

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS
CONSTRUTIVOS DE CONCRETO MOLDADO *IN LOCO* E
CONCRETO PRÉ-FABRICADO, POR MEIO DA
PLATAFORMA BIM**

ALICE AMORIM TELES

ORIENTADOR: EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2

BRASÍLIA / DF: 12/2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE CONCRETO
MOLDADO *IN LOCO* E CONCRETO PRÉ-FABRICADO, POR MEIO DA
PLATAFORMA BIM**

ALICE AMORIM TELES

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR

EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, Dr.

(ORIENTADOR)

LEONARDO DA SILVEIRA PIRILLO INOJOSA, MSc

(COORIENTADOR)

ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, Dr.

(EXAMINADOR INTERNO)

ALBERTO FARIA, MSc (CEUB)

(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 8 de Dezembro de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

TELES, ALICE AMORIM

Estudo comparativo entre métodos construtivos de concreto moldado *in loco* e concreto pré-fabricado, por meio da plataforma BIM,[Distrito Federal] 2017.

xii, 48 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2017)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Concreto Pré-Fabricado

2. Concreto moldado *in loco*

3. BIM

4. Minha Casa Minha Vida

I. ENC/FT/UnB

II. Bacharel em Engenharia Civil

*Aos meus queridos que partiram,
Alba e Bebê.*

RESUMO

As últimas décadas presenciaram intenso crescimento da construção civil, aumentando assim a necessidade do aperfeiçoamento de seus processos produtivos. A forma de elaboração dos projetos, antes totalmente manual, passou a ser feita com auxílio computacional por meio dos *softwares* CAD, que oferecem ferramentas de desenho ao projetista. Entretanto, a tendência hoje é a migração para os *softwares* BIM (*Building Information Modeling*), que disponibilizam a inserção de dados ao desenho do projeto e possibilitam melhor documentação, compatibilização e análise dos projetos. Na esfera do canteiro de obras, outra forma de otimização é a utilização de elementos de concreto pré-fabricado, substituindo o concreto moldado *in loco*, uma vez que possuem maior qualidade na execução, além de permitir redução do cronograma da obra. O presente estudo tem como objetivo comparar os métodos construtivos de concreto moldado *in loco* e concreto pré-fabricado por meio da plataforma BIM. Para tanto, parte da pesquisa bibliográfica e utiliza o método comparativo entre duas versões de um projeto residencial de baixo custo do programa Minha Casa Minha Vida: a primeira, em concreto moldado *in loco* e a segunda, em concreto pré-fabricado. A utilização do *software* BIM *Revit* nas duas versões permite a comparação do orçamento de cada uma delas, obtendo a solução construtiva que apresenta menor custo de execução. Desse modo, este trabalho pretende contribuir para as análises de mercado ao revelar dados sobre as diferenças de custo entre os dois métodos construtivos, auxiliando gestores em decisões de projeto.

Palavras-chave: Métodos construtivos, Concreto Pré-Fabricado, Concreto moldado in loco, BIM, Minha Casa Minha Vida.

ABSTRACT

In the last decades there was a notable growth in the civil construction field, increasing the needs of improvement of its productive process. The way to elaborate projects, that was completely manual, became computer-aided by the CAD software, that offers drawing tools for the design. Even though, the trend is the migration to BIM (Building Information Modeling) software's, which provides the inclusion of data to the drawing of the project and allow better documentation, compatibilization and analyses of the projects. At the building site sphere, another optimization way is the use of pre-fabricated concrete elements, replacing the cast-in-place concrete, once it has better quality in its execution, besides allowing to reduce the schedule. The present study aims to compare the construction methods of cast-in-place concrete and pre-fabricated concrete by using BIM process. For this purpose, a bibliographic research was conducted, also an analysis of the comparative method between two versions of one low cost residential project of a Brazilian federal government program. The first one, made with cast-in-place concrete and the second with pre-fabricated concrete. The use of BIM software *Revit* on both versions allow budget comparison, reveling which constructive solution presents lower cost. Therefore, this work intends to contribute for the market analysis by reveling data about the differences of cost between this two construction methods, assisting managers in project decisions.

Keywords: Construction methods, Pre-fabricated concrete, Cast-in-place concrete, BIM.

Sumário

1. Introdução	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo Geral.....	2
1.1.2 Objetivo Específico.....	2
1.2 Justificativa.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Métodos Construtivos na Engenharia Civil.....	4
2.1.1 Concreto moldado in loco	4
2.1.2 Concreto pré-fabricado	6
2.1.3 Experiência com pré-moldados e pré-fabricados no Brasil	9
2.1.4 Experiência com pré-fabricação no Hospital Sarah.....	11
2.2 Métodos de Modelagem na Engenharia Civil	13
2.2.2 CAD	13
2.2.3 BIM.....	14
2.3 Pré-fabricados no contexto Minha Casa Minha Vida.....	20
2.4 Racionalização no segmento da construção popular em tempo de crise econômica.....	24
3. Metodologia do Estudo Comparativo	25
3.1 Descrições da Edificação Residencial Pré-Fabricada.....	27
3.2 Modelagem da casa com paredes de concreto moldadas in loco no BIM.....	31
3.3 Elaboração do orçamento da casa com paredes de concreto moldadas in loco.....	33
3.3.1 BDI.....	35
4. Resultados	38
5. Conclusão.....	46
Referências Bibliográficas	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concretagem in loco de laje.	5
Figura 2: Instalação de laje de concreto pré-fabricada.....	8
Figura 3: Edificação do CEPLAN na UnB, construído com método de pré-moldagem.	11
Figura 4: Croqui do Hospital Sarah Rio de Janeiro.	12
Figura 5: Hospital Sarah Rio de Janeiro.....	12
Figura 6: Exemplo de projeto residencial feito em modelagem CAD.	14
Figura 7: Interferência entre instalação hidráulica e viga detectada pela ferramenta BIM clash detection.	16
Figura 8: Exemplo de cronograma de obra no software NavisWorks.	17
Figura 9: Exemplo de projeto residencial desenvolvido no programa BIM Revit.....	18
Figura 10: Visualização 3D do planejamento da obra.	19
Figura 11: Conjunto residencial do programa Minha Casa Minha Vida construído com paredes de concreto em São Luís (MA).	21
Figura 12: Instalação de parede de concreto armado em residência do programa MCMV.	22
Figura 13: Edificação residencial popular do programa Minha Casa Minha Vida feita com elementos pré-fabricados.....	22
Figura 14: Construção do Residencial Monterrey feito com elementos pré-fabricados.	23
Figura 15: Residencial Monterrey, habitação social do programa MCMV em São Paulo.	24
Figura 16: Mapa mental das etapas realizadas para comparação dos métodos construtivos no presente estudo.	27
Figura 17: Fluxograma da metodologia utilizada no estudo comparativo.	27
Figura 18: Modelo da casa pré-fabricada comercializado pela empresa Base Forte.	29
Figura 19: Planta baixa da casa pré-fabricada comercializada pela empresa Base Forte.	30
Figura 20: Renderização feita no modelo da casa com parede de concreto moldada in loco feita no Revit.	32
Figura 21: Planta baixa da casa com paredes de concreto moldadas in loco, modelada no Revit.	33
Figura 22: Representação gráfica do condomínio de residências unifamiliares.	43
Figura 23: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 1).....	44
Figura 24: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 2).....	44
Figura 25: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 3).....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro comparativo dos aspectos positivos e negativos da utilização do método de concretagem in loco.	6
Tabela 2: Quadro comparativo dos aspectos positivos e negativos da utilização do método de concreto pré-fabricado.....	9
Tabela 3: Quadro resumo das principais vantagens da utilização do processo BIM.	20
Tabela 4: Planilha de quantitativo de paredes gerada pelo software Revit.....	32
Tabela 5: Planilha de quantitativo de lajes gerada pelo software Revit.....	32
Tabela 6: CUB referente ao metro quadrado de residência unifamiliar de baixo padrão.	34
Tabela 7: Demonstração analítica do BDI utilizado no orçamento da casa com paredes de concreto moldadas in loco.....	36
Tabela 8: Valores máximos e mínimos aceitos pelo TCU para as parcelas do BDI.....	37
Tabela 9: Custo da casa pré-fabricada da empresa Base Forte.	38
Tabela 10: Custo da casa moldada in loco.	38
Tabela 11: Orçamento da casa com paredes moldadas in loco.	38
Tabela 12: Curva ABC.....	42
Tabela 13: Resumo dos custos da residência para cada método.	42
Tabela 14: Custo de implantação das residências no condomínio com 30 unidades.	43

LISTA DE ABREVIATURA

BDI – Benefício e Despesas Indiretas

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer-Aided Design*

CEF – Caixa Econômica Federal

CEPLAN – Centro de Planejamento Oscar Niemeyer

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CPRB – Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta

CTRS – Centro de Tecnologia da Rede Sarah

CUB - Custo Unitário Básico de Construção

HIS – Habitação de Interesse Social

ISS – Imposto sobre Serviço

MCMV – Minha Casa Minha Vida

PIS – Programa de Integração Social

SG – Serviços Gerais

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos

TCU – Tribunal de Contas da União

VDC – *Virtual and Design Construction*

1. Introdução

Quando tratamos de projetos de engenharia, lidamos com diferentes tipos de projeto: arquitetônico, estrutural, de instalações, entre outros. Nas últimas décadas, o desenvolvimento da construção civil e a conseqüente demanda por projetos maiores e complexos provocaram a necessidade do aprimoramento das ferramentas de auxílio aos projetos.

Com as ferramentas CAD (*Computer-Aided Design*) houve a transição da execução manual dos projetos para o meio digital, onde o usuário interage com o computador, fazendo nele o desenho do projeto. Esse tipo de auxílio revolucionou o trabalho dos projetistas na engenharia, sendo um divisor de águas importantíssimo na elaboração de projetos de engenharia.

O desenvolvimento da engenharia civil provocou a necessidade de um método de modelagem mais completo, que tornasse possível vinculação de informações, e não apenas uma ferramenta de desenho. Foi criado, assim, o processo BIM (*Building Information Modeling*), que tem como principais diferenciais a capacidade de integrar os diversos tipos de projeto de uma edificação e a associação de dados aos elementos do projeto.

Além das ferramentas de projeto, o desenvolvimento da construção civil também exigiu que os métodos construtivos fossem desenvolvidos e aprimorados, tornando o processo construtivo mais eficiente e acelerado, capaz de acompanhar tal crescimento.

O sistema construtivo é uma escolha determinante para a construção do projeto e as tendências atuais da engenharia civil estão voltadas para sistemas que possibilitem uma construção enxuta, melhor planejada e com menor desperdício. Um exemplo que tem ganhado muito espaço no cenário brasileiro é a utilização de peças de concreto pré-fabricado, que se mostra muito vantajoso em empreendimentos modulares, onde há a utilização repetida de peças de mesma dimensão, o que permite uma execução mais acelerada e evita a perda de material de fôrmas, se comparado ao concreto moldado *in loco*.

A partir dos avanços e mudanças sofridas pela engenharia civil nas últimas décadas, o presente estudo propõe-se a comparar os métodos construtivos de concretagem *in loco* e pré-fabricação, gerando resultados que contribuam para o mercado, de forma a

evidenciar dados reais sobre a utilização de cada um desses métodos no contexto de construção de conjuntos residenciais populares de baixo custo.

Para que seja possível realizar tal estudo comparativo, serão examinadas duas versões de um mesmo projeto de uma casa popular: uma em concreto moldado *in loco* e outra em concreto pré-fabricado. O projeto será desenvolvido em plataforma BIM, utilizando o *software Revit*. Com o modelo devidamente desenhados na plataforma, será possível comparar orçamento para os dois casos, considerando a execução de um condomínio com 30 unidades residenciais, padrão Minha Casa Minha Vida (MCMV).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar o método construtivo convencional com concreto moldado *in loco* e o método construtivo de elementos de concreto pré-fabricados na execução de um conjunto residencial de baixo custo com 30 unidades por meio da plataforma BIM, utilizando o *software Revit*.

1.1.2 Objetivo Específico

- i. Avaliar, entre os métodos de construção com concreto moldado *in loco* e pré-fabricado, qual é o mais vantajoso em termos de **custo**, para execução de um conjunto residencial de baixo custo com 30 unidades, por meio da ferramenta BIM.

1.2 Justificativa

O pulsante crescimento da construção civil a partir do século XX conferiu grande importância desta à economia, fazendo com que se tornasse um ramo extremamente competitivo. Assim, para que uma empresa consiga ser competitiva dentro desse mercado, é cada vez mais imperativa a busca por aprimoramento de seus projetos e métodos construtivos, buscando executar obras mais econômicas, com melhor qualidade, desempenho e planejamento enxuto.

Dentro desse panorama atual, estudos que se proponham a oferecer resultados comparativos entre métodos construtivos diferentes têm grande papel em âmbito de mercado,

uma vez que as empresas buscam, cada vez mais, soluções construtivas que ofereçam maior eficiência em suas obras. Neste contexto, a investigação comparativa entre a concretagem *in loco* e a pré-fabricação se mostra relevante, já que estas são opções construtivas que possuem características e peculiaridades próprias que devem ser conhecidas pelos projetistas e construtoras.

A escolha do modelo de conjunto residencial MCMV para a comparação dos métodos construtivos se deu pelo fato deste tipo de empreendimento possuir alta demanda hoje no mercado, necessitando estudos que forneçam informações úteis sobre sua execução, e pelo fato dos projetos MCMV possuírem característica modular e com pouca variação de tipologia, ideal para comparação do método de pré-fabricação, já que este torna-se mais justificável se aplicado em empreendimentos que tenham elevada repetição de elementos idênticos.

O estudo comparativo proposto torna-se exequível pela utilização da ferramenta BIM, que possibilita a elaboração dos cronogramas e orçamentos dos modelos. O *software* escolhido para o estudo foi o *Revit*, devido à facilidade de acesso a ele, por meio de uma versão estudantil disponibilizada gratuitamente, e pelo fato de possuir as ferramentas de apoio necessárias à comparação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Métodos Construtivos na Engenharia Civil

A engenharia civil abrange uma enorme gama de projetos dos mais variados tipos e, para que seja possível adequar cada um às situações de instalação e utilização que necessitam, existe uma série de opções de projeto e opções construtivas que podem ser elencadas.

Quando falamos em sistemas construtivos, nos referimos às diversas opções de estrutura, vedação (incluindo alvenaria e revestimento), esquadrias, pintura e impermeabilização, por exemplo. Já os métodos construtivos referem-se, por exemplo, à estrutura moldada *in loco*, estrutura pré-moldada, revestimento projetado, pintura convencional e pintura projetada (LIMA, 2013).

2.1.1 Concreto moldado *in loco*

Ao nos referimos à construção de uma edificação, existem diversas opções construtivas que podemos utilizar, como alvenaria estrutural, estrutura metálica, *steel frame*, *wood frame*, entre outros (LIMA, 2013).

Hoje, no Brasil, o método construtivo que lidera as construções é o método de moldagem de concreto *in loco*. Este utiliza pilares, vigas e lajes em concreto armado para a superestrutura da edificação e alvenaria de blocos cerâmicos para vedação (COSTA 2013).

As peças de concreto, nesse método, são moldadas em seus locais definitivos de utilização, com fôrmas de madeira ou metálica. As mais usuais são as fôrmas feitas em compensado de madeira, que pode ser resinado ou plastificado. Para execução de cada peça, é necessário que as fôrmas sejam preparadas adequadamente, fixando-as com sarrafos de madeira para que não se movam durante o procedimento. Além disso, posiciona-se dentro delas o aço, que também deve ser fixado no lugar designado no projeto estrutural, sem se mover durante a concretagem. Feita essa preparação, o concreto é lançado, vibrado, curado e espera-se cerca de sete dias para a retirada das fôrmas (ALLEN; IANO, 2013).

Como o concreto não terá atingido sua resistência de projeto até o 28º dia após a concretagem, torna-se necessário fazer o escoramento de toda a estrutura antes de lançar o concreto nas fôrmas. Desse modo, ao desenformar as peças recém executadas, não haverá deformação decorrente da ação do peso próprio das peças (COSTA, 2013).

Nesse método, em geral, a vedação é feita com blocos cerâmicos ou de concreto não estruturais, assentados com argamassa. Tal processo mostra-se ainda demasiadamente manual, resultando em um alto índice de retrabalho devido às imperfeições dos blocos, que geram necessidade de acerto do alinhamento na argamassa de revestimento. Além disso, para realizar as instalações elétricas e hidráulicas, torna-se necessário que a parede de blocos seja parcialmente quebrada a fim de permitir a passagem dos eletrodutos e canos (ALLEN; IANO, 2013).

Apesar desses fatores que exigem retrabalho na execução, a moldagem *in loco* é, por muitas vezes, vantajosa, já que o projetista tem opções quase ilimitadas para o projeto arquitetônico da edificação, podendo optar por vários tipos de geometria e textura superficial nas peças. Têm-se também, elementos estruturais que só podem ser executados *in loco*, como fundações em tubulões e fundações contínuas. Existem projetos em que a moldagem *in loco* não é a única opção executável, entretanto mostra-se uma escolha devido às suas características arquitetônicas de maior massa e monoliticidade (COSTA, 2013).

Figura 1: Concretagem *in loco* de laje.



Fonte: <http://miramarresidencial.com.br/blog/?p=106>

Em suma, o método construtivo convencional moldado *in loco* é uma opção que demanda alta utilização de mão-de-obra e, ainda, tem aspectos muito artesanais em sua execução. Sua utilização em larga escala no panorama brasileiro se deve, principalmente, ao fato da mão-de-obra no Brasil ser menos onerosa, tornando as técnicas industrializadas menos competitivas, e a uma questão de cultura organizacional das construtoras, que dominam a execução desse método e, por isso, o utilizam na maior parte dos empreendimentos. Outro fator determinante, é o rápido desenvolvimento tecnológico que esse método tem em resposta às limitações da moldagem *in loco*, por meio de métodos racionalizados de manuseio dos materiais, sistemas de fôrmas reutilizáveis que podem ser montados e desmontados quase que instantaneamente, pré-fabricação de armadura e mecanização das operações de acabamento, o que tem mantido o concreto moldado no local entre as técnicas de construção preferidas pelas construtoras, arquitetos e engenheiros (ALLEN; IANO, 2013).

Entretanto, existem hoje opções construtivas que suprem esses gargalos do método construtivo com concreto moldado *in loco* e que podem trazer diversos benefícios à execução do empreendimento. Uma alternativa muito interessante, e que tem ganhado cada vez mais espaço no Brasil, é a utilização de pré-fabricados para a superestrutura de edificações (MAYOR, 2012).

Tabela 1: Quadro comparativo dos aspectos positivos e negativos da utilização do método de concretagem *in loco*.

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Projeto, planejamento e execução deste método são bem conhecidos e dominados pelas empreiteiras	Maior tempo de espera para desforma e retirada do escoramento
Maior opção de escolha quanto a geometria dos elementos estruturais	Maior desperdício de material na moldagem das peças
Monoliticidade da estrutura	

Fonte: Autoria própria.

2.1.2 Concreto pré-fabricado

A NBR 9062:1985 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ABNT, 1985) item 3.6 define o elemento pré-fabricado como aquele que possui execução industrializada, mesmo que em instalação temporária em canteiro de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim que atende condição de controle de qualidade

mais rigorosa. Este difere-se do pré-moldado, definido segundo o item 3.5 da norma como um elemento executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, envolvendo determinado controle de qualidade, porém inferior ao controle presente na execução do elemento pré-fabricado.

O método construtivo com elementos pré-fabricados consiste em vigas, pilares, lajes e outros elementos estruturais moldados em ambiente industrial com alto controle de qualidade, feitos em concreto armado, transportados e fixados de forma apropriada em seus lugares definitivos da estrutura da edificação.

A produção dos elementos pré-fabricados oferece muitas vantagens em relação à moldagem *in loco*. As operações de moldagem são realizadas de maneira mecanizada, como a mistura e o lançamento, e em ambiente abrigado. Tal processo representa um grande benefício para construção em lugares com condições climáticas adversas, como temperaturas extremas, que seriam possíveis causadores de atraso na produção com moldagem *in loco*. Além disso, permite maior qualidade dos elementos estruturais se comparados com os elementos moldados *in loco*, necessitando menor trabalho na posterior etapa de acabamento, visto que as peças já possuem superfície no concreto melhor acabada (ALLEN; IANO, 2013).

Outro ponto importante da construção com concreto pré-fabricados é que este permite a utilização de fôrmas permanentes, podendo estas serem feitas de aço, concreto, plástico reforçado com fibra de vidro ou painéis de madeira revestidos com películas. Fôrmas com estes materiais conferem ao elemento alta qualidade nas superfícies, além de poderem ser reutilizadas por mais vezes do que as fôrmas de compensado de madeira, diminuindo o custo com fôrmas por elemento moldado (MAYOR, 2012).

Devido ao maior controle de qualidade possibilitado pela pré-fabricação dos elementos estruturais, torna-se possível construir peças com menores espessuras e pesos do que seria possível na moldagem *in loco*. Este procedimento gera uma estrutura mais leve, economizando no volume total de concreto e na fundação da edificação.

Simplifica-se o processo de construção com a utilização de pré-fabricados, sendo similar ao de estruturas metálicas, pois não há fôrmas para montar e desmontar e o tempo de cura do concreto é pequeno ou inexistente. Além disso, como os componentes que fazem a função de fechamento horizontal não costumam ser vazados, evita-se o uso de componentes adicionais de vigas ou painéis horizontais, como é no caso de estruturas metálicas, que não são monolíticas como as peças em concreto (ALLEN; IANO, 2013). O método também

permite execução mais acelerada da obra, com planejamento mais enxuto, havendo, em muitos casos, diminuição da quantidade de mão-de-obra e material, se comparado com o método convencional de concreto moldado *in loco*.

Figura 2: Instalação de laje de concreto pré-fabricada.



Fonte: <http://incopre.com.br/index.php/quais-as-diferencas-entre-o-concreto-pre-fabricado-e-o-pre-moldado/>

Por outro lado, alguns fatores dificultam a utilização de peças pré-fabricadas, como a necessidade, em alguns projetos, de mão-de-obra mais qualificada e especializada para execução e instalação desses elementos. Os projetistas também devem ponderar as vantagens e desvantagens desse método no momento do projeto, pois, mesmo que mais leves, os elementos estruturais têm restrição em suas dimensões, já que precisam ter um tamanho possível de realizar o transporte até o local definitivo na estrutura (MAYOR, 2012).

Além disso, há a necessidade de maiores espaços no canteiro para a central de produção das peças e acomodação dos equipamentos de transporte destas. Para os empreendimentos que não contam com uma instalação de fabricação dos elementos pré-fabricados em canteiro de obras, e em que estes são executados em fábricas especializadas, existe ainda a dificuldade do mercado desses elementos ser pouco desenvolvido, havendo escassez desse serviço de fabricação. Por fim, nota-se que o método de construção com peças pré-fabricadas no Brasil não é economicamente justificado se utilizado em pequenas obras,

sendo, nesses casos, mais oneroso que o método de concreto moldado *in loco* (REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO).

A qualidade dos projetos também é um fator determinante para a escolha da utilização de elementos pré-fabricados, uma vez que este método construtivo requer enorme precisão de projeto e planejamento bem elaborado.

Em âmbito internacional, esse método é largamente utilizado. Isso se deve ao fato de que países como Estados Unidos e Reino Unido, por exemplo, possuem mão-de-obra mais onerosa do que a disponível no Brasil, fazendo com que haja necessidade de utilizar um método construtivo que exija a redução do número de mão-de-obra empregada e, ao mesmo tempo, qualificação e especialização para execução desse tipo de serviço. Outro fator que motiva a utilização de peças pré-moldadas nestes países são as condições climáticas não favoráveis à moldagem *in loco*.

Tabela 2: Quadro comparativo dos aspectos positivos e negativos da utilização do método de concreto pré-fabricado.

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Maior qualidade do elemento estrutural	Dificuldade na logística de transporte e instalação dos elementos pré-fabricados;
Estrutura final mais leve, resultando em menores estruturas de fundação;	
Diminuição da quantidade de mão de obra;	
Execução acelerada;	Mais oneroso em casos de empreendimentos pouco modulares e com muita variação de tipologia;
Economia em fôrmas e revestimento para acabamento das peças;	Restrição na geometria dos elementos estruturais;

Fonte: Autoria própria.

2.1.3 Experiência com pré-moldados e pré-fabricados no Brasil

Segundo Vasconcelos (2002), a primeira grande obra no Brasil que teve utilização de elementos pré-fabricados foi do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. Executada pela construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen no ano de 1926, a obra contou com algumas aplicações de elementos pré-fabricados, como as estacas presentes na fundação e as cercas no perímetro da área do hipódromo.

Na década de 1950, teve início no Brasil uma maior preocupação com a racionalização dos métodos construtivos (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005). Conforme Vasconcelos (2002), nessa época foram construídos uma série de galpões industriais feitos em concreto pré-moldado, na cidade de São Paulo, pela Construtora Mauá. Esta mesma empresa começou a pré-fabricação em canteiro com a fábrica do Curtume Franco-Brasileiro.

Nos anos 1960, no contexto da construção de Brasília, uma experiência relevante com pré-moldados foi feita na edificação da Universidade de Brasília.

O campus situado na parte norte do centro da cidade, ocupa aproximadamente 4 km² de área total e mais de 500 mil m² de área construída, destinada a salas de aula, laboratórios, almoxarifados, entre outros, onde muitas dessas instalações foram produzidas com elementos de concreto pré-moldado (UNB, 1970).

Uma das edificações pré-moldadas mais interessantes feitas no campus é hoje conhecidas como “SG – Serviços gerais”, ocupada pelo instituto de artes e pelo Centro de Planejamento Oscar Niemeyer - CEPLAN. Projetada por Oscar Niemeyer em 1962, possui basicamente paredes de argamassa pré-moldada e vigas de concreto protendido pré-moldado (UNB, 1970).

As paredes são formadas por placas que possuem uma geometria de encaixe umas nas outras. Já as vigas são dispostas metro a metro, apoiando seus extremos nas placas que formam as paredes. Isso permite que as instalações dentro da edificação sejam dispostas de diversas formas. Pode-se, por exemplo, não colocar as vigas para recobrimento em uma parte do edifício, criando jardins de inverno. Os espaços internos são inteiramente livres, podendo ser divididos com elementos leves de vedação e facilmente modificados, conferindo alta adaptabilidade à edificação. Os acessos são feitos pela simples eliminação de uma das placas pré-moldadas, e as janelas colocadas no lugar de placas inteiras, feitas em sistema basculante de contrapeso (UNB, 1970).

As placas foram produzidas em usina, moldadas utilizando fôrmas de madeira compensada por dez vezes reaproveitada. O emprego do vapor permitiu a cura do concreto em 36 horas. As placas pesam cerca de 700 quilos e têm três metros de altura por um metro de comprimento e foram providas 949 unidades. A montagem das placas foi feita na razão de duas por hora, utilizando um equipamento capaz de erguer 18 toneladas (UNB, 1970).

As vigas foram moldadas no canteiro da obra, em fôrmas de madeira compensada com lado desmontável e reaproveitadas por 18 vezes. O emprego a protensão permitiu vencer vãos de 12 metros com uma seção de apenas 12 cm por 40 cm, utilizando vigas de 15 metros de comprimento e 1700 quilos, sendo providas 424 unidades. Utilizando os mesmos equipamentos da montagem das placas, as vigas foram colocadas numa razão de uma por hora. A ligações entre as vigas e as placas foram feitas por meio de soldas e a cobertura da edificação foi feita em chapa plana de alumínio cortada e dobrada em canteiro, coladas às vigas em ranhuras previamente executadas (UNB, 1970).

Utilizando o sistema descrito a cima, com placas parede e vigas pré-moldadas, foi possível construir, num prazo de 45 dias, quatro edifícios de um pavimento (UNB, 1970).

Figura 3: Edificação do CEPLAN na UnB, construído com método de pré-moldagem.

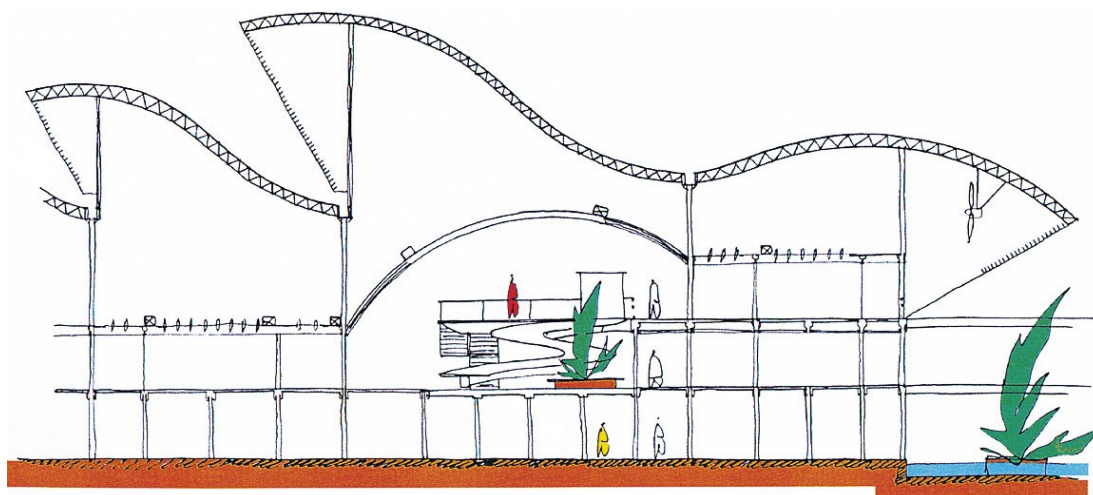


Fonte: <http://unb2.unb.br/noticias/unbagencia/unbagencia.php?id=7422>

2.1.4 Experiência com pré-fabricação no Hospital Sarah

Uma experiência pioneira de pré-fabricação no Brasil foi a da construção do Hospital Sarah Rio, inteiramente executado com elementos pré-fabricados.

Figura 4: Croqui do Hospital Sarah Rio de Janeiro.



Fonte: <https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/arquiteto-joao-filgueiras-lima-lele-hospital-rede-sarah-27-10-2009>

Figura 5: Hospital Sarah Rio de Janeiro.



Fonte: <http://arqugia.com/>

O renomado arquiteto Lelé concebeu o Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS, sediado na cidade de Salvador, como um sistema fabril e de pesquisa tecnológica, com intuito de projetar e construir a expansão da Rede de Hospitais Sarah (SEGAWA; GUIMARÃES, 2010).

No CTRS foram produzidos incontáveis elementos do hospital, desde peças estruturais em concreto armado à móveis. Fundações, vigas, pilares, paredes, coberturas, pisos, arte aplicada, divisórias, forros, portas, esquadrias, elevadores, luminárias, cadeiras, poltronas e mesas, por exemplo, foram todos pré-fabricados no CTRS em Salvador e transportados até seus lugares de instalação no Rio de Janeiro, sendo a distância rodoviária entre as duas cidades de 1.649 km (SEGAWA; GUIMARÃES, 2010).

2.2 Métodos de Modelagem na Engenharia Civil

No século XX houve um grande crescimento da industrialização moderna e a crescente população mundial exigiu que os processos de fabricação e manufatura fossem modernizados. Sentiu-se nas grandes indústrias, como automobilística, aeroespacial e da construção civil, a necessidade de uma forma de auxílio computacional para modelagem dos produtos, de forma que o usuário pudesse interagir com o *software*, gerando uma representação gráfica suficiente para execução destes (MARIA, 2008).

Em 1957, Dr. Patrick J. Hanratty criou o primeiro *software* CAD, denominado PRONTO, ficando referenciado como o pai do CAD/CAM, porém foi apenas nos anos 70 que os *softwares* começaram a migrar da pesquisa para o uso comercial, e nos anos 80 iniciaram a corrida pelo novo mercado emergente dos *softwares* CAD (MARIA, 2008) Entre estes, o que mais se destacou foi o AutoCAD, oferecendo ferramentas de modelagem em 2D para o processo de criação de projetos.

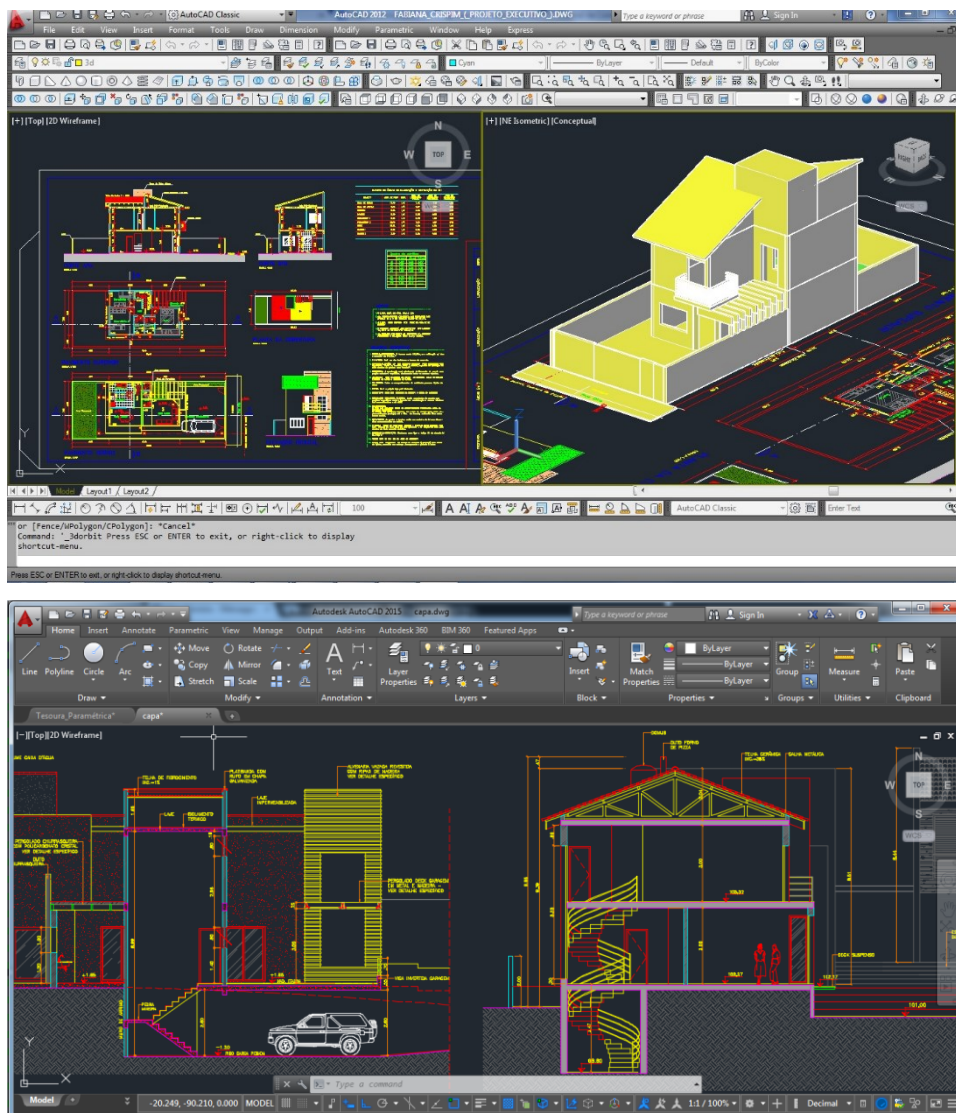
O AutoCAD conquistou o mercado e passou a ser uma ferramenta indispensável nos projetos de engenharia, isso porque mostrou-se muito vantajoso no desenvolvimento dos projetos, que eram antes feitos manualmente. Além de ter possibilitado melhor documentação, otimizou o processo, diminuindo o tempo para se desenvolver um produto e melhorando o gerenciamento deste, o que aumentou a produtividade.

2.2.2 CAD

A definição de CAD é *Computer-Aided Design*, que significa desenho assistido por computador. Consiste em *softwares* com foco no desenho de um produto, seja ele uma peça de automóvel ou a planta baixa de um edifício, onde o projetista interage com o programa, designando forma ao produto por meio das ferramentas oferecidas por ele.

Os modelos no CAD podem ser planares, em 2D, ou espaciais, em 3D. Os arquivos gerados dessa modelagem consistem basicamente em vetores, tipos de linha associados e identificação de camadas (layers) (EASTMAN, 2011). Desta forma, o traçado do projeto é inteiramente interpretado por quem o lê, havendo pouca ou nenhuma informação vinculada ao objeto desenhado, fazendo com que os fluxos e operações de trabalho dependem do fator humano, como o levantamento de quantitativos e compatibilização de projetos, por exemplo.

Figura 6: Exemplo de projeto residencial feito em modelagem CAD.



Fonte: <https://construir.arq.br/pacote/autocad-premium/>

2.2.3 BIM

BIM é um termo importado da língua inglesa que significa Modelagem de Informação da Construção (*Building Information Modeling*), publicado pela primeira vez em 1992. Estman (2011) define BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Na literatura, Nederveen, Beheshti, Ridder, Isikidag e Underwood definem BIM como um processo cujo objetivo consiste em gerar um modelo de informações, que deve ser suficiente para suportar a gestão de todos os processos ao longo do ciclo de vida e que pode ser caracterizado como uma forma de criação, compartilhamento, troca e gerenciamento de informações do empreendimento (CBIC, 2016)

O BIM não se reduz apenas a um *software* ou ferramenta. Trata-se de um processo, que viabiliza a tomada de decisão ao longo de todo ciclo de vida da edificação. Além da geometria da construção, abrange uma série de informações de todas as disciplinas envolvidas em um empreendimento, integrando projeto arquitetônico, estrutural, de instalações e gerencial. Um dos grandes diferenciais da utilização do BIM é que implica em uma mudança de paradigma na modelagem para a construção civil. Isso se deve ao fato de que a representação gráfica deixa de ser abstrata, feita por meio de símbolos, como é no CAD, e passa a possuir representação 3D onde os componentes construtivos do modelo contém semântica, ou seja, são reconhecidos pelo *software* pelo que representam (SANTOS 2012).

Desse modo, o BIM possibilita maior integração dos agentes envolvidos durante o processo de projeto e de construção, de forma simultânea, resultando em projetos e edificações de maior qualidade, além de custos e tempo de execução reduzidos.

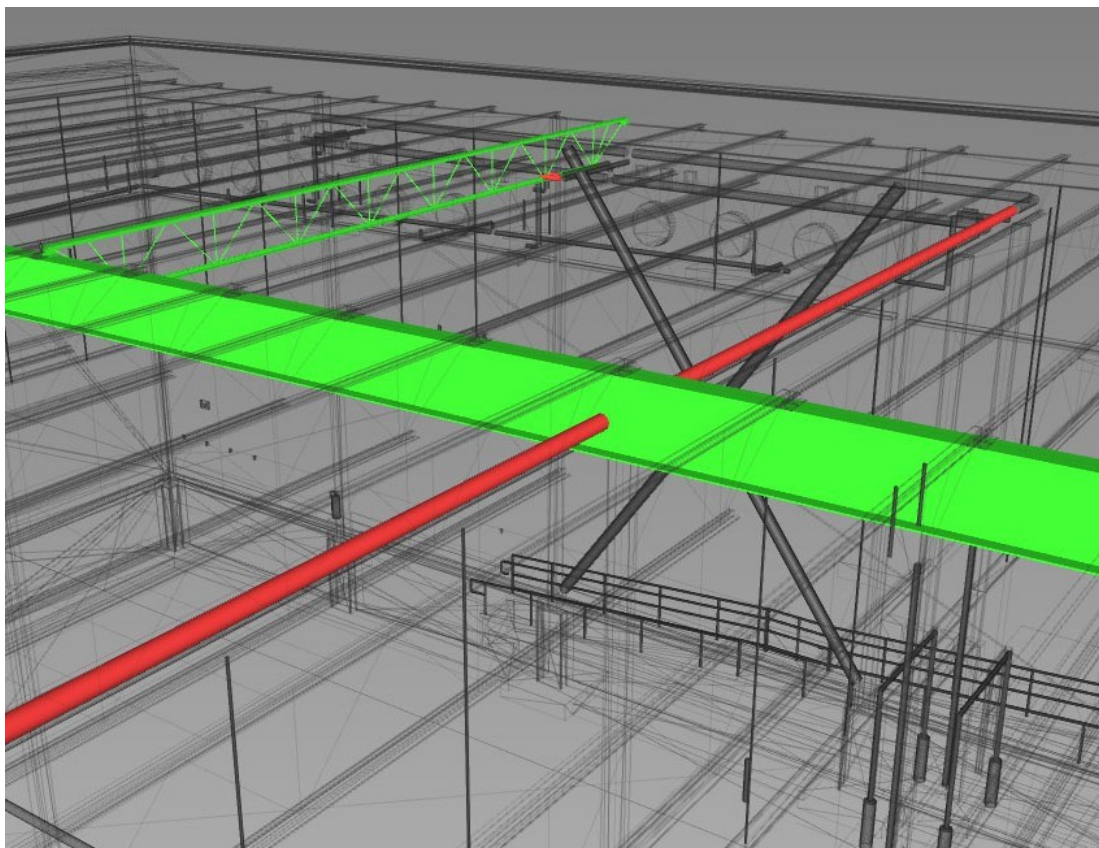
Outra característica importante do modelo de construção BIM é que os dados não são redundantes, de forma que as modificações dos componentes são automaticamente representadas em todas as visualizações do projeto.

Uma grande vantagem do processo BIM é que este possibilita o cálculo automático do quantitativo de todos os materiais inseridos no projeto. Isso é possível devido à característica BIM de inserção de dados nos objetos. Enquanto no CAD uma parede compõe-se por um conjunto de linhas paralelas, no BIM essa mesma parede é descrita em informações como qual tipo de bloco cerâmico a compõe, espessura de emboço, reboco e tinta, permitindo que cada um desses insumos seja quantificado pelo *software*, gerando uma planilha com todo quantitativo do projeto.

Além do ganho de produtividade possibilitado pela automatização do levantamento de quantitativo, os *softwares* BIM permitem uma grande economia em projetos solucionando um grave problema na construção civil: compatibilização de projetos.

No *software* de gerenciamento NavisWorks da Autodesk, por exemplo, existe uma ferramenta chamada “*clash detection*” que identifica qualquer interferência entre projeto arquitetônico, estrutural e de instalações, evidenciando os erros e possibilitando que o usuário solucione os problemas ainda em fase de projeto, redesenhando a parte onde foi detectado o erro.

Figura 7: Interferência entre instalação hidráulica e viga detectada pela ferramenta BIM clash detection.



Disponível em <http://www.webbersmith.com/portfolio-item/3455/>

A literatura traduz o processo BIM em seis diferentes níveis ou dimensões. As três primeiras (3D) referem-se àquelas necessárias para caracterização do objeto e posicionamento espacial. Uma das grandes vantagens proporcionadas pelo BIM 3D é a detecção de inconsistências entre os elementos no espaço tridimensional por meio da ferramenta citada anteriormente nesse trabalho chamada “*clash detection*” (BERTINATO, 2012).

A quarta dimensão do BIM consiste na vinculação dos elementos gráficos da edificação ao cronograma da obra, permitindo ao gestor maior controle no acompanhamento do avanço físico da construção. Além do benefício de melhor monitoramento para os gestores, o BIM 4D permite mostrar ao cliente do empreendimento uma simulação de como será a evolução da obra no decorrer do tempo de execução, sendo assim uma ferramenta importante no mercado competitivo (COELHO, 2008).

Figura 8: Exemplo de cronograma de obra no software NavisWorks.



Fonte: <https://engenhabin.com/curso/navisworks-2016-compatibilizacao-de-projetos/>

No BIM 5D adiciona-se a dimensão de custo, de forma que cada elemento do projeto passa a ser vinculado à dados de preço dos insumos, gerando um orçamento da edificação. Desta forma, havendo qualquer alteração, por exemplo, nas dimensões de um elemento, o orçamento gerado pelo programa é atualizado, acompanhando as mudanças do projeto (MASOTTI, 2014).

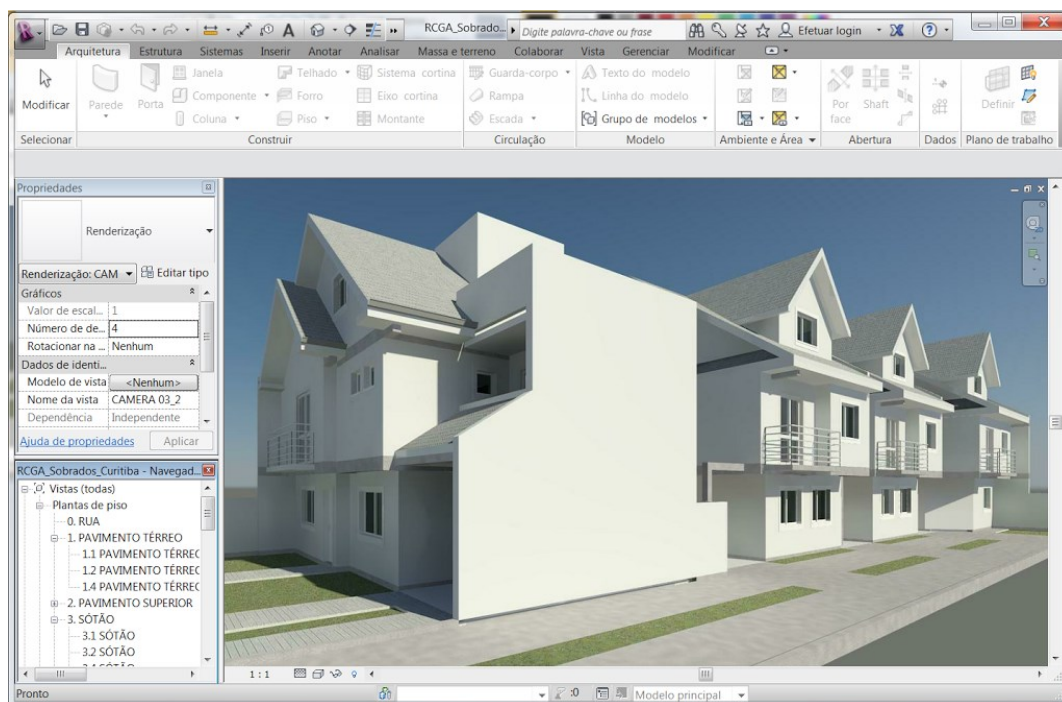
Por fim tem-se a sexta dimensão, que consiste no gerenciamento do ciclo de vida do empreendimento. O BIM 6D possibilita monitorar e controlar planos de manutenção da edificação, garantia dos equipamentos, custos operacionais, entre outras medidas, todas com

finalidade de realizar a adequada manutenção do empreendimento ao longo do seu ciclo de vida (REVISTA PINI).

Existe hoje no mercado uma série de *softwares* que trabalham com o processo BIM. Um dos mais difundidos no mercado é o Revit, da Autodesk, mesma empresa detentora do AutoCAD. Este *software* possui uma versão gratuita para estudantes e estende-se desde o *Revit Architecture*, ao *Revit Structure* e *Revit MEP*, que possibilitam a execução de projetos arquitetônico, estrutural e de instalações, respectivamente. Além disso, o programa apresenta a possibilidade de comunicação com outro *software* da AutoDesk chamado *NavisWorks*, que tem papel de realizar o auxílio gerencial dos projetos das diferentes disciplinas.

Outra opção de *software* BIM muito utilizada é o *ArchiCAD*, da *Graphisoft*, sendo o programa BIM mais antigo disponível no mercado, possuindo uma extensa biblioteca disponível aos usuários. É compatível com *softwares* de orçamento, como o *Volare* e o Orçamento Expresso, além do *EcoDesign*, programa de cálculo energético (REVISTA ARQUITETURA E URBANISMO).

Figura 9: Exemplo de projeto residencial desenvolvido no programa BIM Revit.

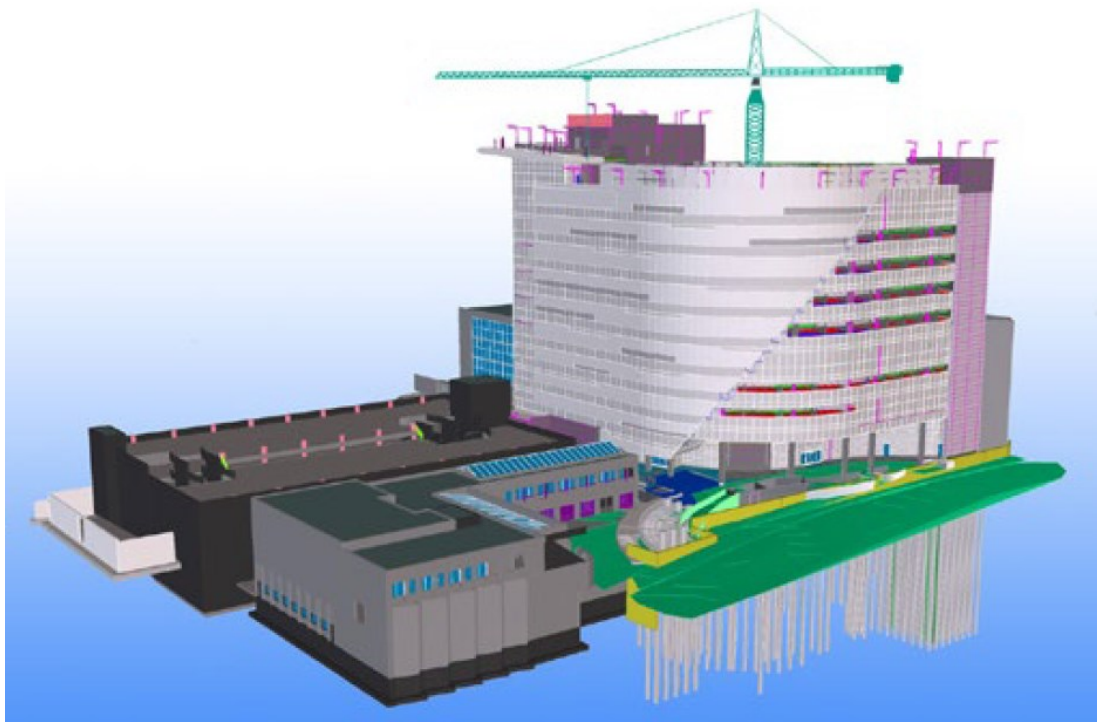


Fonte: <http://cursos.construir.arq.br/revit-2013-aula-11-copiar-mover-e-rotacionar-elementos-modulo-basico-em-portugues/>

É comum dizer que a construção civil é uma indústria de protótipos, já que um mesmo projeto nunca é repetido de maneira idêntica. Sendo assim, o único momento em que

se sabe tudo a respeito de uma determinada obra é quando ela acaba. A plataforma BIM permite modelar não apenas a edificação, mas também o próprio processo construtivo, com as diversas fases de um canteiro de obras, guias e bandejas de proteção, analisando de modo detalhado o processo construtivo utilizado e definindo sequenciamento das atividades com nível de controle sem precedentes na modelagem da construção civil. O Planejamento BIM 4D fornece identificação prévia de conflitos e problemas na fase de construção, ao viabilizar que estes sejam contornados previamente, evitando prejuízos durante a execução. Além disso, disponibiliza o estudo da utilização de recursos críticos como guias e sistemas de transporte em canteiro, que são elementos capazes de ditar a produtividade da obra. Em suma, apresenta o ensaio da construção, antes que se inicie a etapa de execução propriamente dita, evitando erros e retrabalho (CBIB, 2016).

Figura 10: Visualização 3D do planejamento da obra.



Fonte: <https://www.tekla.com/about/webinars>

Uma série de investimentos em construção com elementos pré-fabricados são perdidos devido a imprecisões nas peças e imprevistos na instalação destas na estrutura, inviabilizando a montagem a exigindo retrabalho. Um dos principais fatores que determina o baixo nível de industrialização e pré-fabricação na construção civil no Brasil reside na falta de precisão e assertividade dos projetos. Entretanto, com o BIM, é possível ter maior precisão e coordenação geométrica de componentes, eliminando potenciais interferências e garantindo

maior controle dos processos de pré-fabricação e montagem. Todo o processo de instalação dos elementos pré-fabricados pode ser simulado previamente em computadores com a utilização de VDC – Virtual and Design Construction, que significa Projeto e Construção Virtual (CBIB, 2016).

Tabela 3: Quadro resumo das principais vantagens da utilização do processo BIM.

1	Visualização em três dimensões do projeto
2	Simulação da execução da obra em computador
3	Extração automática de quantitativos
4	Simulações de comportamento e desempenho da edificação e instalações projetadas
5	Identificação automática de interferências entre objetos
6	Geração de documentação consistente e íntegra
7	Capacitação para obras complexas
8	Viabilização do uso da industrialização

2.3 Pré-fabricados no contexto Minha Casa Minha Vida

O programa MCMV (Minha Casa Minha Vida) consiste em uma iniciativa do Governo Federal brasileiro de fornecer condições de financiamento para famílias de baixa renda adquirirem a residência própria (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL).

Os projetos MCMV incidem em residências populares de baixo custo, construídas de maneira modular, com pouca variação de tipologia e em larga escala. Desta forma, é possível haver a diminuição do custo por metro quadrado do empreendimento sem perda de qualidade, desempenho e sustentabilidade da edificação.

Figura 11: Conjunto residencial do programa Minha Casa Minha Vida construído com paredes de concreto em São Luís (MA).



Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/industrializacao-concreto-normas/>

Para possibilitar a execução desses projetos em larga escala e de maneira econômica, torna-se necessário que a opção construtiva da edificação seja escolhida com atenção, considerando as peculiaridades desse tipo de empreendimento. Sendo assim, os métodos utilizados nas edificações do programa MCMV tendem a contar com peças pré-moldadas ou pré-fabricadas, de forma a ser possível um acelerado o ritmo de execução (REVISTA ITAMBÉ).

Uma solução construtiva que vem sendo largamente utilizada no âmbito MCMV são as paredes de concreto, que podem ser moldadas *in loco*, pré-moldadas ou pré-fabricadas. Segundo dados da Caixa Econômica Federal (CEF), a utilização desse método construtivo cresceu de 36% em 2014 para 52% em 2015. Esse crescimento deve-se ao fato de que o emprego desse método confere grande agilidade à obra, uma vez que o processo de construção de paredes de alvenaria de bloco, que é a alternativa mais comum nesse tipo de construção, necessita muito retrabalho e possui baixa produtividade. Além disso, como esse tipo de empreendimento trabalha com alto volume de unidades, o custo das fôrmas é diluído, barateando o processo (REVISTA ITAMBÉ).

Figura 12: Instalação de parede de concreto armado em residência do programa MCMV.



Fonte: <http://comunidade.maiscomunidade.com/conteudo/2011-02-12/imoveis/2307/PRATICIDADE-E-MENOR-CUSTO.pnhtml>

Figura 13: Edificação residencial popular do programa Minha Casa Minha Vida feita com elementos pré-fabricados.



Fonte: <https://www.construcaocivil.info/en/construcao-de-unidades-residenciais-utilizando-estruturas-pre-fabricadas-de-concreto-em-vespasio-minas-gerais-brasil-programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv-productividade-45-dias-para-levant/>

A utilização de métodos construtivos com elementos pré-moldados e pré-fabricados consolidaram, na última década, presença em empreendimentos de habitação de interesse social (HIS). Um fator importante para tal consolidação foi o desenvolvimento da

indústria do setor em sistemas inovadores, que permitiram à construção das edificações residenciais atender alto nível de qualidade com custos enxutos (REVISTA INDUSTRIALIZAR EM CONCRETO).

Um caso que ganhou destaque na utilização de elementos pré-fabricados em HIS do programa MCMV foi a construção do empreendimento Residencial Monterrey, localizado em Rio Claro, São Paulo, pela Domus Populi Brasitherm, composto por 896 unidades, divididas em cinco fases construtivas. A empresa desenvolveu um sistema de painéis nervurados pré-fabricados em concreto armado para as paredes, sendo o projeto composto por 128 unidades em oito prédios de quatro pavimentos, com apartamentos de 48,9 m² de área, incluindo salão de festas, *playground* e guarita na área comum. O processo de implementação e utilização do sistema de painéis nervurados demorou cerca de seis anos, desde sua concepção até a entrega e aprovação pelo usuário final (REVISTA INDUSTRIALIZAR EM CONCRETO).

Figura 14: Construção do Residencial Monterrey feito com elementos pré-fabricados.



Fonte: <http://www.domuspopuli.com.br/>

Figura 15: Residencial Monterrey, habitação social do programa MCMV em São Paulo.



Fonte: Revista Industrializar em Concreto.

2.4 Racionalização no segmento da construção popular em tempo de crise econômica

Em meados de 2014, teve início no Brasil uma forte recessão econômica e um dos setores mais atingidos foi o da construção civil (REVISTA EXAME). As empresas do segmento de Habitação de Interesse Social - HIS precisaram adaptar seus processos produtivos à nova realidade do mercado, que, após um forte crescimento nos últimos anos, enfrenta hoje um acentuado declive (REVISTA TÉCHNE).

Em 2010, no auge do boom imobiliário no Brasil, houve uma grande incorporação de avanços tecnológicos às obras das construtoras, principalmente em equipamentos de movimentação em canteiro. Com a crise econômica, a disponibilidade de mão de obra aumentou consideravelmente, de forma a desfavorecer o investimento em equipamentos de transporte. Assim, houve um retrocesso na racionalização por meio da industrialização dos processos produtivos das construtoras (REVISTA TÉCHNE).

Entretanto, no âmbito das habitações de interesse social, a diminuição do custo de construção é imprescindível para a competitividade na área, tornando-se necessário o aumento da eficiência nas operações logísticas.

Segundo Ubiraci Espinelli Lemos de Souza, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, a industrialização é a soma de três aspectos: pré-fabricação, mecanização e organização do trabalho. Havendo retrocesso em algum desses fatores, haverá comprometimento da produtividade, e, com custos altos, não há lugar no mercado de HIS (REVISTA TÉCHNE).

Pelo fato da utilização de pré-fabricados permitir aumento da produtividade na obra, foi empregada em larga escala no auge do crescimento da construção civil em 2010. Entretanto, com a crise econômica, a redução do volume de obras trouxe retrocesso à utilização desse método, pois o nível de pré-fabricação depende de demanda. Desse modo, a redução do mercado acarretou no aumento de mão de obra está disponível e o método construtivo convencional de concreto moldado *in loco* passa a ser mais viável economicamente.

Outra forma de aumento da produtividade utilizada no mercado HIS é o emprego do BIM. Segundo Ubiraci Espinelli, o BIM pressupõe organização, facilitando a coordenação de projetistas, fornecedores de material e sendo necessário para controle do cronograma, não apenas do projeto. O espaço do BIM é integrador da tomada de decisão em vários níveis, com abordagem integrada.

3. Metodologia do Estudo Comparativo

Com o intuito de comparar o custo entre um conjunto de edificações pré-fabricadas e moldadas *in loco*, foi feita uma pesquisa de mercado em busca de empresas que produzissem casas pré-fabricadas no modelo estabelecido para esse projeto, de residência térrea unifamiliar popular, padrão Minha Casa Minha Vida.

Após uma triagem realizada entre as empresas presentes nesse ramo, foi selecionada uma empresa com sede em Curitiba, chamada Base Forte. A escolha desta empresa deu-se pelo fato de comercializar um modelo de casa pré-fabricada que se encaixa perfeitamente no estabelecido pelo presente projeto. Outro fator determinante residiu na acessibilidade dos empregados da empresa, ao se colocaram à disposição para sanar quaisquer dúvidas a respeito do produto e do método construtivo utilizado, com o propósito de colaborar com o projeto. Esta empresa disponibilizou, também, uma planta baixa da edificação (Figura

17), com todas as medidas e cotas necessárias, além das informações sobre os materiais e formas de execução da casa pré-fabricada.

A partir do projeto e dos dados da casa pré-fabricada, foi desenvolvido no software BIM *Revit* um modelo idêntico ao projeto oferecido pela empresa Base Forte, porém utilizando paredes de concreto moldadas *in loco*, em vez de pré-fabricadas. A escolha da utilização de paredes de concreto no projeto da edificação moldada *in loco* se deu pelo fato de ser a opção construtiva mais similar à da casa pré-fabricada, que é feita com painéis de concreto pré-fabricados. Além disso, as paredes de concreto moldadas *in loco* vêm sendo largamente utilizadas nos empreendimentos Minha Casa Minha Vida, havendo, inclusive, composições de custo unitário referentes a esse serviço no SINAPI.

Este estudo buscou assegurar o cuidado para que o projeto fosse o mais fiel possível ao modelo pré-fabricado, eliminando possíveis variáveis que comprometessem a comparação dos métodos construtivos. Sendo assim, a única diferença entre os dois projetos é a forma de execução das paredes de concreto.

Deste modo, foi comparado o custo final da casa feita com paredes de concreto moldadas *in loco* com o preço de venda de casa pré-fabricada, acrescido do valor de frete desta, calculado para uma distância média de transporte de 70 km. Além da comparação do valor final, foi elaborada uma curva ABC do orçamento da casa com paredes de concreto moldadas *in loco*, a fim de explicitar os serviços com maiores custos e, conseqüentemente, maiores pesos no orçamento.

Figura 16: Mapa mental das etapas realizadas para comparação dos métodos construtivos no presente estudo.

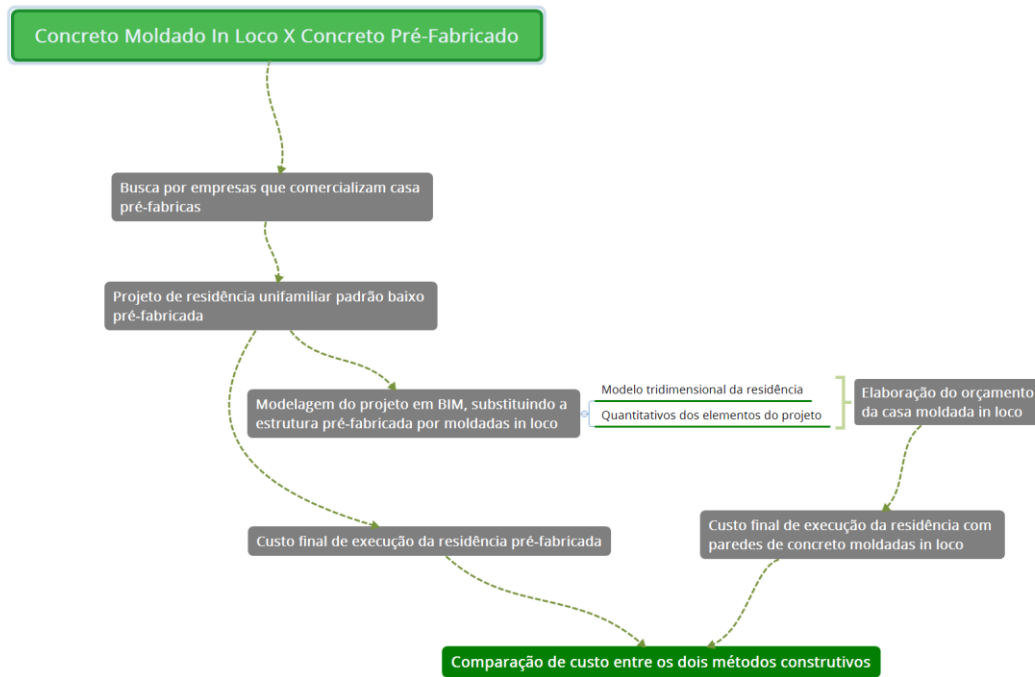
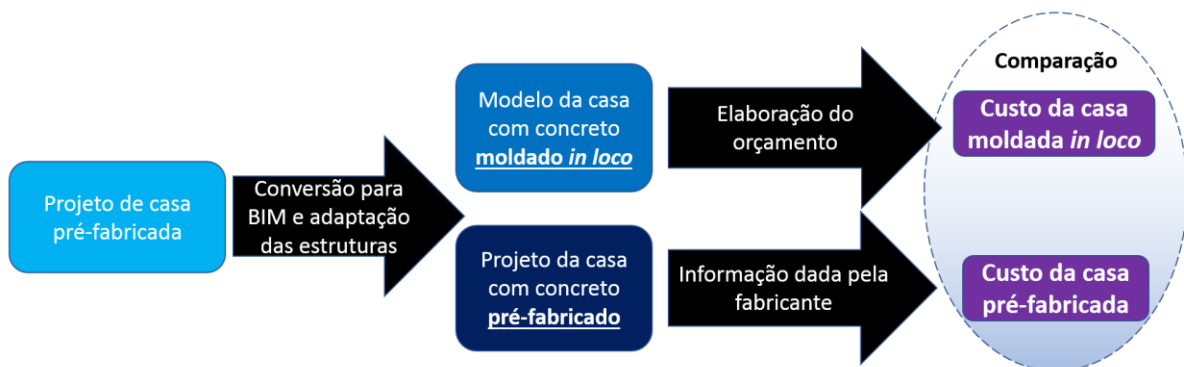


Figura 17: Fluxograma da metodologia utilizada no estudo comparativo.



3.1 Descrições da Edificação Residencial Pré-Fabricada

A casa pré-fabricada vendida pela empresa Base Forte possui 44,26 m², contém dois quartos, um banheiro, cozinha, sala e varanda. Ideal para uma família de até quatro moradores, a casa vendida é entregue com piso cerâmico em todas as dependências, com azulejos até o teto na cozinha e no banheiro. Possui janelas em alumínio, entregues com vidros, além de portas internas em virola e externas em madeira de cedro.

Devido ao baixo peso da estrutura da casa, a fundação é feita com baldrames de 20 cm de altura, impermeabilizada com tinta asfáltica. As paredes são formadas por painéis de concreto de 50 cm de altura, por 90 cm de comprimento e 4 cm de espessura, pré-moldados, fabricados com cimento ARI e ferros galvanizados, com enquadramento de coluna externa e barra lisa em todas as dependências.

O forro da residência é em PVC branco, com colocação convencional (reta) e tarugado a cada 40 cm. A cobertura é feita em duas águas, utilizando telha de fibrocimento ondulada de 5 mm de espessura na cor vermelha. Já o madeiramento da cobertura é em madeira *pinus*, com tratamento básico contra cupins. O fechamento da empena, popularmente chamado de “oitão”, é feito em alvenaria de bloco cerâmico e reboco de massa única.

O banheiro é entregue com vaso sanitário, caixa de descarga acoplada e pia de coluna, com torneira cromada. Além disso, já acompanha toda a instalação hidráulica e de esgoto interna da casa, com tubos, conexões e caixa d’água de capacidade de 250 litros. Acompanha toda a instalação elétrica monofásica interna, com haste de aterramento, quadro de distribuição de circuitos e três pontos de energia por ambiente.

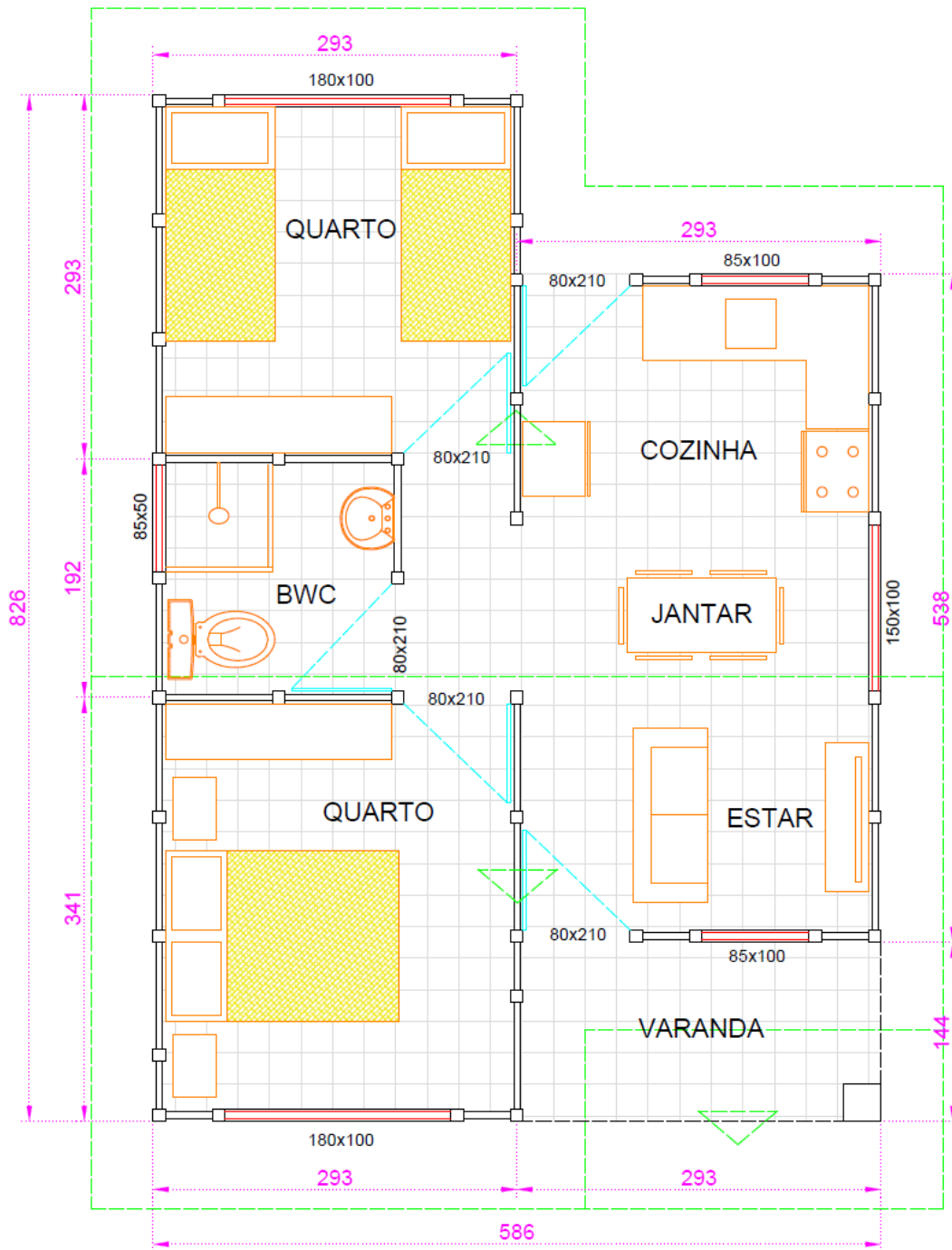
O valor da casa pré-fabricada inclui também toda a mão de obra de montagem da residência, feita com dois ajudantes e um pedreiro em um prazo máximo de 40 dias. Não estão inclusos no valor da casa pré-fabricada serviços de terraplenagem, sendo que o terreno deve estar pronto para montagem da casa. Além disso, caso haja necessidade de blocos ou estacas de fundação, são cobrados valores adicionais. As instalações hidráulica, de esgoto e elétrica externas da casa também não estão inclusas no valor do produto, como ligação da casa à rede de distribuição, fossas e sumidouros. Os tapumes, calhas e rufos devem, também, ser pagos e executados à parte, não fazendo parte do serviço entregue pela empresa Base Forte, assim como a pintura externa e das áreas internas onde não há cerâmica nas paredes.

Figura 18: Modelo da casa pré-fabricada comercializado pela empresa Base Forte



Fonte: <http://www.casasbaseforte.com.br/>

Figura 19: Planta baixa da casa pré-fabricada comercializada pela empresa Base Forte.



Fonte: <http://www.casabaseforte.com.br/>

3.2 Modelagem da casa com paredes de concreto moldadas *in loco* no BIM

Na modelagem buscou-se usar os elementos semelhantes ao apresentado na casa pré-fabricada, utilizando as mesmas medidas presentes na planta baixa disponibilizada pela empresa Base Forte (Figura 17). As espessuras das lajes, dimensão e material das portas e janelas e madeiramento e telhamento da cobertura foram considerados os mesmos presentes no projeto da casa pré-fabricada.

Para a empena, foi modelada uma família de parede no Revit com as mesmas características da utilizada pela empresa Base Forte: blocos cerâmicos de 9x19x19 cm e revestimento em massa única.

Entretanto, nem todos os elementos da casa moldada *in loco* puderam ser modelados de forma idêntica à utilizada na pré-fabricada, exigindo algumas modificações a fim de possibilitar a comparação adequada entre os métodos construtivos. Entre os aspectos que necessitaram adaptação no momento da conversão, pode-se destacar o dimensionamento da fundação.

No projeto pré-fabricado, a fundação da casa é feita apenas com vigas baldrame de 10 cm de base por 20 cm de altura. Esse dimensionamento é possível devido ao baixo peso da estrutura pré-fabricada, assegurada pela maior qualidade dos elementos estruturais e um rigoroso controle de qualidade.

O projeto da residência moldada *in loco*, por sua vez, não conta com essa diminuição do peso da estrutura. Sendo assim, foi necessário realizar um pré-dimensionamento das vigas baldrame, chegando a uma nova dimensão de 15 cm de base e 40 cm de altura.

A modelagem da residência no *Revit* necessitou muita atenção em sua execução, já que todos os quantitativos dos insumos utilizados no orçamento foram extraídos das planilhas geradas pelo *software Revit*. Assim, caso os elementos fossem modelados de maneira inadequada, acarretaria em quantidades equivocadas nas planilhas do programa. A partir da casa devidamente modelada no *Revit*, foram extraídos os quantitativos para a elaboração do orçamento.

Tabela 4: Planilha de quantitativo de paredes gerada pelo software Revit

<Quantitativo de parede>		
A	B	C
Tipo	Área	Volume
Alvenaria vedação bloco 9 cm	28 m ²	3.28 m ³
Parede de Concreto In Loco 10 cm	84 m ²	8.36 m ³

Tabela 5: Planilha de quantitativo de lajes gerada pelo software Revit.

<Quantitativo de lajes>				
A	B	C	D	E
Laje	Espessura-padr	Área	Volume	Elevação na par
Laje superior	10	41 m ²	4.14 m ³	246
Laje térrea	10	46 m ²	4.56 m ³	-10

Figura 20: Renderização feita no modelo da casa com parede de concreto moldada *in loco* feita no Revit.



Figura 21: Planta baixa da casa com paredes de concreto moldadas *in loco*, modelada no Revit.



3.3 Elaboração do orçamento da casa com paredes de concreto moldadas *in loco*

Para a comparação de custo entre os métodos construtivos foi elaborado um orçamento completo da versão feita com paredes de concreto moldadas *in loco* da residência unifamiliar.

A ideia inicial era utilizar um *software* de orçamento que fosse integrado com a plataforma BIM, porém não foi possível obter acesso a nenhum *software* dessa natureza com a base de dados das composições de custo unitárias utilizadas no Brasil. Desta forma, montou-se o orçamento no *software Excel*, usando as composições de custo unitário do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e os quantitativos de material extraídos do *Revit*.

A estrutura do orçamento foi separada por itens, de acordo com a ordem lógica de execução de cada serviço, representado por composições de custo unitário. O sistema de composições de custo utilizado no orçamento foi o do SINAPI, uma vez que os dados se encontram disponíveis à consulta pública e por tratar-se de um sistema com alto nível de confiabilidade, aprovado pelo Tribunal de Contas da União (TCU) e utilizado em larga escala em obras públicas e privadas de edificações.

A data base de preços do SINAPI utilizada no orçamento foi a do mês de outubro de 2017, referente ao estado do Paraná. Essa escolha se deu pelo fato da empresa fabricante da casa utilizada na comparação ser sediada em Curitiba, estando, por tanto, inserida neste mesmo contexto de preços. Além disso, optou-se pela a precificação desonerada das composições, devido à vantagem de custo oferecida pela desoneração quanto ao pagamento da mão-de-obra.

Já os quantitativos do orçamento foram extraídos do modelo da casa feito no *Revit*, por meio das planilhas geradas pelo próprio *software*.

Assim como na modelagem BIM do projeto, algumas considerações foram importantes no momento da elaboração do orçamento. Alguns serviços essenciais, como terraplanagem e a pintura das paredes da casa, foram deixados de fora, pois não fazem parte do escopo de serviços inseridos no custo total da casa pré-fabricada disponibilizado pela empresa e utilizado para a comparação.

Outro ponto que necessitou adaptação foi quanto às instalações elétricas e hidráulicas sanitárias, uma vez que inexistia projeto destas, inviabilizando o orçamento de cada item.

Dessa forma, para o orçamento foi considerado uma verba de instalações, referente a uma porcentagem do Custo Unitário Básico de Construção (CUB), disponibilizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) do Estado no Paraná, referente à data base de novembro de 2017. Para as instalações hidráulicas e sanitárias utilizou-se o valor de 5% do CUB e para as instalações elétricas 7% (PINI, 2017).

Tabela 6: CUB referente ao metro quadrado de residência unifamiliar de baixo padrão.

PADRÃO BAIXO (R\$/m²)	
Residência Unifamiliar	1.332,00

Fonte: <https://sindusconpr.com.br/tabelas-cub-pr>

Como não havia projeto ou dimensionamento dos elementos estruturais, foi necessário utilizar uma taxa média de consumo de aço por metro cúbico. Para as vigas baldrame, utilizou-se o valor de 70 kg de aço por metro cúbico de concreto (BOTELHO, 2004). Já para a armação da laje, o valor adotado foi de 65 kg/m³ (BOTELHO, 2004), e para o pilar 100 kg/m³ (BOTELHO, 2004). Nas paredes de concreto da edificação, verificou-se que a malha de aço nelas utilizada tem 1 kg/m², dado informado pelo SINAPI.

3.3.1 BDI

Em um orçamento, o Benefício e Despesas Indiretas (BDI) consiste em um elemento que necessita especial atenção. No orçamento ora elaborado, a estruturação do BDI considerou os seguintes pontos: despesas do canteiro, administração central, despesas financeiras, seguros e garantias, tributos, lucro, risco e Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta (CPRB).

O item “despesas do canteiro” diz respeito às instalações de apoio que devem estar presentes no canteiro de obras, tais como instalações sanitárias, vestiário e centrais de forma e aço. Em obras públicas, estas despesas indiretas com canteiro não podem ser diluídas no BDI, devendo sempre estar discriminadas no orçamento. Entretanto, aqui a aplicação destes custos como parte do BDI é coerente, por se tratar de um estudo comparativo entre métodos construtivos, sendo possível supor que o contratante do serviço não pertence ao poder público.

A administração central representa a parcela de rateio dos custos do escritório, sede administrativa da empresa que executa a obra. É referente, por exemplo, ao dinheiro destinado ao pagamento da secretária, do aluguel da sede da empresa, entre outras despesas indiretas da obra. Utilizou-se o valor de 4%, baseado no acórdão 2622/2013 do TCU. Os valores atribuídos às despesas financeiras, seguros e garantias, lucro da empresa e risco também foram, assim como a administração central, sugeridos pelo TCU no acórdão 2622/2013. Os tributos se dividem em Imposto sobre Serviço (ISS), Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). O valor do ISS varia de acordo com o estado, e, no Paraná, a alíquota é de 2%.

Ao se optar pelo uso de custos desonerados, foi necessário adicionar ao BDI a parcela da CPRB, que realiza a oneração da contribuição previdenciária direto no BDI, em vez de onerar cada insumo e serviço. Tal alternativa é mais vantajosa economicamente para serviços com alta utilização de mão de obra, como é o caso da execução de estruturas moldadas *in loco*.

Tabela 7: Demonstração analítica do BDI utilizado no orçamento da casa com paredes de concreto moldadas *in loco*.

A1	DESPESAS DO CANTEIRO	4,00%
A2	ADMINISTRAÇÃO CENTRAL	4,00%
B	DESPESAS FINANCEIRAS	1,23%
C	SEGUROS E GARANTIAS	0,80%
D	ISS (PMNF)	2,00%
	PIS	0,65%
	COFINS	3,00%
	TOTAL "D" =	5,65%
E	LUCRO	8,00%
R	RISCO	0,97%
T	CPRB	4,50%

FÓRMULA DE CÁLCULO

$$BDI = \frac{(1 + C + R + A1 + A2) \times (1 + B) \times (1 + E)}{(1 - (D + T))} - 1$$

CÁLCULO

$$BDI = \frac{1,200098}{0,8985} - 1 = 33,57\%$$

Tabela 8: Valores máximos e mínimos aceitos pelo TCU para as parcelas do BDI

TIPOS DE OBRA	ADMINISTRAÇÃO CENTRAL			SEGURO + GARANTIA			RISCO		
	1º Quartil	Médio	3º Quartil	1º Quartil	Médio	3º Quartil	1º Quartil	Médio	3º Quartil
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	3,00%	4,00%	5,50%	0,80%	0,80%	1,00%	0,97%	1,27%	1,27%
CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS E FERROVIAS	3,80%	4,01%	4,67%	0,32%	0,40%	0,74%	0,50%	0,56%	0,97%
CONSTRUÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, COLETA DE ESGOTO E CONSTRUÇÕES CORRELATAS	3,43%	4,93%	6,71%	0,28%	0,49%	0,75%	1,00%	1,39%	1,74%
CONSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	5,29%	5,92%	7,93%	0,25%	0,51%	0,56%	1,00%	1,48%	1,97%
OBRAS PORTUARIAS, MARÍTIMAS E FLUVIAIS	4,00%	5,52%	7,85%	0,81%	1,22%	1,99%	1,46%	2,32%	3,16%
TIPOS DE OBRA	DESPESA FINANCEIRA			LUCRO					
	1º Quartil	Médio	3º Quartil	1º Quartil	Médio	3º Quartil			
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	0,59%	1,23%	1,39%	6,16%	7,40%	8,96%			
CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS E FERROVIAS	1,02%	1,11%	1,21%	6,64%	7,30%	8,69%			
CONSTRUÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, COLETA DE ESGOTO E CONSTRUÇÕES CORRELATAS	0,94%	0,99%	1,17%	6,74%	8,04%	9,40%			
CONSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	1,01%	1,07%	1,11%	8,00%	8,31%	9,51%			
OBRAS PORTUARIAS, MARÍTIMAS E FLUVIAIS	0,94%	1,02%	1,33%	7,14%	8,40%	10,43%			

Fonte: Acórdão 2622/2013 do TCU.

4. Resultados

Em relação ao preço de venda da casa pré-fabricada oferecida pela empresa Base Forte, o valor aferido em outubro de 2017 foi de R\$ 35.900,00, além do valor de frete de R\$ 1.800,00 para todos os elementos da casa, calculado para cobrir uma distância de até 70 km, totalizando R\$37.700,00, como mostra a tabela 9.

Tabela 9: Custo da casa pré-fabricada da empresa Base Forte.

Casa pré-fabricada (Empresa Base Forte)

Valor Total R\$ 37.700,00


Já para a casa feita com paredes de concreto moldadas *in loco*, o valor final somou R\$ 51.039,02. Na tabela 11 se encontra o orçamento completo da residência moldada *in loco*.

Tabela 10: Custo da casa moldada *in loco*.

Casa moldada *in loco*

Valor Total R\$ 51.039,02

Tabela 11: Orçamento da casa com paredes moldadas *in loco*.

										
ORÇAMENTO SINTÉTICO										
Universidade de Brasília - Projeto Final de Conclusão do Curso de Engenharia Civil										
Residência Popular Unifamiliar - Minha Casa Minha Vida										
Alice Amorim Teles		Referência de Preços: SINAPI -Distrito Federal - Julho de 2017					Área de construção:			44,26 m ²
Data Base: 10/2017 Paraná Desonorado										
Item	Código	Und	Descrição	Quant.	Custo Un.	Custo Total				
1 FUNDAÇÃO										
1.1	96527	M3	Escavação manual de vala para viga baldrame, com previsão de fôrma. Af_06/2017	4,37	R\$ 98,70	R\$	430,99			
1.2	96542	M2	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e=17 mm, 4 utilizações. Af_06/2017	34,93	R\$ 65,10	R\$	2.274,16			
1.3	92778	KG	Armadura de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af_12/2015	183,40	R\$ 6,45	R\$	1.182,93			
1.4	96555	M3	Concretagem de blocos de coroamento e vigas baldrame, fck 30 mpa, com uso de jericá – lançamento, adensamento e acabamento. Af_06/2017	2,62	R\$ 429,73	R\$	1.125,89			

1.5	96622	M3	Lastro com material granular, aplicação em pisos ou radiers, espessura de *5 cm*	2,28	R\$	76,46	R\$	174,33
1.6	94962	M3	Concreto magro para lastro, traço 1:4,5:4,5 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. Af_07/2016	2,74	R\$	231,39	R\$	634,01
Total fundação							R\$	5.822,31
2 Estrutura								
2.1 Laje								
2.1.1	92510	M2	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média maior que 20 m², pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 2 utilizações. Af_12/2015	41,00	R\$	31,66	R\$	1.298,06
2.1.2	92788	KG	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	269,10	R\$	4,84	R\$	1.302,44
2.1.3	92725	M3	Concretagem de vigas e lajes, fck=20 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	4,14	R\$	294,65	R\$	1.219,85
2.2 Parede estrutural de concreto								
2.2.1	91004	M2	Formas manuseáveis para paredes de concreto moldadas in loco, de edificações de pavimento único, em faces internas de paredes. Af_06/2015	23,10	R\$	12,79	R\$	295,45
2.2.2	91006	M2	Formas manuseáveis para paredes de concreto moldadas in loco, de edificações de pavimento único, em panos de fachada com vãos. Af_06/2015	37,20	R\$	11,76	R\$	437,47
2.2.3	91007	M2	Formas manuseáveis para paredes de concreto moldadas in loco, de edificações de pavimento único, em panos de fachada sem vãos. Af_06/2015	21,66	R\$	10,46	R\$	226,56
2.2.4	91595	KG	Armação do sistema de paredes de concreto, executada em paredes de edificações térreas, tela q-61. Af_06/2015	84,00	R\$	7,77	R\$	652,68
2.2.5	90854	M3	Concretagem de paredes em edificações unifamiliares feitas com sistema de fôrmas manuseáveis com concreto usinado bombeável, fck 20 mpa, lançado com bomba lança - lançamento, adensamento e acabamento. Af_06/2015	8,36	R\$	305,07	R\$	2.550,39
2.3 Pilar								
2.3.1	92408		Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m², pé-direito simples, em madeira serrada, 1 utilização. Af_12/2015	0,02	R\$	144,94	R\$	3,26
2.3.2	92778	KG	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af_12/2015	6,00	R\$	6,45	R\$	38,70
2.3.3	92718	M3	Concretagem de pilares, fck = 25 mpa, com uso de baldes em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	0,06	R\$	411,01	R\$	24,66
Total estrutura							R\$	8.049,53
3 Impermeabilização								
3.1	74106/1	M2	Impermeabilização de estruturas enterradas, com tinta asfáltica, duas demãos.	34,93	R\$	9,31	R\$	325,23
Total impermeabilização							R\$	325,23
4 Fechamento da empina								
4.1 Alvenaria de bloco								
4.1.1	73674	M2	Andaime para alvenaria em madeira de 2a	26,34	R\$	23,55	R\$	620,40
4.1.2	87495	M2	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida menor que 6m² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_06/2014	8,78	R\$	65,10	R\$	571,38
4.1.3	87503	M2	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6m² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af_06/2014	17,57	R\$	55,09	R\$	967,77
4.2 Reboco e emboço								
4.2.1	87797	M2	Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos cegos de fachada (sem presença de vãos), espessura de 35 mm. Af_06/2014	28,00	R\$	31,17	R\$	872,76
Total fechamento da empina							R\$	3.032,31
5 Cobertura								
5.1	94207	M2	Telhamento com telha ondulada de fibrocimento e = 6 mm, com recobrimento lateral de 1/4 de onda para telhado com inclinação maior que 10º, com até 2 águas, incluso içamento. Af_06/2016	77,00	R\$	29,03	R\$	2.235,31
5.2	94223	M	Cumeeira para telha de fibrocimento ondulada e = 6 mm, incluso acessórios de fixação e içamento. Af_06/2016	7,24	R\$	35,93	R\$	260,13
Total cobertura							R\$	2.495,44
6 Revestimento								

6.1		Contrapiso						
6.1.1	87620	M2	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, espessura 2cm. Af_06/2014	46,00	R\$	23,96	R\$	1.102,16
6.2		Revestimento cerâmico						
6.2.1	87246	M2	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área menor que 5 m2. Af_06/2014	7,71	R\$	36,48	R\$	281,26
6.2.2	87247	M2	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área entre 5 m2 e 10 m2. Af_06/2014	17,36	R\$	31,08	R\$	539,55
6.2.3	87248	M2	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35 cm aplicada em ambientes de área maior que 10 m2. Af_06/2014	16,53	R\$	26,55	R\$	438,87
6.2.4	93392	M2	Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada padrão popular de dimensões 20x20 cm aplicadas em ambientes de área menor que 5 m2 na altura inteira das paredes. Af_06/2014	15,48	R\$	35,48	R\$	549,16
6.2.5	93393	M2	Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada padrão popular de dimensões 20x20 cm aplicadas em ambientes de área maior que 5 m2 na altura inteira das paredes. Af_06/2014	8,56	R\$	29,40	R\$	251,55
Total revestimento							R\$	3.162,55
7		Forro						
7.1	96485	M2	Forro em régua de pvc, liso, para ambientes residenciais, inclusive estrutura de fixação. Af_05/2017 p	38,00	R\$	37,35	R\$	1.419,30
Total forro							R\$	1.419,30
8		Esquadrias						
8.1		Janelas						
8.1.1	94581	M²	Janela de alumínio maxim-ar, fixação com argamassa, com vidros, padronizada. Af_07/2016	0,43	R\$	505,65	R\$	214,90
8.1.2	94585	M²	Janela de alumínio de correr, 4 folhas, fixação com argamassa, com vidros, padronizada. Af_07/2016	5,30	R\$	422,23	R\$	2.237,82
8.2		Portas						
8.2.1	91314	UND	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), padrão popular, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação	5,00	R\$	639,69	R\$	3.198,45
Total esquadrias							R\$	5.651,17
9		Instalações						
9.1		Hidráulico e sanitário						
9.1.1	N/A	VB	Devido a ausência de projeto de instalações hidráulicas e sanitárias, considerou-se o custo dessas instalações como sendo 5% do cub.	5%	R\$	58.954,32	R\$	2.947,72
9.2		Elétrica						
9.2.1	N/A	VB	Devido a ausência de projeto de instalações elétricas e eletrônicas, considerou-se o custo dessas instalações como sendo 9% do cub.	9%	R\$	58.954,32	R\$	5.305,89
TOTAL INSTALAÇÕES							R\$	8.253,60
TOTAL CUSTO DIRETO							R\$	38.211,44
VALOR DO BDI.....							33,57%	R\$ 12.827,58
VALOR TOTAL GERAL DA OBRA.....							R\$	51.039,02

A partir dos valores finais de construção das casas, presentes nas tabelas 9 e 10, fica evidente que a residência pré-fabricada apresenta-se economicamente mais vantajosa, pois é 35% mais barata que a casa com paredes de concreto moldadas *in loco*.

Alguns fatores muito importantes contribuíram para esse resultado. A casa pré-fabricada mostrou alta economicidade devido ao fato de ser um projeto padrão da empresa, fabricada em série e vendida para diferentes pessoas físicas e jurídicas. Difere-se, portanto, do caso em que um projeto específico de edificação é enviado para a empresa de pré-fabricação,

requerendo a elaboração do projeto estrutural dos elementos, das fôrmas e o plano de execução das peças. Nestes casos, há um custo mais elevado vinculado a esses serviços preliminares da fabricação dos elementos. Além disso, o projeto da casa pré-fabricada foi elaborado e melhorado continuamente durante vários anos pela empresa Base Forte, chegando a um modelo de alto desempenho e economicidade.

Alguns itens do orçamento da casa feita com paredes de concreto moldadas no local tiveram peso muito elevado no orçamento, resultando em um maior custo desde método construtivo. Para evidenciar os serviços de maior influência no projeto, foi realizada uma curva ABC, mostrada na tabela 12.

Por meio das tabela 11 é possível notar que as instalações tiveram um peso muito elevado no custo total do orçamento, chegando a cerca de 22% do total, percentual acima do valor médio normalmente encontrado para a soma das instalações elétricas e hidráulicas sanitárias em residências, que é de 18% (PINI, 2017).

Esta discrepância ocorre devido ao fato do custo utilizado para as instalações advir do produto de uma porcentagem, recomendada para cada tipo de instalação, pelo CUB, que se encontra acima dos valores de ambos orçamentos analisados pelo presente estudo. Enquanto o valor da casa pré-fabricada é de R\$ 37.700,00 e o da casa moldada *in loco* de R\$ 51.039,02, utilizando o CUB (tabela 6), o custo da residência seria de R\$ 58.954,32, como mostra a tabela 12.

Outra questão que deve ser considerada na comparação entre as duas residências é que a casa feita com paredes de concreto moldadas *in loco*, por possuir espessura superior à utilizada na casa pré-fabricada, terá maior desempenho, tanto na questão acústica quanto térmica.

Tabela 12: Curva ABC.

CÓDIGO UND	DESCRIÇÃO	QUANT.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	% TOTAL	% ACUM.
N/A VB	DEVIDO A AUSÊNCIA DE PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E ELETRÔNICAS, CONSIDEROU-SE O CUSTO DESSAS INSTALAÇÕES COMO SENDO 9% DO CUB.	9%	R\$ 58.954,32	R\$ 5.305,89	13,89%	13,89%
91314 UND	KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO POPULAR, 80X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM, ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FURO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	5	R\$ 639,69	R\$ 3.198,45	8,37%	22,26%
N/A VB	DEVIDO A AUSÊNCIA DE PROJETO DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS, CONSIDEROU-SE O CUSTO DESSAS INSTALAÇÕES COMO SENDO 5% DO CUB.	5%	R\$ 58.954,32	R\$ 2.947,72	7,71%	29,97%
90854 M3	CONCRETAGEM DE PAREDES EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS COM CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL, FCK 20 MPA, LANÇADO COM BOMBA LANÇA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF 06/2015	8,36	R\$ 305,07	R\$ 2.550,39	6,67%	36,64%
96542 M2	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF 06/2017	34,93	R\$ 65,10	R\$ 2.274,16	5,95%	42,60%
94585 M2	JANELA DE ALUMÍNIO DE CORRER, 4 FOLHAS, FIXAÇÃO COM ARGAMASSA, COM VIDROS, PADRONIZADA. AF 07/2016	5,3	R\$ 422,23	R\$ 2.237,82	5,86%	48,45%
94207 M2	TELHAMENTO COM TELHA ONDULADA DE FIBROCIMENTO E = 6 MM, COM RECOBRIMENTO LATERAL DE 1/4 DE ONDA PARA TELHADO COM INCLINAÇÃO MAIOR QUE 10°, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF 06/2016	77,00	R\$ 29,03	R\$ 2.235,31	5,85%	54,30%
96485 M2	FORRO EM RÉGUAS DE PVC, LISO, PARA AMBIENTES RESIDENCIAIS, INCLUSIVE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO. AF 05/2017 P	38,00	R\$ 37,35	R\$ 1.419,30	3,71%	58,02%
92788 KG	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	269,1	R\$ 4,84	R\$ 1.302,44	3,41%	61,43%
92510 M2	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M². PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF 12/2015	41	R\$ 31,66	R\$ 1.298,06	3,40%	64,82%
92725 M3	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=20 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MENOR OU IGUAL A 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF 12/2015	4,14	R\$ 294,65	R\$ 1.219,85	3,19%	68,01%
92778 KG	ARMADURA DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	183,40	R\$ 6,45	R\$ 1.182,93	3,10%	71,11%
96555 M3	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAME, FCK 30 MPA, COM USO DE JERICA -LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF 06/2017	2,62	R\$ 429,73	R\$ 1.125,89	2,95%	74,06%
87620 M2	CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRAÇO 1:4 (CIMENTO E AREIA), PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADO EM ÁREAS SECAS SOBRE LAJE, ADERIDO, ESPESSURA 2CM. AF 06/2014	46,00	R\$ 23,96	R\$ 1.102,16	2,88%	76,94%
87503 M2	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19CM (ESPESSURA 9CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M² SEM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF 06/2014	17,567	R\$ 55,09	R\$ 967,77	2,53%	79,47%
87797 M2	EMBOÇO OU MASSA ÚNICA EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADA MANUALMENTE EM PANOS CEGOS DE FACHADA (SEM PRESENÇA DE VÃOS), ESPESSURA DE 35 MM. AF 06/2014	28	R\$ 31,17	R\$ 872,76	2,28%	81,76%

Tabela 13: Resumo dos custos da residência para cada método.

Custo da Residência Unifamiliar de 44,26 m²

Pré-Fabricada (Empresa Base Forte)	R\$ 37.700,00
Moldada <i>In Loco</i>	R\$ 51.039,02
Calculado pelo CUB	R\$ 58.954,32

Inicialmente, este estudo se propôs a elaborar dois orçamentos para a construção de um condomínio residencial com 30 unidade da edificação, um pré-fabricado e o outro moldado *in loco*. A partir dos custos totais de execução das 30 unidades residenciais do condomínio, demonstrados na tabela 14, fica evidente que a escolha de casas pré-fabricas é a solução de menor custo, sendo assim a mais viável para a construção.

Tabela 14: Custo de implantação das residências no condomínio com 30 unidades.

Custo das Residências do Condomínio com 30 Unidades

Casas Pré-Fabricadas	R\$ 1.131.000,00
Casas com Paredes de Concreto Moldadas <i>In Loco</i>	R\$ 1.531.170,60

A utilização do processo BIM teve essencial importância no desenvolvimento do presente estudo. Além de permitir a extração dos quantitativos do orçamento, a modelagem da residência em três dimensões possibilitou um melhor entendimento e visualização do projeto e do conjunto residencial, como mostram as figuras 22 a 25.

Figura 22: Representação gráfica do condomínio de residências unifamiliares.



Figura 23: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 1).



Figura 24: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 2).



Figura 25: Representação gráfica da residência no condomínio (vista 3).



5. Conclusão

Em relação aos métodos de modelagem na engenharia civil, nota-se que a tecnologia CAD se encontra ultrapassada, uma vez que é incapaz de atender às necessidades dos atuais projetos de engenharia que possuem alto nível de complexidade e que, devido à alta competitividade do mercado, exigem prazos de execução cada vez menores. Estes requerem ferramentas que possibilitem a inserção de dados aos elementos de projeto, de forma que seja possível ao *software* oferecer ao gestor melhores ferramentas para o controle do projeto.

A utilização da tecnologia BIM teve papel importantíssimo no presente estudo comparativo, uma vez que permitiu a aferição mais precisa e rápida dos quantitativos do orçamento, além da visualização do projeto, possibilitada pela característica de modelagem 3D da plataforma.

Quanto aos métodos construtivos, verifica-se que a racionalização por meio da utilização de elementos pré-fabricados conferiu maior economia ao projeto, possuindo um custo final 35% menor que o custo de execução da mesma edificação feita com paredes de concreto moldadas *in loco*.

O resultado do estudo comparativo mostra-se relevante, pois a construção de conjuntos residenciais de baixo custo, padrão Minha Casa Minha Vida, tem sido um grande investimento das empreendedoras. Assim, existe um mercado que demanda a realização de estudos que tragam resultados concretos que possam auxiliar nas escolhas de projeto dos investimentos.

Além disso, por meio do presente trabalho é possível evidenciar a superioridade da modelagem BIM em relação à CAD, uma vez que, para realizar um estudo comparativo entre dois métodos construtivos distintos por meio da modelagem CAD, seria necessário realizar uma série de processos extremamente trabalhosos, como levantamento de todo o quantitativo de material, desenho de cada corte e fachada da planta, entre outros. Estes processos foram totalmente ou parcialmente suportados pela plataforma BIM, de forma a facilitar a execução destes, além de permitir resultados mais confiáveis e menos vulneráveis à erros e omissões.

A partir deste estudo, cabe evidenciar a carência de *softwares* orçamentários que trabalhem com a base de dados dos sistemas de custos unitários utilizados no Brasil, como o

SINAPI, e que se comuniquem com as ferramentas BIM. Seria ideal a interação de um *software* orçamentário, por exemplo, com o *Revit*, de forma que os elementos construtivos do programa, como a parede, pudessem ser associados aos códigos dos serviços equivalentes no SINAPI, possibilitando, assim, automatização na geração do orçamento.

Como proposta para trabalhos futuros, propõe-se a continuidade do presente estudo a partir do desenvolvimento de um cronograma de planejamento, em plataforma BIM, da execução da casa feita com paredes de concreto moldadas *in loco*, comparando o prazo resultante do estudo com o prazo de construção da casa pré-fabricada considerada no estudo, a saber, 40 dias.

Além disso, fica como proposta para trabalhos futuros uma avaliação comparativa de desempenho das duas edificações, utilizando a NBR 15575.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062** - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 1985.

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

ÁVILA, A.V.; L.I. LIBRELOTTO; O.C.LOPES. Orçamento de Obras: construção Civil. Planejamento de obra, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis: UNISUL, 2003. Disponível em <http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5307-%20Or%C3%A7amento.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2017.

BERTINATO, Nicole Tresinari. **O Formato BIM no Processo de Planejamento e Gestão da Construção Civil**. 2012. 87f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais Belo horizonte, Belo Horizonte.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado: eu te amo**, Volume.II. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Disponível em <http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>. Acesso em 13/05/2017.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Fundamentos BIM – Parte 1: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016.

COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. Modelagem de informações para construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: WORKSHOP BRASILEIRO - GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, p. 8., São Paulo, 2008.

COSTA, Michelle Cristina de Freitas. **A Industrialização da Construção Habitacional Através do Sistema Construtivo Paredes de Concreto Fabricadas In Loco**. 2013. 77p. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais Belo horizonte, Belo Horizonte.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P. SACKS; R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2ª ed., Hoboken: Wiley, 2011.

LIMA, Rondinely Francisco de. **Técnicas, Métodos e Processos de Projeto e Construção do Sistema Construtivo Light Steel Frame**. 2013. 79p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais Belo horizonte, Belo Horizonte.

MARIA, Mônica Mendonça. **Tecnologia BIM na arquitetura**. 2008, 100 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

MASOTTI, Luís Felipe Cardoso. **Análise da Implementação de do Impacto do BIM no Brasil**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MATTOS, Aldo D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos.** São Paulo: Pini, 2006.

MAYOR, Wagner Rocha. **Sistema Construtivo Modular.** 2012. 105p. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais Belo horizonte, Belo Horizonte.

REVISTA ARQUITETURA E URBANISMO. Disponível em: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/artigo224333-2.aspx>. Acesso em 02/05/2017.

REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO. Disponível em <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/121/artigo299521-1.aspx>. Acesso em 03/04/2017.

REVISTA EXAME. Disponível em <http://exame.abril.com.br/revista-exame/a-crise-e-a-crise-da-construcao/>. Acesso em 01/06/2017.

REVISTA INDUSTRIALIZAR EM CONCRETO. São Paulo: Abcic, ano 1, n. 6, dez. 2015. 60p.

REVISTA ITAMBÉ. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>. Acesso em 17/05/2017.

REVISTA PINI. Disponível em <http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>. Acesso em 10/04/2017.

REVISTA TÉCHNE. São Paulo: Pini, ano 24, n. 231, jun. 2016. 65p.

SANTOS, Eduardo Toledo. BIM - building information modeling: um salto para a modernidade na tecnologia da informação aplicada à construção civil. In: PRATINI, Edilson Ferreira; SILVA JUNIOR, Eleudo. (Org.). **Criação, representação e visualização digitais: tecnologias digitais de criação, representação e visualização no processo de projeto.** Brasília: Universidade de Brasília, 199 p.,2012.

SEGAWA, Hugo; GUIMARÃES, Ana Gabriella Lima. Lelé: o criador, o construtor, o contexto. In: PORTO, Cláudia Estrela. (Org.). **Olhares: visões sobre a obra de João Filgueiras Lima.** Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de concreto. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. São Carlos, SP, 2005, p. 1-10. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpcm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf. Acesso em 23 de abril de 2017.

SOUZA, M.A.S de. **Aplicação de metodologia BIM na compatibilização de projetos e na documentação de obra:** estudo de caso sobre obra em Águas Claras/DF. 2017. 59f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

UNB: Primeira Experiência em Pré-Moldado. Heinz Forthmann. Brasília: Secretaria de Comunicação da UnB, 1970. Documentário (17 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=brJswJq25sM>. Acesso em 27/04/2017.

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