualidade durante a execução.

Proveniente da industrialização na construção e com intuito de acelerar o procedimento, a possibilidade de concretar a obra através de um fornecedor externo,

popularmente conhecidas como concreteiras, facilita demasiadamente o processo, por ser preparado industrialmente.

As concreteiras são instalações preparadas para a produção em escala, constituídas de silos armazenadores, balanças, correias transportadoras e equipamentos de controle. Na maioria dos casos, para as obras urbanas, a mistura é feita no próprio caminhão, durante o trajeto entre a central de concreto e a obra.

De acordo com Dantas (2006), a utilização de concreto usinado melhora a produtividade, reduz mão de obra, além de otimizar o tempo de concretagem de cada elemento através da bomba de lançamento (Figura 26).

Figura 26 - Concretagem com bomba-lança



Fonte: AUTORES, 2018

4 ESTUDO DE CASO

O seguinte estudo de caso tem como base a obra de um resort, que está sendo executada na cidade de Alexânia-Go, onde iniciou-se em março de 2018, com previsão de entrega para março de 2020. A empresa responsável, aqui passará a ser denominada por empresa A, mantendo sigilo da sua real identidade, trata-se de um grupo de hotelaria em expansão, sendo, a obra em Alexânia, a primeira a ser levantada pelo próprio grupo da rede de hotel.

Com uma área de, aproximadamente, 72.000 m² (setenta e dois mil metros quadrados), foram implantados dois sistemas construtivos: pré-fabricados e os moldados *in loco*.

O canteiro é constituído pelas seguintes edificações: Anexo, Spa Fitness, Centro de Convenções, J City, Entretenimento, Lobby, Vip Club e os Prédios Apartamentos. Sendo que 7 edificações foram feitas de pré-fabricados, e 2 edificações, denominadas de prédios apartamentos, foram moldados *in loco* (Figura 27).

O presente estudo de caso foi realizado com base na execução de um dos prédios moldados *in loco*, de maneira que, para efeito de análise de viabilidade financeira, a empresa A solicitou orçamentos para a execução em pré-fabricado. A partir desse orçamento, foram retirados todos os dados necessários para realizar o estudo de caso, que se baseia na comparação desses métodos construtivos, expondo dados financeiros, executivos e prazo do produto final.

Figura 27 - Vista panorâmica da obra (julho/19)



Fonte: AUTORES, 2019

4.1 PRÉDIO DOS APARTAMENTOS

Como mencionado, esses foram os únicos prédios do resort em que se utilizaram elementos moldados *in loco*. Com base nisso, o estudo de caso em questão, abordará como foco do comparativo entre esses dois tipos de construção modular, apenas um destes, o qual pode ser observado na Figura 28.

Com uma área total de 3.506,79 m², ele se divide em 6 (seis) pavimentos tipo, contendo 38 apartamentos por andar e 228 totais, sendo eles de 76,64 m², 78,46 m² e 63,67m² por andar.

Figura 28 - Prédio apartamentos totalmente moldados *in loco*



Fonte: AUTORES, 2019

4.1.1 Método convencional

A fundação do prédio dos apartamentos é do tipo estaca hélice contínua, no qual foi optada após o estudo de solo ter registrado uma quantidade de água expressiva no lençol freático.

Após acabar a concretagem das estacas, já deram início a execução dos blocos coroamento no qual foi dívida em quatro partes, conforme o projeto de fôrma no anexo C. Dando sequência ao processo, iniciou-se a montagem das fôrmas e travamentos dos pilares, vigas e laje do primeiro andar. Para a execução das fôrmas foi utilizado compensado

plastificado para fechamento dos elementos estruturais e escoras metálicas para o travamento das mesmas (Figura 29).

Figura 29 - Fôrmas e travamentos dos pilares, vigas e laje



Fonte: AUTORES, 2018

Toda parte estrutural foi executada dentro do canteiro. A mão de obra foi de empresas terceirizadas, composta de armadores para estarem preparando toda a ferragem que compõem os blocos de fundação, cintas, vigas, pilares e laje. Carpinteiros para executarem as fôrmas e escoramentos, além de pedreiros e ajudantes integrando a equipe para estarem auxiliando nas concretagens, execução da alvenaria, organização do canteiro e serviços afins.

Com o intuito inovador, a arquitetura do prédio se diferencia das demais. Com chanfros por toda sua extensão, tem-se um destaque para o apelo estético da estrutura, no qual também exigiu uma atenção redobrada para projeto e execução. Dessa forma, para garantir a funcionalidade estética do prédio, observa-se no projeto estrutural uma preocupação maior nos pilares, sendo eles pilares parede. Quantificando os elementos estruturais e de fundação chega-se aos seguintes valores: 173 pilares, 882 vigas e 225 blocos de fundação além de todos os pavimentos sendo de laje maciça com espessura de 10 cm.

Para suprir de maneira eficiente a grande demanda de concreto exigida na obra, foi utilizado concreto usinado, no qual agiliza o processo de concretagem, garante boa qualidade de produção e assegura as especificações exigidas em normas e projeto (resistência a compressão de 25 MPa e *slump test* 12±2 cm). Porém algumas ressalvas devem ser tomadas, como por exemplo, a distância entre a usina e a obra, problema existente na obra do Resort, no qual acarretou em perdas recorrentes de concreto estrutural.

O transporte do concreto foi sempre realizado por caminhões betoneiras e o lançamento por meio de bombas estacionárias e bombas lança, seguindo as exigências previstas em norma como demonstrado na Figura 30.

Figura 30 - Bomba estacionária e bomba lança



Fonte: AUTORES, 2018

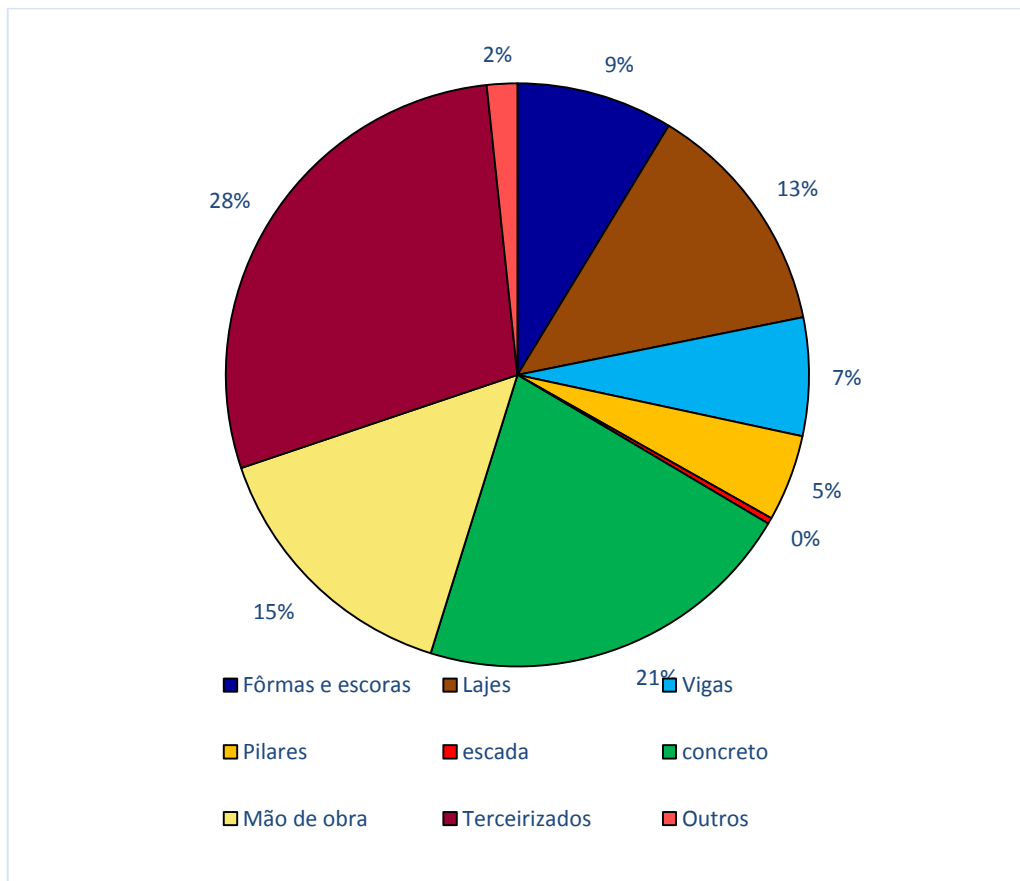
Ao entrar no tópico financeiro é comum observar apenas o custo final da obra, sem levar em consideração todas as etapas, os possíveis gastos extras acarretados às dificuldades de execução. Uma obra de grande porte como a da empresa A, exige cronograma e orçamentos bem detalhados, conforme o anexo A, evitando ao máximo acrescentar possíveis custos extras nos quais não estão previstos, assim não tendo como repassar ao cliente. Dessa maneira tem-se

uma divisão de custos por elemento, no qual alguns deles com valores relevantes no montante final como observa-se no Gráfico 4, em que 9% dos gastos estão destinados às fôrmas e escoras, elementos nos quais poderão ter futuras finalidades, tendo que ser reaproveitados, podendo gerar ônus, no qual não está incluso no orçamento.

Nos tópicos: Laje, vigas e Pilares, está incluso apenas o que foi gasto com o aço para a execução de cada elemento. Os custos com corte, dobra, armação estão inclusos dentro do tópico “Terceirizados” onde também entra as atividades de lançamento e adensamento do concreto. Materiais como espaçadores, pregos, desmoldantes e vibradores de concreto são gastos inclusos no tópico “Outros” representando 2% do orçamento.

O item “Mão de obra” refere-se aos colaboradores diretos da empresa, que são: Pedreiros, serventes, estagiários e encarregados gerais.

Gráfico 4 - Levantamento de gastos do prédio apartamento



Fonte: AUTORES, 2019.

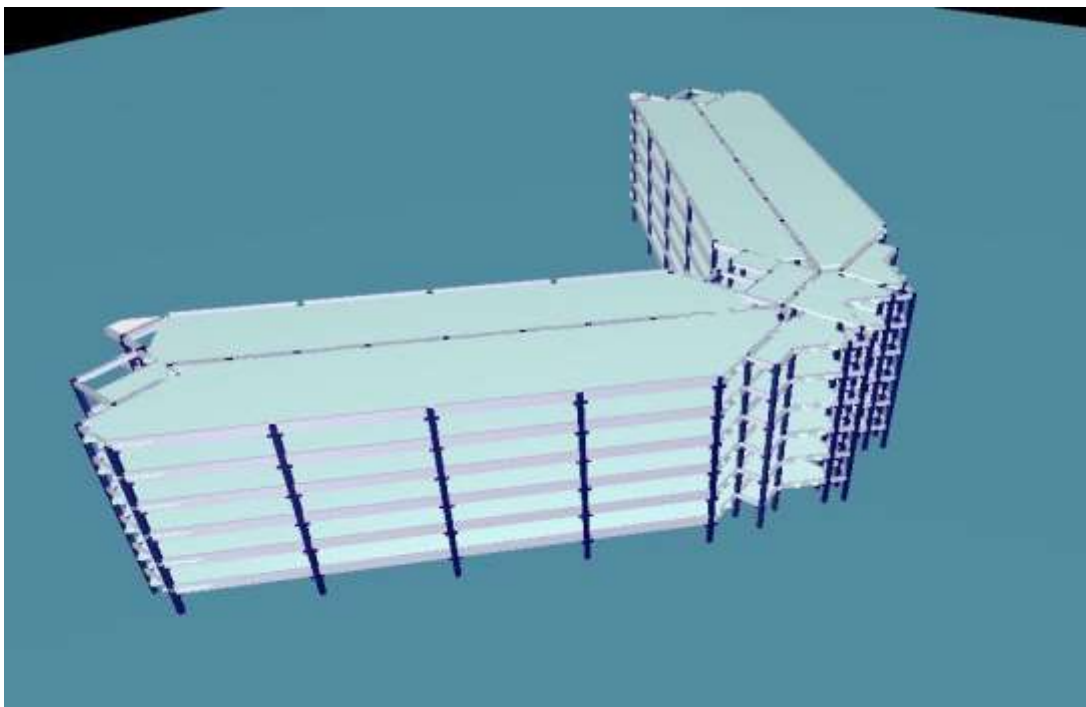
4.1.2 Método pré-fabricado

Antes de optar pelo método convencional para o prédio apartamento, foi feita uma cotação para saber quanto sairia o prédio na estrutura pré-fabricada. Como a empresa A já havia feito outras edificações com o pré-fabricado fornecido por uma empresa de pré-fabricados, que será chamado neste trabalho de empresa B, a mesma fez uma proposta em que o prédio teria sua estrutura montada em 4 meses, além do fator tempo que favorece a esse método ágil, o custo foi bastante similar ao orçamento feito para a estrutura *in loco*, que apesar da arquitetura diferente das outras edificações mostrou-se viável a sua utilização.

Como esse método trabalha com vãos livres e peças protendidas, o projeto estrutural conseguiu reduzir 96 pilares o que representa 55,5% dos pilares utilizados no sistema convencional. Dessa forma, na estrutura pré-fabricada o mesmo seria executado com apenas 77 pilares, conforme o anexo B. Em relação ao método convencional, facilitaria as etapas de logística e gestão da obra. Em outras palavras seria possível prever de maneira mais precisa os custos que a obra geraria.

A Figura 31 é uma perspectiva no qual os pilares, vigas e a laje alveolar do prédio apartamento eram em pré-fabricados.

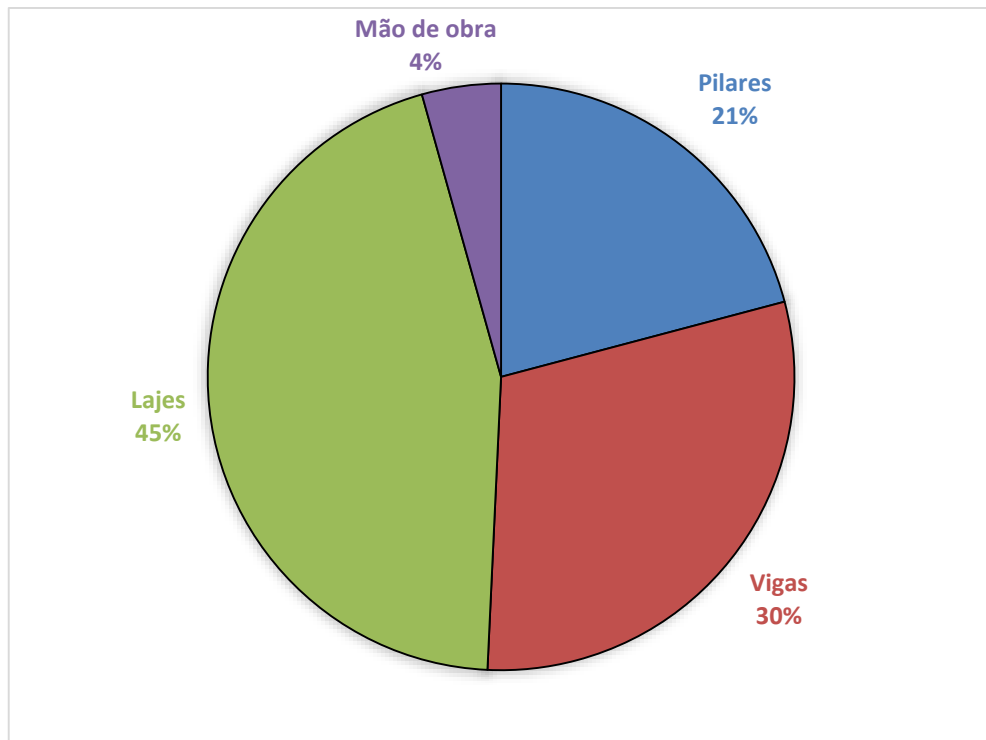
Figura 31 - Perspectiva prédio apartamento em pré-fabricado



Fonte: EMPRESA B, 2018.

No Gráfico 5, pode se observar que o sistema pré-fabricado reduz a quantidade de mão de obra, pois o método exige um pequeno número de pessoas realizando as atividades em campo, porém qualificadas para o processo de execução. Observa-se também que as despesas estão associadas a poucos elementos e atividades, dessa maneira, tornando-se denso o custo de cada uma delas.

Gráfico 5 - Levantamento de gastos do pré-fabricado



Fonte: AUTORES, 2019.

4.1.3 Análise dos dados

Com base nos dados fornecidos pelas empresas, observa-se algumas diferenças nos resultados levantados de cada elemento estrutural. Nota-se que os custos existentes no método pré-fabricado e que não existem em relação ao convencional e vice-versa, como por exemplo: Frete dos elementos, equipamentos em geral, fôrmas, escoras, concretagem, lançamento e adensamento do concreto.

Assim como todas as obras de estruturas *in loco*, ela também apresenta taxa de desperdício de materiais, tanto no aço, concreto como as fôrmas e escoras, as quais são descartadas ao final de sua utilização. Levando-se em consideração esses fatores, tem-se o

resumo do orçamento do prédio em elementos moldados *in loco*, entregue a empresa A, expresso na Tabela 1.

Tabela 1- Orçamento resumido: moldados *in loco*

Descrição	Valor (R\$)
Fôrmas e escoras	R\$ 278.317,65
Lajes	R\$ 421.234,20
Vigas	R\$ 209.938,16
Pilares	R\$ 153.974,97
Escadas	R\$ 10.758,61
Concreto	R\$ 682.416,00
Mão de obra	R\$ 481.288,00
Terceirizados	R\$ 913.048,92
Outros	R\$ 54.048,50
Total	R\$ 3.205.025,01

Fonte: AUTORES, 2019.

Para efeito de comparação a empresa B apresentou um orçamento, monetariamente, similar ao dos moldados *in loco*, entretanto mais econômico, tal fato pode ser observado no resumo dos custos constantes na Tabela 2.

Tabela 2- Orçamento resumido: pré-fabricado

Descrição	Valor (R\$)
Pilares	R\$ 634.198,37
Vigas	R\$ 907.337,10
Lajes	R\$ 1.364.489,79
Mão de obra	R\$ 132.106,22
Total	R\$ 3.038.131,48

Fonte: AUTORES, 2019.

No caso do aço, o elemento teve valores de utilização em Kg bastante parecido, sendo utilizado 196.655,60 Kg de aço CA 50 e CA 60 para estrutura convencional. Com uma diferença de 1,08% a menos, o pré-fabricado utilizou 194.527,09 Kg de aço CA 50 e CP 190.

Em relação ao concreto, também foi trabalhado com valores similares, sendo cerca de 2.016 m³ para a estrutura convencional e 2.262,12 m³ para a estrutura pré-fabricada.

A partir dos dados obtidos em campo e orçamento, entre os dois sistemas construtivos, chega-se a uma diferença de 5,20 %, sendo o pré-fabricado, custando no estudo de caso R\$ 3.038.131,50, contra o *in loco* que foram gastos R\$ 3.205.025,01, totalizando uma diferença de R\$ 166.893,51.

Quanto o fator tempo, o método *in loco* gastou 8 meses e 10 dias, enquanto o pré-fabricado teve uma proposta de 4 meses para ter toda estrutura concluída, sendo 50% mais rápida. Apesar da empresa da empresa B oferecer grandes vantagens ao processo do pré-fabricado, a empresa A mesma assim optou pelo método convencional (Figura 32).

Figura 32 - Estrutura do prédio apartamento finalizada



Fonte: AUTORES, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo das primícias levantadas, são nítidas as diferenças executivas e econômicas entre os dois sistemas construtivos abordados, de forma que é de grande valia as seguintes considerações: a partir dos dois orçamentos apresentados para um dos Prédios Apartamentos e as informações coletadas em campo, tornou-se notório que, a estrutura quando levantada pelo método moldado *in loco* necessita de um maior número de funcionários para sua execução, enquanto o pré-fabricado, como já citado anteriormente, utiliza um quantitativo de mão de obra menor, porém mais qualificada devido à industrialização de seu processo. O método pré-fabricado demanda um investimento inicial maior que o moldado *in loco*, devido às etapas de logística não existentes no segundo mencionado, como o gasto com o transporte especializado das peças pré-fabricadas, equipamentos de grande porte para a montagem destas, entre outros, em contrapartida, os moldados *in loco* possuem despesas com a obtenção das fôrmas e escoras não constantes no pré-fabricado, que dependendo do tipo do material, dificilmente serão reaproveitadas em construções futuras, como foi o caso na obra analisada. O modelo pré-fabricado desprende custos associados a menos elementos e atividades executivas desenvolvidas no próprio canteiro de obras, dessa maneira, tornam-se densos os seus custos individuais em comparativo aos moldados *in loco*, onde os gastos entre os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) são bem mais equilibrados. A execução de obras com elementos pré-fabricados são mais ágéis em relação aos moldados *in loco*, fato confirmado pela proposta feita pela empresa B de executar toda a parte estrutural do prédio em apenas 4 meses, enquanto que na prática tal etapa se concluiu em 8 meses e 10 dias, em elementos moldados *in loco*. No que se refere à economia do custo final da obra, o modelo pré-fabricado se destacou economicamente em comparação ao moldado *in loco*, com a diferença em percentual de 5,20%, um total de R\$ 166.893,51 (cento e sessenta e seis mil, oitocentos e noventa e três reais e cinquenta e um centavos).

A partir dessas considerações, pode-se concluir que o método pré-fabricado apresentou mais vantagens em comparativo ao moldado *in loco*, nos quesitos econômicos e de otimização do tempo construtivo para a obra em questão, entretanto, por mais importantes que sejam esses fatores no setor atual da construção civil, o planejamento mais agussado por meio da compatibilização dos objetivos arquitetônicos e estéticos com a viabilidade do atendimento desses fatores pelo modelo construtivo, torna-se fonte relevante para a determinação do método a ser utilizado.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com toda a evolução dos métodos construtivos, desde a execução de obras com estruturas convencionais, pré-fabricados de concreto, estruturas metálicas, até mesmo de elementos não estruturais, como por exemplo, elementos de fechamento, todos estão em constante avanço e demandam cada vez mais estudo. Visto isso, com as frequentes mudanças na área da construção civil, é de suma importância sempre se manter atualizado, exigindo sempre novos estudos e publicações.

Um estudo interessante seria também a comparação de obras com elementos considerados de rápida execução, como a estrutura metálica e pré-fabricada, visto que ambas necessitam de uma atenção especial devido a precisão de projeto, montagem, logística, além de fatores como a situação econômica do Estado e a grande quantidade de impostos, que influencia de forma mais expressiva para obtenção do produto.

REFERÊNCIAS

ABCIC. **Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto**, revista industrializar em concreto, Ed.: ABCIC. Nº 02, São Paulo, agosto 2014.

_____. **Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto**, revista industrializar em concreto, Ed.: ABCIC. Nº 8, São Paulo, agosto 2016.

ALMEIDA, Luiza. **Estudo de sistemas construtivos pré-fabricados modulares aplicados em canteiros de obras**. Belo Horizonte, janeiro 2015.

ALLEN, Edward; IANO, Joseph. **Fundamentos da Engenharia de Edificações: Materiais e Métodos**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ANDRADE, J. R. L. **Estruturas correntes de concreto armado**. São Carlos, 1983. 137p.

ARAÚJO, A.R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 113f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) — Escola de Engenharia e Tecnologia, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.

ARAÚJO, J.M **Curso de concreto armado**. 2 ed. , v.4. Rio Grande:Dunas, 2003.

ASSAHI, Paulo N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto**. São Paulo: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

BOIÇA, S. M. R.. **Desempenho de estruturas em concreto: Proposta de modelo de análise comparativa entre sistemas constutivos: Estudo de caso. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Paraná**. Curitiba, 2006.

CAMPOS, G. M. – **Recomendações para o projeto de cálices de fundação. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado**—Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 183 f. 2010.

CANHA, R. M. F. – **Theoretical-experimental study of column-foundation connection through socket of precast concrete structures. PhD Thesis** – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 279 p., 2004.

CARVALHO, R. C.; PARSEKIAN, G. A.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; MACIEL, A. M. **Estado da arte do cálculo das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto.** In: 1º Encontro Produção-Projeto-Pesquisa, São Carlos, 2005.

CHASTRE, Carlos; LÚCIO, Válder. **Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural.** São Paulo: Parma, 2012. viii, 320 p.

COSTA JUNIOR, Tomaz F.; S. FILHO, Antônio F. Emprego de fôrmas de madeira em estrutura de concreto. Salvador: Universidade Católica do Salvador, 2008.

DANTAS, Manuela Modesto. **Proposição de ações para melhoria da produtividade da concretagem em edifícios verticais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-22042007-150027. Acesso em: 2019-06-03.

DIÓGENES, Hidelbrando José Farkat. **Análise tipológica de elementos e sistemas construtivos pré-moldados de concreto do ponto de vista de sensibilidade a vibrações em serviço.** 2010. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. doi:10.11606/D.18.2010.tde-06042010-110905. Disponível em:http://abcic.org.br/revista_industrializar/IC_06.pdf. Acesso: 07 mar 2019.

EDUARDO, José. **o fotógrafo das grandes obras, agora também na Barragem.** Belo Horizonte, Minas Gerais, 2015. Disponível:<http://parquedabarragem.blogspot.com/2015/07/eduardo-silveira-o-fotografo-das.html>. Acesso: 05-06-2019

EL DEBS, Mounir K. **Concreto Pré-Moldado, fundamentos e aplicações** 2º Edição São Paulo, 2017.

ESCOLA EDUCAÇÃO, 2014. **O que foi o Período Paleolítico.** Disponível em:<https://escolaeducacao.com.br/o-que-foi-o-periodo-paleolitico/>. Acesso:20-02-2019

FRANCESCHI, LUCAS - **Lançamento de fundações pré-moldadas.** Disponível: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360001942773-Lan%C3%A7amento-de-funda%C3%A7%C3%B5es-pr%C3%A9-moldadas>. Acesso: 31-05-2019.

FREIRE, Tomás M. – **Classificação dos sistemas de fôrmas para estruturas de concreto armado.** São Paulo, 2001.

GRANDES CONSTRUÇÕES. **O uso do pré-moldado de concreto.** São Paulo. 2013. Disponível <http://www.grandesconstrucoes.com.br/Conteudo/Exibir/o-uso-do-pre-moldado-de-concreto> :Acesso: 20-04-2019.

HALPIN; WOODHEAD. **A Construção Civil no Brasil 1998.** Disponível em: <http://.webnode.com/news/a-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em 5 abril. 2019.

JUNIOR, A.A. Raia. **LOGÍSTICA: notas de aula.** 2007. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 57p. Acesso: 01 mai 2019.

LAUTERBACH, Anne. **Studie zu Bautechinschen für Voraussetzungen für automatisierte Fertigteilmontagen. Tese (doutorado em construções)** - Bauhaus Weimar Universität, Fakultät Bauingenieurwesen, Weimar: 2004.

MACHADO, Emilia. **Primeira construção pré-fabricada de concreto no Brasil**. Leonardi pre-fabricados. 2016. Disponível: <http://www.leonardi.com.br/noticia/15/2016-02-01/pre-fabricados-de-concreto-no-brasil>. Acesso:14-03-2019.

MAMEDE, Fabiana Cristina. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural. 2001**. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. doi:10.11606/D.18.2001.tde-06062006-162432. Acesso em: 2019-06-05.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo, SP: Pini, 2007. 534 p.

MORIKAWA, Mauro Satoshi. **Materiais alternativos utilizados em fôrmas para concreto armado**. Campinas, São Paulo, 2013. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257688/1/Morikawa_MauroSatoshi_M.pdf. Acesso:05-06-2019.

OLIVEIRA, Luciana Alves. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002.

ONU- **Organização das Nações Unidas, Brasil**, disponível em em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso:08-04-2019

PAGOTO, Marcos Vinicius. **Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos entre estruturas pré-fabricadas e moldadas *in loco***. 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/852/1/PB_COECI_2012_2_09.pdf. Acesso em: 07 mar 2019.

RBCE – **Revista Brasileira de Comércio Exterior**. 2018. Edição Janeiro/fevereiro e março.

BARROS, GIONGO- **Estudo experimental de blocos de fundação com cálice externo, embutido e parcialmente embutido considerando interface lisa**, Volume 6, Number 5 São Paulo, 2013.

ROMAR, Juliana. **Prefeitura inaugura as primeiras quatro unidades do Campus Educacional Maré**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível: <http://www.rio.gov.br/web/guest/exibeconteudo?id=5948270>. Acesso:02-05-2019

ROMAR, Juliana. **Prefeito inicia obras de quatro unidades do programa Fábrica de Escolas na Zona Oeste**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível: <http://www.prefeitura.rio/web/guest/exibeconteudo?id=5322872>. Acesso:02-05-2019

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

SALGADO, Julio. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2008.

SALIM NETO, Jamil José. **Diretrizes de projeto para melhorar a produtividade na montagem de componentes pré-cortados e pré-dobrados de aço para estruturas de concreto armado de edifícios**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.3.2009.tde-04112009-092418. Acesso em: 02- 06-2019.

SERRA, S.M.B. **1º encontro nacional de pesquisa, projeto e produção em concreto pré-moldado**. 2005. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf, Acesso em: 07 mar 2019.

SPHOR, Valdi Henrique- **análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**- universidade federal de santa maria centro de tecnologia programa de pós-graduação em engenharia civil, 2008.

SILVA, F.B.; CARDOSO, F.F. **Conceitos e diretrizes para a organização da logística em empresas construtoras de edifícios**. 2000. São Paulo, SP. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/263, 25p. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/lista.htm#boletins%20técnicos>. Acesso: 12 abr 2019.

SORIANO, Humberto;lima, **método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas** Vol. 48. São Paulo, 2003.

VAINFAS, Ronaldo; FARIA, Sheila de Castro; FERREIRA, Jorge; SANTOS, Georginas dos. **História Volume único Editora Saraiva**, São Paulo, 2010

VAN ACKER, Arnold, FERREIRA M. de A. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**, 2002. Disponível em: <http://www.ceset.unicamp.br/~cicolin/ST%20725%20A/mpf.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2019.

VASCONCELOS, A. C. (2002). O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. Vol. 3. São Paulo: Studio Nobel.

VIZOTTO, I. **Lajes planas nervuradas pré-moldadas com aplicações de treliças e elementos inertes em EPS ou cerâmica**. In: 440 Congresso Brasileiro do Concreto, 2002, Belo Horizonte. 18p.

ANEXO A – ORÇAMENTO DE PRÉDIO COM ELEMENTOS *IN LOCO*

DESCRIÇÃO	QTD	UND	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
AÇO ESTRUTURA				
PILAR				
Vergalhão CA50 6.3 mm	12834,20	kg	R\$ 3,55	R\$ 45.561,41
Vergalhão CA50 8 mm	304,70	kg	R\$ 3,55	R\$ 1.081,69
Vergalhão CA50 10 mm	9677,70	kg	R\$ 3,39	R\$ 32.807,40
Vergalhão CA50 12.5 mm	10996,70	kg	R\$ 3,22	R\$ 35.409,37
Vergalhão CA50 16 mm	7069,00	kg	R\$ 3,22	R\$ 22.762,18
Serviço de Corte/Dobra	40882,30	kg	R\$ 0,40	R\$ 16.352,92
				R\$ 153.974,97
VIGA				
Vergalhão CA60 5.0 mm	8083,70	kg	R\$ 3,75	R\$ 30.313,88
Vergalhão CA50 6.3 mm	858,00	kg	R\$ 3,55	R\$ 3.045,90
Vergalhão CA50 8 mm	1238,40	kg	R\$ 3,55	R\$ 4.396,32
Vergalhão CA50 10 mm	12061,70	kg	R\$ 3,39	R\$ 40.889,16
Vergalhão CA50 12.5 mm	13560,30	kg	R\$ 3,22	R\$ 43.664,17
Vergalhão CA50 16 mm	20250,80	kg	R\$ 3,22	R\$ 65.207,58
Serviço de Corte/Dobra	56052,90	kg	R\$ 0,40	R\$ 22.421,16
				R\$ 209.938,16
LAJE				
Tela R196	19100,00	kg	R\$ 3,75	R\$ 71.625,00
Tela Q283	11203,00	kg	R\$ 4,51	R\$ 50.525,53
Tela Q503	56256,00	kg	R\$ 4,51	R\$ 253.714,56
Tela Q196	4570,00	kg	R\$ 4,22	R\$ 19.285,40
Tela Q785	5496,00	kg	R\$ 4,51	R\$ 24.786,96
Vergalhão CA50 8 mm	345,00	kg	R\$ 3,55	R\$ 1.224,75
Vergalhão CA60 5.0 mm	19,20	kg	R\$ 3,75	R\$ 72,00
				R\$ 421.234,20
ESCALADA				
Vergalhão CA50 6.3 mm	326,90	kg	R\$ 3,55	R\$ 1.160,50
Vergalhão CA50 8 mm	2219,10	kg	R\$ 3,55	R\$ 7.877,81
Vergalhão CA50 10 mm	185,20	kg	R\$ 3,39	R\$ 627,83
Serviço de Corte/Dobra	2731,20	kg	R\$ 0,40	R\$ 1.092,48
				R\$ 10.758,61
Quantidade total de Aço da estr.	196.655,60	kg		
FORMAS ESTRUTURA				
Madeirite Plastificado 18mm	1200,00	und	R\$ 99,00	R\$ 118.800,00
Tabúa Mista	4099,00	m	R\$ 6,35	R\$ 26.028,65
Pontaletes	2870,00	m	R\$ 4,70	R\$ 13.489,00
				R\$ 158.317,65
ESPAÇADORES				
Espaçador Circular S30	22000,00	und	R\$ 0,07	R\$ 1.540,000
Espaçador Tipo Cadeirainha ETP 20/30	21500,00	und	R\$ 0,15	R\$ 3.225,000
Espaçador Tipo Cone 3/4	10000,00	und	R\$ 0,05	R\$ 500,000
Tube 3/4	150,000	m	R\$ 0,93	R\$ 139,500
				R\$ 5.404,500

CONCRETO				
Concreto Fck 25 Mpa 12+-2cm	2016,00	m ³	R\$ 313,50	R\$ 632.016,00
Serviço de bombeamento de concret	2016,00	m ³	R\$ 25,00	R\$ 50.400,00
				R\$ 682.416,00
ESCORAMENTO				
Aluguel de escoramento e reescoram	1,00	vb	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00
				R\$ 120.000,00
TERCEIRIZADOS				
Serviços de lançamento, adensament	11327,19	m ²	R\$ 7,00	R\$ 79.290,33
Serviços de carpintaria	1,00	vb	R\$ 600.161,97	R\$ 600.161,97
Serviços de armação	1,00	vb	R\$ 233.596,62	R\$ 233.596,62
				R\$ 913.048,92
OUTROS				
Isopor em placas (junta de dilatação)	800,00	und	R\$ 1,95	R\$ 1.560,00
Pregos	2120,00	kg	R\$ 6,10	R\$ 12.932,00
Desmoldante para formas	800,00	l	R\$ 2,25	R\$ 1.800,00
Graute	60,00	sc	R\$ 26,50	R\$ 1.590,00
Fôrmas de Papelão p/ pilares	6,00	und	R\$ 327,00	R\$ 1.962,00
				R\$ 19.844,00
MÃO DE OBRA				
Pedreiros	20,00	Prd	R\$ 1.559,80	R\$ 249.568,00
Serventes	20,00	Prd	R\$ 955,00	R\$ 152.800,00
Estagiários	3,00	Prd	R\$ 955,00	R\$ 22.920,00
Encarregado Geral	2,00	Prd	R\$ 3.500,00	R\$ 56.000,00
				R\$ 481.288,00
EQUIPAMENTOS				
Guincho de coluna	16,00	mês	R\$ 300,00	R\$ 4.800,00
Vibradores p/ concreto	2,00	und	R\$ 1.500,00	R\$ 24.000,00
				R\$ 28.800,00
TOTAL GERAL				R\$ 3.205.025,010

ANEXO B - ORÇAMENTO DE PRÉDIO COM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

ITEM	QUANT.		VALOR
PILARES	77	PÇ	R\$ 456.569,11
FRETE PILARES	54	VG	R\$ 138.902,07
MONTAGEM PILARES	9	DIAS	R\$ 17.148,40
EQUIPE PILARES	12	DIAS	R\$ 20.324,03
NEOPRENE	1080	PÇ	R\$ 16.708,70
CANTONEIRA	115,5	PÇ	R\$ 4.870,09
Volume Concreto (m³)	CA-50 (kg)	CP-190 (kg)	
296,75	57.675,08		

ITEM	QUANT.		VALOR
VIGAS DE MEZANINO	540	PÇ	R\$ 762.718,89
FRETE VIGAS	51	VG	R\$ 87.456,86
MONTAGEM VIGAS	30	DIAS	R\$ 57.161,35
EQUIPE VIGAS	30	DIAS	R\$ 50.810,09
Volume Concreto (m³)	CA-50 (kg)	CP-190 (kg)	
504,01	75.078,95	10.689,39	

ITEM	QUANT.		VALOR
LAJES	11427,17	M²	R\$ 1.054.103,67
FRETE LAJES	141	VG	R\$ 241.792,50
MONTAGEM LAJES	36	DIAS	R\$ 68.593,62
EQUIPE LAJES	36	DIAS	R\$ 60.972,10
Volume Concreto (m³)	CA-50 (kg)	CP-190 (kg)	
1.461,36		51.083,68	

TOTAL GERAL			
Volume Concreto (m³)	CA-50 (kg)	CP-190 (kg)	VALOR
2.262,12	132.754,03	61.773,06	R\$ 3.038.131,50
Quantidade total de aço da estrutura			
194.527,09		kg	

ANEXO C - PROJETO DE FORMA ESTRUTURA *IN LOCO*