Revista de Engenharia Civil
2018, No. 55, 47-61

http://www.civil.uminho.pt/revista

Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM
Comparative study of design tools - the traditional CAD and BIM modeling

G.H. Nunes[a], M. Leão[a†]

[a] *Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Engenharia Civil. Avenida dos Ingás, 3001, Jardim Imperial, 78.555-000, Sinop, Mato Grosso, Brasil*
[†] *Autor para correspondência: leao@unemat.br*

RESUMO

O emprego da Tecnologia da Informação aliado ao desenvolvimento de softwares gráficos proporcionou grande avanço e significou uma transformação para a indústria de projetos AEC. O sistema CAD foi o precursor do uso do computador para representações gráficas de projetos de arquitetura e engenharia. Em um âmbito mais recente, a modelagem BIM possibilitou melhorias gráficas e acresceu funcionalidade à elaboração de projetos, tornando possível uma representação virtual paramétrica e integrada da edificação. Esta pesquisa realizou um comparativo de tempo e custo de elaboração de projetos utilizando o método CAD e BIM. Para o estudo foi adotada como referência uma edificação que se enquadra nos parâmetros construtivos do programa governamental Minha Casa Minha Vida. As informações foram obtidas através do desenvolvimento e alteração dos projetos de uma mesma edificação, em uma etapa fazendo uso do sistema CAD tradicional e em outra empregando a plataforma BIM. Os resultados mostraram que a produção acumulada de todos os projetos conjuntos com o sistema BIM torna o processo 11% mais rápido e rentável que quando empregado somente o método CAD tradicional. Adicionalmente, projetos com eventuais alterações se mostraram 21% mais ágeis e rentáveis na metodologia BIM.

Cronologia do artigo:

Recebido a 19 janeiro 2017
Corrigido a 10 outubro 2017
Aceite a 20 fevereiro 2018
Publicado a 03 julho 2018

Palavras-chave:

Tecnologia da informação
Software
Modelagem paramétrica
AEC

ABSTRACT

The use of information technology along with the development of graphics software has led to significant breakthroughs and brought about changes in the AEC industry projects. CAD system was the forerunner among programs used for generating graphical representations of architecture and engineering projects. However, more recently, BIM modeling has been pivotal in improving the graphical representations and increasing the functionality for elaborating projects, enabling a parametric virtual and integrated representation of buildings. In this study, a comparative analysis was conducted for the time and project elaboration cost of CAD and BIM methods. For this study, a building that matched the constructive parameters of the government program Minha Casa Minha Vida was adopted as a reference. Information was obtained from the development and modification projects of the same building that were executed using both the traditional CAD and BIM methods. The results showed that the accumulated production of all joint projects executed via BIM methods made the process 11% faster and cost efficient than that executed solely using the traditional CAD methods. Moreover, the projects with possible changes demonstrated 21% more agility and cost efficiency when BIM methodology was applied.

Keywords:

Information technology
Software
Parametric modeling
AEC

1. Introdução

Perante o desenvolvimento da indústria de softwares gráficos e da Tecnologia da Informação na década de 1960, o computador se tornou uma ferramenta fundamental em todas as áreas. Segundo Schodek *et al*. (2007), em 1980 se deu a aplicação da tecnologia para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos

e complementares, através de um sistema designado *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador) – CAD. O processo, até então manual, propiciou mais qualidade, eficiência e agilidade. A partir da ampla aplicação os sistemas CAD começaram a enfatizar o projeto, e os desenhos foram automatizados.

Com o passar dos anos, o aprimoramento de hardwares e a necessidade de melhorias representativas contribuíram para o desenvolvimento do CAD 3D, propiciando ainda mais destaque a ferramenta representativa. Desde então, os programas computacionais se tornaram indispensáveis na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção – AEC. Todavia, segundo Eastman *et al*. (2014), apesar da automatização de desenhos, o método representativo CAD é passível de falhas e inconsistências. Esse aspecto é um dos fatores que deram abertura à Modelagem da Informação da Construção.

A partir da busca por prazos cada vez menores e a constante procura pela excelência e eficiência nas obras de construção civil, evidencia-se a necessidade da adoção de novas tecnologias de apoio ao processo de projeto na indústria AEC.

Autores renomados em práticas de projeto (Ayres e Scheer, 2007; Crespo e Ruschel, 2007; Eastman *et al*., 2014) descreveram dificuldades do setor relacionando sua fragmentação, deficiência de informações e incompatibilidade interdisciplinar.

No mercado atual, a prática mais comum de representação da edificação em projeto ainda é via desenho bidimensional – 2D, prevalecendo a metodologia CAD. Entretanto, essa ferramenta de representação é limitada, ao passo que considera, basicamente, parâmetros geométricos da edificação a ser construída. Consistindo basicamente em linhas geométricas, sem especificações não dimensionais como: volume, cor, custo ou propriedades térmica dos materiais, analogamente. Quando se deseja fazer uma melhor representação do projeto em protótipos físicos (maquetes), por exemplo, prática comum em alguns escritórios, se tem um resultado bastante oneroso.

A construção civil passa a contar com uma nova demanda de clientes. Estando estes mais exigentes quanto a prazos, custos e eficiência do produto final. Segundo o Centro de Tecnologia de Edificações – CTE (2015), a fim de atender com eficiência ao aumento da escala de negócios e as novas demandas de clientes na construção, as empresas deverão remodelar e inovar no desenvolvimento de produtos e empreendimentos, de forma a gerir e aperfeiçoar seus resultados, desempenho e produtividade. Novos sistemas construtivos e aplicação da inteligência da Tecnologia da Informação nos processos são itens presentes na agenda do setor.

A eficácia do projeto é requisito fundamental para vantagens competitivas. A partir da qualidade deste se reduz dúvidas, erros e retrabalhos durante a execução. O projeto é a principal fonte para a equipe de execução e, por sua vez, um dos principais objetos responsáveis pela qualidade final da edificação (Durante, 2013).

Neste contexto, tem-se a Modelagem da Informação da Construção, o conceito *Building Information Modeling* – BIM, que tem grande propensão de desenvolvimento no mercado AEC. A metodologia citada baseia-se em estabelecer um protótipo virtual com parâmetros exatos de uma edificação, tais como geometria precisa e informações detalhadas, necessárias para uma execução de qualidade (Eastman *et al*., 2014).

Por ser um conceito relativamente novo, há certa carência de estudos que verifiquem o prazo de desenvolvimento e modificações de projetos e processos AEC que utilizam a modelagem BIM, e os correlacionem ao custo de elaboração de tarefas.

Deste modo, essa pesquisa teve por objetivo realizar um comparativo de prazo e rendimento horário de desenvolvimento e alterações de projetos, empregando ferramentas computacionais pelo método tradicional CAD e através de metodologia BIM.

2. Metodologias de representação e modelagem em projeto

As premissas de projeto de construção de edificação surgiram na pré-história, quando o homem começou a ter habilidades de representar as condições em que vivia. Com o passar do tempo houve aperfeiçoamento e melhoria nas representações. Para Melhado e Agopyan (1995), os principais fatores que influenciaram na evolução do processo de construção foram a utilização da tecnologia, a qualificação e especialização profissional.

Fator fundamental nas etapas de projeto e que contribui para a qualidade é a compatibilização. Os dados devem ser analisados de forma que as soluções para conflitos apresentem consistência para a execução da edificação.

Consequência da divisão de profissionais AEC em áreas distintas, os projetos passaram a

apresentar incompatibilidades que anteriormente eram encontrados apenas na fase de execução da obra. Como resultado houve aumento dos custos no valor final do empreendimento, com retrabalhos e atrasos, decorrente da perda de tempo para encontrar a melhor solução (Costa, 2013).

O principal objetivo da compatibilização de projetos é propiciar integridade e gerenciamento para obtenção da qualidade numa determinada obra. Portanto, de acordo com Melhado (2005), compatibilizar é uma maneira de incorporar todas as disciplinas que envolvem um projeto. O processo se dá após a conclusão de todas as partes envolvidas, sanando conflitos e interferências através de sobreposição manual ou por meio de tecnologias que aceleram a verificação (Manzione, 2013).

2.1. Sistema CAD

A Tecnologia da Informação possibilita o aperfeiçoamento da qualidade e o potencial de softwares mais inteligentes e práticos que visam suprir as exigências e carências do mercado, promovendo indiretamente o desenvolvimento de hardwares mais eficientes. Um dos principais exemplos a serem citados são os sistemas CAD, que há muitos anos transformaram a indústria da construção civil (Florio, 2007).

De acordo com Schodek *et al*. (2007), nos anos 80 os computadores passaram a contribuir com a arquitetura e engenharia através de desenhos mais complexos, proporcionando maior precisão e rapidez na execução.

Ayres e Scheer (2007) afirmam que o CAD que melhor se adaptou ao potencial de hardware da época foi o CAD geométrico, que possibilita a elaboração de desenhos no plano bidimensional (2D) virtual. Contudo, a representação no sistema geométrico causa desintegração do virtual com o real, ao passo que dificulta a análise de clientes leigos, por exemplo. O proprietário muitas vezes não entende a disposição de linhas, não compreendendo o projeto bidimensional e o real.

Segundo Ruschel e Bizello (2011), o CAD 3D surge da necessidade de uma melhor representação (modelo tridimensional) do projeto. Com a utilização de programas específicos pode-se aplicar efeitos que valorizam e melhor representam o projeto. Conforme Ruschel e Bizello (2011), existem ainda outras designações conforme evolução da tecnologia CAD, tais como CAD 4D e nD, que possibilitam outras funções particulares.

Para Ruschel e Bizello (2011), o CAD 4D, por exemplo, consiste na combinação do modelo 3D com a linha do tempo, como uma quarta dimensão, permitindo a geração de gráficos e cronogramas físico. Com a concepção 4D, o processo de transmitir os detalhes e fases da edificação ao cliente e às construtoras é facilitado, pois se visualiza o processo dinamicamente. Ademais, mesmo em pequena escala, é evidente os benefícios associados ao CAD 4D (Ruschel e Guimarães Filho, 2008).

O mercado AEC já enfrenta uma renovação que demanda mudanças dos processos, tal como uma mudança de paradigma: alterando a documentação baseada em tecnologia bidimensional para o protótipo paramétrico e fluxo de trabalho colaborativo. Os processos produzidos através de maneira tradicional desencadeiam situações suscetíveis à falha, inconsistência, insegurança e por muitas vezes, produções repetitivas. Tais situações fazem com que haja perda considerável do valor das informações do projeto (Eastman *et al*., 2014).

2.2. Sistema BIM

A modelagem BIM é associada à interoperabilidade e compartilhamento de informação. Permite representar, de maneira consistente e coordenada, todas as informações e etapas de um edifício: do estudo preliminar à demolição (Leão, 2013).

O BIM apresenta potencial significativo para revolucionar as perspectivas atuais do produto da indústria da construção civil, no que se refere tanto em aspectos de projeto, quanto em termos de execução e operação da edificação.

Para Farr *et al*. (2014), o impacto do BIM é maior na fase conceitual de um projeto, ao passo que suporta uma maior integração e melhor avaliação para decisões de design inicial. Na sequência, o impacto aborda o nível de construção da modelagem, detalhamento, especificações e estimativas de custos, e finalmente, a integração de serviços de engenharia e suporte em novas informações de fluxos de trabalho e integração colaborativa.

Segundo Takim *et al*. (2013), o BIM é reconhecido como uma tecnologia de gerenciamento que oferece soluções integradas à indústria da construção civil, melhorando a satisfação do cliente em tempo, custo, segurança, qualidade e funcionalidade dos projetos.

O BIM propicia novas possibilidades e torna processos de projeto automáticos e ágeis. A afirmação implica, portanto, na qualificação e atualização profissional. Excluindo aos poucos do

mercado, profissionais que atuam de maneira monótona e apresentam soluções comuns, já reconhecidas e consagradas (Durante, 2013).

O método apresenta benefícios significativos, em relação à agilidade de prazo para entrega de edifícios com maior qualidade e melhor desempenho. A ferramenta BIM, uma vez operada em sincronia com as partes relacionadas do projeto (proprietário, arquiteto, engenheiro e construtor), reduz erros e omissões de projeto e modificações em obra, acarretando em um processo de entrega mais eficiente e confiável, que reduz o prazo e propicia um empreendimento menos oneroso (Eastman *et al*., 2014).

3. Análise comparativa entre o CAD tradicional e o conceito BIM

Para Ayres e Scheer (2007), os arquivos CAD são constituídos por informações geométricas básicas e genéricas, que competem ao projetista interpretar e atribuir significado às linhas e demais elementos. Na documentação BIM há relevância e consistência nas informações de determinada edificação, ao passo que se trata de um modelo virtual do empreendimento.

Apesar da relevante evolução oriunda do emprego do CAD, a forma de projetar e construir não apresentou mudanças significativas. Ao passo que apenas as ferramentas de desenho foram transferidas para o computador, diminuindo erros, tempo e proporcionando maior facilidade de trabalho. Em suma, o processo ficou mais fácil, contudo o resultado final se manteve para fins representativos, somente.

As ferramentas mais utilizadas pelos projetistas consistem em sistemas CAD, decorrente do desenvolvimento de softwares que atuam nesse sistema. Todavia o processo BIM vem ganhando espaço de forma rápida e ampla (Czmoch e Pękala, 2014).

Conforme salienta Hilgenberg *et al*. (2012), ao contrário dos programas baseados no sistema CAD, onde interferências/alterações de projeto devem ser corrigidas manualmente, os softwares BIM permitem alterações dinâmicas no modelo. A visualização das informações pode ocorrer através de elementos tridimensionais com modificações automáticas e interativas em qualquer vista. Nesse âmbito, as informações são armazenadas em arquivos sincronizados entre si e o gerenciamento é realizado através de uma ferramenta computacional e não através de usuários.

Em relação a interoperabilidade computacional, os diferentes softwares CAD propiciam facilidades na transferência de arquivos. Enquanto isso, os softwares BIM possuem restrições de acessibilidade e compatibilidade, apesar da crescente busca pela ampliação do uso do sistema e compartilhamento completo das informações (Pretti *et al*., 2016).

No entanto, apesar das vantagens e potencial, a implementação da Modelagem da Informação da Construção envolve uma variedade de barreiras e processos organizacionais que tendem a influenciar a resistência em usar o BIM, baseado em questões técnicas ou econômicas (Cao *et al*., 2016).

Para Crespo e Ruschel (2007), o principal obstáculo se refere à complexidade dos programas BIM, quando comparado com o sistema CAD. Ao passo que apresenta uma diversidade de parâmetros e exige conhecimento específico, o aprendizado se torna um tanto moroso. Outro empecilho é a não cooperação das informações para formatos mais usuais, como o .dwg, por exemplo. Os softwares BIM, em sua generalidade, trabalham com a extensão .ifc, um formato particular de documentação (Eastman *et al*., 2014).

3.1. Ferramenta BIM

O emprego da Modelagem da Informação da Construção pela indústria AEC é embasado na nova geração de ferramentas CAD, embora não se limite a isto. De acordo com Hilgenberg *et al*. (2012), os primeiros softwares lançados no mercado foram o Allplan e o ArchiCAD na década de 80. Há ainda, entre outros mais recentes, os softwares Bentley, Solibri, Robot, Navisworks e o Revit como exemplo de ferramenta BIM. O programa Revit teve criação na década de 90, e posteriormente foi comprado e difundido pela Autodesk. Atualmente a ferramenta é uma das referências no conceito BIM (Costa *et al*., 2015).

Nas últimas décadas se desencadeou um crescente interesse do ramo AEC no uso de modelagem BIM, devido aos benefícios e economia de recursos durante o projeto, planejamento e construção de edificações. (Volk *et al*., 2013).

Os benefícios do BIM estão na consistência e visualização do modelo, estimativas de custos precisas, detecção de conflitos e uma implementação com melhor colaboração das partes interessadas. Por outro lado, os desafios remetem à mudança de método de trabalho, resistência aos sistemas dos novos softwares, e o tempo necessário para adaptação ao novo processo. (Volk *et al*., 2013).

Segundo Autodesk (2017), uma das ferramentas BIM mais renomadas, o Revit tem sua interface composta pelos setores *Architecture, Structure e System for mechanical, electrical and plumbing* (MEP),

compartilhando assim modelos sincronizados. O conjunto possui atributos que possibilitam a modelagem de componentes construtivos, análise e simulação de sistemas e estruturas, bem como a colaboração de projetos interdisciplinares. Deste modo, é possível reduzir interferências e retrabalho. A ferramenta possibilita ainda, uma melhor comunicação através de visualizações mais eficazes para seus proprietários e demais membros da equipe envolvida (Autodesk, 2017).

Ao contrário do sistema CAD, que contém elementos denominado blocos, a ferramenta BIM apresenta objetos, usualmente, caracterizados como famílias. Esses objetos armazenam informações técnicas particulares dos materiais de construção. A partir disto, a ferramenta tem capacidade de não somente fornecer cortes e elevações, tabelas de esquadrias, acabamentos, áreas, mas também estimativas de cálculo e custos da obra. Com isso, é possível acompanhar minunciosamente o andamento de um projeto desde a fase preliminar, até a representação final com modelagem 3D.

Estudos realizados por Campos Neto *et al*. (2012) concluíram que o BIM pode reduzir em duas vezes o tempo de realização de projetos de engenharia em infraestrutura. Cita ainda que uma única pessoa, com conhecimento prévio do sistema, consegue obter um rol de informações maior do que um conjunto de três pessoas que elaboram um mesmo projeto através do método tradicional.

Resultados de uma análise empírica realizada na China sugerem que atualmente as diferenças econômicas entre projetos são a razão para a implementação do BIM. O estudo observou ainda que o tipo de projeto está significativamente associado ao emprego do BIM. Adicionalmente, as organizações de projetos de empresas que atuam no ramo governamental geralmente têm motivos mais fortes para implementar o BIM. Este fato se deve a ampliação da imagem pública da empresa e aos benefícios constatados (Cao *et al*., 2016).

As principais vantagens propiciadas pela ferramenta BIM, consistem na eliminação do retrabalho e ganho na qualidade na informação disponibilizada (Eastman *et al*., 2014).

4. Normatização

De acordo com Leão (2013), a Associação Brasileira de Normas Técnicas instalou em 2010 a Comissão de Estudo Especial – ABNT/CEE 134: Modelagem da Informação da Construção (BIM).

Contudo, a normatização da metodologia BIM ainda está em desenvolvimento no Brasil. O conteúdo total da ABNT NBR 15965, com título Sistema de Classificação da Informação da Construção, foi planejado para ser desenvolvido e publicado em sete partes:

- Parte 1: Terminologia e estrutura;
- Parte 2: Características dos objetos da construção;
- Parte 3: Processos da construção;
- Parte 4: Recursos da construção;
- Parte 5: Resultados da construção;
- Parte 6: Unidades da construção;
- Parte 7: Informação da construção.

A ABNT tornou válida em 01 de Janeiro de 2016 a sétima parte da normatização, estabelecida no conteúdo ABNT NBR 15965-7:2015. As partes 1, 2 e 3 também já foram publicadas e correspondem, respectivamente, aos códigos ABNT NBR 1595-1:2011, ABNT NBR 15965-2:2012 e ABNT NBR 15965-3:2014.

5. Metodologia

O tópico expõe os procedimentos adotados neste estudo para comparação entre a tecnologia CAD e BIM. O objetivo é apresentar as características de cada sistema comparando prazo e rendimento horário para elaboração dos projetos. Ademais, é um estudo ao nível do software, não se enfocando especificamente nas áreas mais prementes do BIM, nomeadamente o trabalho colaborativo e a gestão de informação.

Para comparação foram realizados os projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico, bem como cronograma físico-financeiro. Como referência e objeto de estudo adotou-se uma edificação com padrões preestabelecidos do programa Minha Casa Minha Vida – MCMV.

A fim de ampliar e melhor visualizar as possíveis vantagens do BIM no que diz respeito, principalmente, a possíveis alterações impostas pelo cliente, foi desenvolvida uma readequação

do projeto, acrescentando ao edifício um terceiro dormitório e um banheiro – suíte. A Figura 1 apresenta as etapas básicas do estudo.

Figura 1 - Esquematização da metodologia de pesquisa.

5.1. Objeto de estudo

A concepção da edificação partiu de projetos padronizados, tomados como base. A fim de criar um parâmetro de referência, o objeto de estudo foi baseado no programa MCMV.

Grande parte das edificações planejadas para o programa MCMV apresentam as seguintes características: Sala; cozinha; 2 dormitórios; área de serviço e banheiro social. O projeto da edificação estudada segue esses padrões.

A edificação inicial conta com 75,18 m² de área construída, cobertura com telha cerâmica e piso cerâmico, nas conformidades do programa MCMV. Posteriormente foi implantado à edificação um terceiro dormitório e um banheiro ao dormitório I, transformando-o, portanto, em uma suíte. Na Figura 2.a é apresentada a planta esquemática da edificação inicial e na Figura 2.b está representada a edificação com alteração descrita, totalizando 87,18 m².

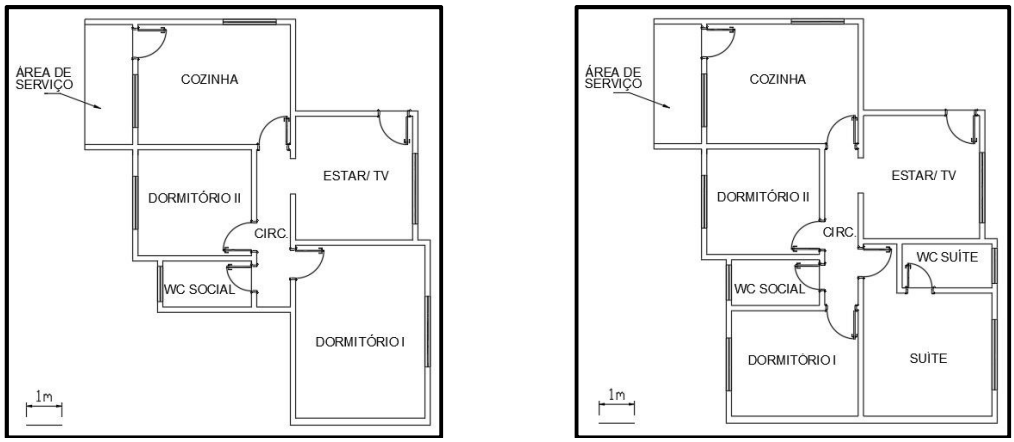


Figura 2 - Planta esquemática: a) edificação inicial; b) edificação com alteração de projeto.

5.2. Hardware

A pesquisa foi desenvolvida em uma máquina com as seguintes configurações:

- Processador: Intel Core i5 2.50 GHz;
- Sistema operacional: Windows 7 Home Premium;
- Tipo de sistema: 64 bits;
- Memória instalada (RAM): 6,00 GB;
- Memória de vídeo (placa gráfica) dedicada: 1 GB.

5.3. Software

Os projetos foram desenvolvidos em plataformas computacionais comumente empregadas dos dois sistemas: um utilizando totalmente o método tradicional (CAD – AutoCAD 2015; SketchUp Make 2015; Eberick v8; Hydros v4 e Lumine v4) e outro fazendo uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM – Revit 2015 e Eberick v8). Entre os programas de modelagem BIM, o Revit foi escolhido por ser um dos mais disseminados no mercado e, assim como o AutoCAD, também ser desenvolvido pela Autodesk. A quantificação e documentação analítica dos projetos da edificação foram realizadas em BIM a partir de tabelas geradas automaticamente pela ferramenta Revit 2015, enquanto que em CAD

com auxílio da planilha eletrônica Microsoft Excel. A planilha eletrônica citada foi usada ainda para a geração dos resultados obtidos e apresentados neste estudo.

5.4. Operador

A pesquisa, em sua fase de desenvolvimento de projetos e processos foi concebida por um único operador em todas as etapas, de modo ainda a atender o mesmo nível de qualidade nas peças desenhadas. Cabe dispor que, em um primeiro momento, o mesmo não apresentava prévia experiência na manipulação dos softwares. Logo, em sua fase preliminar, o estudo contou com um período necessário de capacitação do operador das ferramentas de projeto. Essa fase de treinamento realizou-se em seis meses.

5.5. Desenvolvimento de projetos e processos

5.5.1. Projeto arquitetônico

Partindo da tecnologia CAD, o projeto foi desenvolvido através do AutoCAD utilizando modo 2D e do software SketchUp (3D).

Referente ao conceito BIM, a ferramenta Revit foi empregada de maneira análoga ao descrito no parágrafo anterior. Contudo, consistindo em uma elaboração dos processos de forma integrada e automatizada.

A análise dessa etapa inicial foi elaborada a partir do comparativo horário de desenvolvimento de tarefas e processos que envolvem a representação do anteprojeto e *layout*, elevação tridimensional, projeto legal/executivo (situação, planta de cobertura, planta baixa, dois cortes e duas elevações), definições e inserção de dados dos materiais.

5.5.2. Projeto estrutural

De acordo com Tarrafa (2012) e Müller (2015), a ferramenta Revit *Structure* não realiza dimensionamentos estruturais. É utilizado principalmente na elaboração de modelagens compartilhadas com softwares que apresentem ligação e sejam eficientes no cálculo e análise estrutural.

A estrutura foi dimensionada e verificada previamente com auxílio do software Eberick em ambas as metodologias estudadas. Devido às restrições de dimensionamento da ferramenta Revit *Structure*, optou-se por seguir o dimensionamento importado do software Eberick, enfatizando, contudo, a análise comparativa principalmente dos detalhamentos e grau de visualização paramétrica da concepção da estrutura e demais projetos.

O processo de elaboração do projeto no Eberick foi realizado respeitando as seguintes etapas: definição de linhas de referência de locação da estrutura na planta baixa do projeto arquitetônico; importação CAD e lançamento da estrutura, bem como cargas atuantes; dimensionamento; análise/verificação das armaduras e desenho das pranchas.

Na ferramenta Revit foi concebida a modelagem estrutural respeitando os resultados extraídos do Eberick, buscando uma visualização integrada junto às demais disciplinas.

5.5.3. Projeto hidrossanitário

Através do sistema tradicional, esta disciplina foi elaborada de maneira primária através do traçado do caminho da tubulação no próprio arquivo (AutoCAD) que compõe o projeto arquitetônico – excluindo detalhamentos (cortes, elevações, *layout*, etc.), deixando o projeto (planta baixa) o mais "limpo" possível. Posteriormente, no software Hydros, a disposição foi importada, analisada e reajustada, e após o dimensionamento da tubulação, realizou-se o detalhamento das instalações, lista de materiais e desenho executivo novamente no AutoCAD.

Considerando o conceito BIM no software Revit, por sua vez, a reprodução do projeto por completo foi concebida de maneira integrada em um único arquivo e programa computacional. O software da Autodesk apresenta como padrão em sua biblioteca o sistema de dimensionamento norte-americano, que diferem um pouco do previsto na norma brasileira. Contudo, é possível configurar as famílias (*templates*) e dispor assim de um modelo de projeto dentro da norma nacional. Para o estudo, foram utilizadas famílias já adaptadas ao padrão brasileiro.

5.5.4. Projeto elétrico

A concepção elétrica foi elaborada a partir de pontos previamente locados no projeto arquitetônico, ainda no programa AutoCAD, semelhante à elaboração do hidrossanitário. Posteriormente, no software Lumine, o arquivo foi lido, analisado e ajustado às condições de operação do programa de projeto

elétrico. Após o dimensionamento, foi estabelecido o detalhamento das instalações, lista de materiais, bem como desenho executivo.

A disciplina elétrica no Revit foi concebida também de modo integrado, todavia seguindo o dimensionamento obtido com auxílio do Lumine, compreendendo todos os itens já mencionados no parágrafo anterior.

5.5.5. Cronograma físico financeiro

O cronograma físico financeiro foi formado, em ambas as metodologias estudadas, conforme a planilha Proposta de Financiamento de Unidade Isolada – PFUI exigida pelo programa de financiamento Minha Casa Minha Vida. Verificou-se nas metodologias estudadas a agilidade e facilidade de extração de quantitativos a serem inseridos na planilha de custos.

Para determinar o valor dos materiais necessários para composição da planilha orçamentária exigida pelo programa MCMV, foram adotados valores estabelecidos no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI da Caixa Econômica Federal atualizada em Janeiro de 2016 (CEF, 2016).

5.6. Avaliação comparativa

A análise comparativa teve embasamento no prazo de desenvolvimento dos projetos e processos a partir dos dois métodos estudados. Foram considerados aspectos de inserção de dados de materiais, simultaneidade de desenvolvimento de processos, custo de elaboração das disciplinas, qualidade de detalhamento e visualização instantânea da modelagem integrada, por exemplo.

O prazo demandado para o desenvolvimento das tarefas foi documentado em anotações manuais e em planilha eletrônica (em horas). A partir da documentação foram desenvolvidos gráficos e tabelas com informações comparativas sintetizadas.

O valor da hora técnica de projeto do engenheiro civil seguiu os valores estabelecidos pela Associação Brasileira de Engenheiros Civis – ABENC (Tabela 1). Os valores em reais por metro quadrado (R$/m²) foram determinados a partir da relação metro quadrado/hora de projeto (m²/h). Com essa relação foram gerados gráficos, analogamente à apresentação do comparativo de tempo.

Tabela 1 - Honorários básicos para elaboração de projetos de edificações residenciais.

Projetos	Custo por metro quadrado (R$/m²)
Arquitetônico	35,09
Estrutural	11,57
Hidrossanitário	7,02
Elétrico	8,54
Cronograma físico financeiro	20% de todos os projetos

6. Análise de resultados

Na modelagem CAD, a representação gráfica se dá através de coordenadas geométricas que constituem os elementos. Deste modo, em um panorama geral, as alterações implicaram em modificações manuais em todos os objetos.

Por sua vez, a modelagem BIM é constituída por modelos paramétricos dos elementos construtivos. Tal fator tornou possível alterações dinâmicas e automáticas, que refletiram em todos os desenhos e componentes associados da modelagem.

Outra constatação no que tange o modelo BIM, se refere à inserção de características dos componentes, espessura dos materiais, por exemplo, que puderam ser acessadas e alteradas até o momento final. A observação implica no característico potencial de contribuição na qualidade dos processos e produtos do setor AEC.

6.1. Tempo de desenvolvimento de projetos e processos da edificação (sem alteração)

Em suma, com o emprego do BIM foi possível obter o projeto completo da mesma edificação com um tempo 11% menor que quando empregado somente ferramentas CAD.

A Figura 3 apresenta em síntese o tempo por disciplina e acumulado, necessário para o desenvolvimento dos itens estudados.

A maior diferença de prazo de tarefas AEC a favor da ferramenta BIM, consiste na elaboração do

projeto arquitetônico e do cronograma físico financeiro concebido na planilha PFUI. Contudo, no quesito estrutural e elétrico o método BIM apresentou resultados desfavoráveis.

A seguir são apresentadas as análises individuais por disciplina.

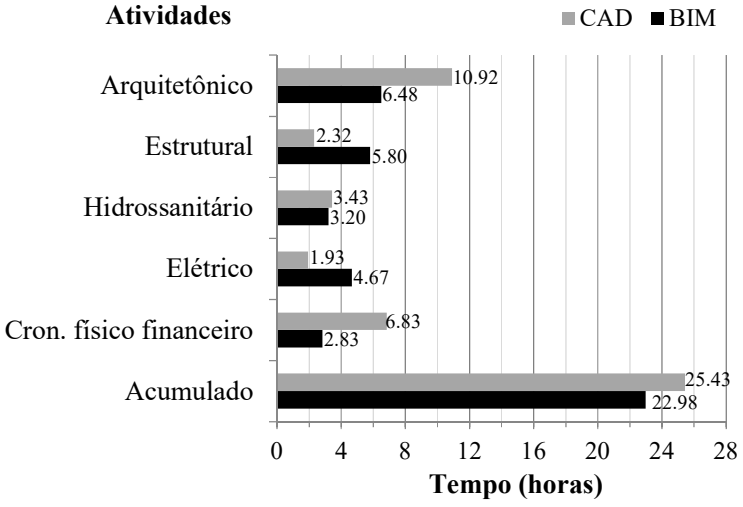


Figura 3 - Comparativo horário de desenvolvimento de processos e projetos.

6.1.1. Arquitetônico

É possível notar que as definições (*layers*, famílias, materiais, elementos, etc.) demandaram um tempo maior no software BIM (Tabela 2). No entanto, observa-se que a principal diferença compreende a elaboração de cortes e elevações. Outro item que se destaca refere-se à representação 3D. Enquanto na metodologia CAD foi necessário 2,33 horas operando o SketchUp após a definição bidimensional do AutoCAD, no Revit a elevação tridimensional foi sendo elaborada harmonicamente à representação 2D.

Tabela 2 - Prazo de desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Arquitetônico	Metodologia CAD (h)	Metodologia BIM (h)
Definições	0,75	4,25
Layout	0,83	0,75
Representação 3D	2,33	–
Projeto legal (implantação)	0,53	0,43
Projeto executivo (planta baixa, planta de cobertura)	1,48	1,05
Projeto executivo (cortes)	4,20	–
Projeto executivo (elevações)	0,78	–
Total	10,92	6,48

Após a construção da planta baixa a perspectiva 3D da edificação já se encontra integrada e parametrizada. A Figura 4 mostra as imagens tridimensionais produzidas por softwares CAD e BIM.

a) b)

Figura 4 - Representação 3D da edificação: a) produzida em CAD; b) produzida em BIM.

Nota-se ainda na Tabela 2, que os cortes e elevações no software BIM, de modo análogo à representação tridimensional, não demandaram tempo, visto que são obtidos automaticamente no painel de navegação da ferramenta BIM.

O desenvolvimento do projeto arquitetônico completo através do Revit (BIM) foi 41% mais rápido que o AutoCAD (CAD).

6.1.2. Estrutural

O projeto foi elaborado através da mesma ferramenta de dimensionamento em ambas as metodologias estudadas. Tal fato implica em intervalos de tempo equivalentes na maioria das etapas indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Prazo de desenvolvimento do projeto estrutural.

Estrutural	Metodologia CAD (h)	Metodologia BIM (h)
Definições de software	0,42	0,42
Preparação arquitetônico	0,25	0,25
Lançamento da estrutura	0,57	0,57
Dimensionamento	0,07	0,07
Análise estrutural (verificações)	0,33	0,33
Detalhamento (modelagem BIM)	0,32	3,80
Desenho executivo	0,37	0,37
Total	2,32	5,80

Entretanto, devido a limitações de interoperabilidade entre o Eberick e Revit, na metodologia BIM foi necessário elaborar uma modelagem (detalhamento) da estrutura dimensionada. Fato esse que demandou mais tempo que o método tradicional. A Figura 5 apresenta a estrutura 3D modelada no Revit (BIM).

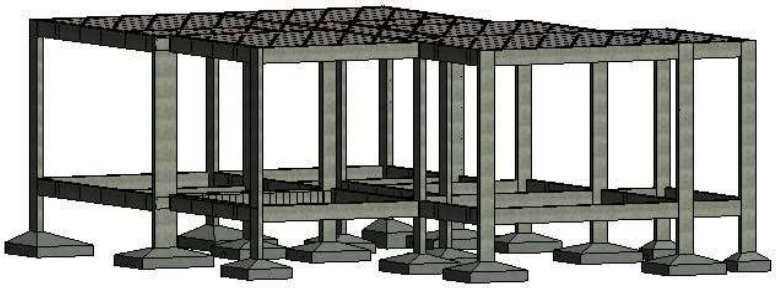


Figura 5 - Estrutura da edificação.

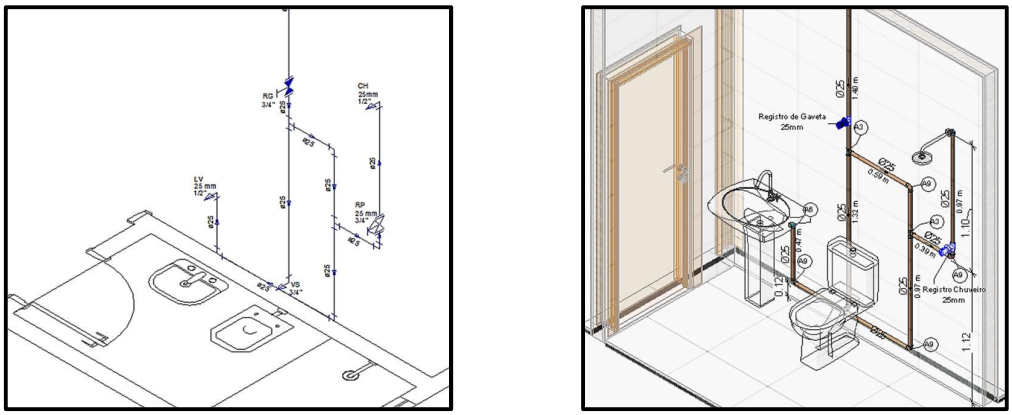
6.1.3. Hidrossanitário

Os processos apresentaram tempo de desenvolvimento total com pouca diferença (Tabela 4). Apresentando, no entanto, discrepância no item preparação do arquitetônico. Esse fator se deve ao fato que na modelagem BIM tal etapa é irrelevante, visto que as disciplinas podem ser integradas.

Tabela 4 - Prazo de desenvolvimento do projeto hidrossanitário.

Hidrossanitário	Metodologia CAD (h)	Metodologia BIM (h)
Definições de software	0,12	0,75
Preparação arquitetônico	0,47	-
Lançamento da tubulação e conexões	0,83	1,42
Dimensionamento	0,07	0,03
Análise da tubulação (verificações)	0,33	0,25
Detalhamento das instalações	0,20	0,50
Desenho executivo	1,42	0,25
Total	3,43	3,20

Na Figura 6 é mostrado um detalhamento do projeto desenvolvido, em CAD e BIM. Nota-se a melhor apresentação representativa quando esta é elaborada em ferramenta BIM.



a) b)

Figura 6 - Detalhamento hidráulico da edificação: a) produzido em CAD; b) produzido em BIM.

6.1.4. Elétrico

O projeto elétrico apresenta resultados adversos, proveniente de limitações inesperadas do programa Revit. O principal item que caracteriza tal observação se deve ao dimensionamento (Tabela 5).

Com o decorrer da pesquisa, constatou-se que para o desenvolvimento do projeto elétrico em BIM, o Revit não supre todas as necessidades de dimensionamento. O software deixa a desejar em cálculos de proteção (disjuntores), dimensionamento de condutores e eletrodutos, determinação do percurso da fiação e diagramas unifilar e multifilar, por exemplo.

Deste modo, de forma análoga ao previsto e executado no projeto estrutural no Revit, o projeto elétrico no software em questão ficou limitado à reprodução de uma modelagem gráfica dos resultados extraídos da ferramenta Lumine. Visando os benefícios do sistema BIM, o processo é fundamental para a elaboração do documento completo da edificação. No entanto, implica em um tempo maior.

Tabela 5 - Prazo de desenvolvimento do projeto elétrico.

Elétrico	Metodologia CAD (h)	Metodologia BIM (h)
Definições de software	0,25	0,58
Preparação arquitetônico	0,25	0,25
Lançamento dos condutores e pontos elétricos	0,42	0,35
Dimensionamento	0,17	*
Análise dos condutores	0,38	0,22
Detalhamento das instalações	0,13	3,08
Desenho executivo	0,33	0,18
Total	1,93	4,67

Nota: (*) não foi possível desenvolver.

6.1.5. Cronograma físico financeiro

A Tabela 6 apresenta o tempo demandado pelos sistemas CAD e BIM para preenchimento da planilha exigida pelo programa governamental para financiamento MCMV. O desenvolvimento da planilha pelo método BIM ocorre em 2/5 do tempo do método CAD. Isso é reflexo dos dados não geométricos inseridos nas disciplinas anteriores.

Tabela 6 - Prazo de desenvolvimento do cronograma físico financeiro.

Cronograma físico financeiro	Metodologia CAD (h)	Metodologia BIM (h)
Planilha PFUI	6,83	2,83

Os benefícios de dados parametrizados provenientes da Modelagem da Informação da Construção cooperaram significativamente para a extração automática de quantitativos de projetos.

6.2. Remuneração horária para desenvolvimento de projetos e processos da edificação (sem alteração)

A partir do tempo demandado para desenvolvimento dos processos de projeto, é apresentado na Figura 7 a remuneração horária (R$/h).

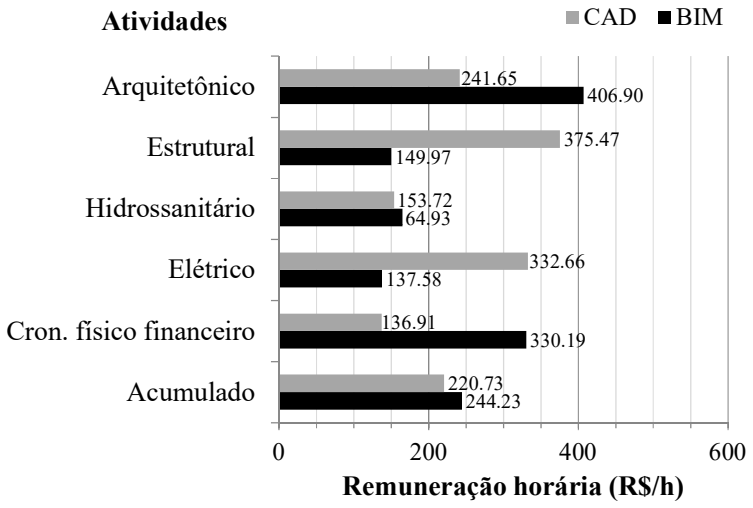


Figura 7 - Comparativo de remuneração horária para desenvolvimento dos projetos.

6.3. Tempo de desenvolvimento de projetos e processos da edificação (com alteração)

A alteração da edificação estudada mostrou que a proporção de diferença horária por disciplina abordada, se aproxima da relação comparativa apresentada na Figura 3 e explanada no item 6.1. Entretanto, o tempo acumulado demandado para alteração dos projetos com o método BIM foi 21% menor que o CAD (Figura 8).

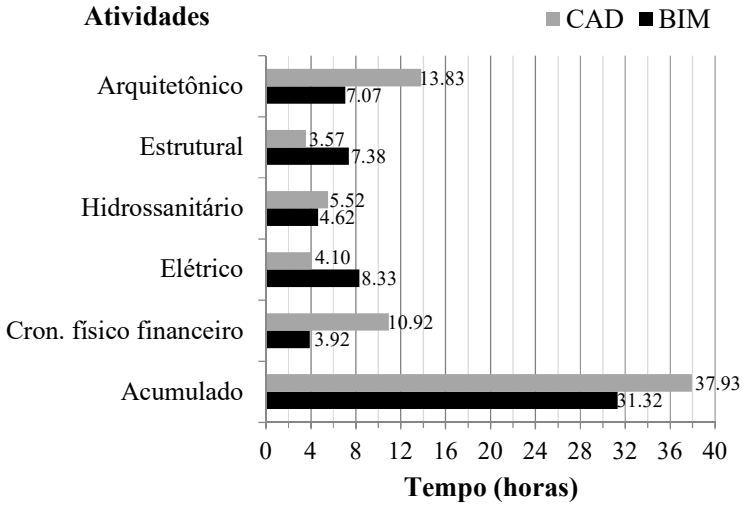


Figura 8 - Comparativo horário de desenvolvimento de projetos com alteração.

A alteração do projeto arquitetônico exigiu um esforço maior no método CAD. O BIM propicia, por exemplo, cortes e elevações automáticas. Essa característica promove maior agilidade nos projetos desenvolvidos com o BIM no caso de alterações.

O projeto hidrossanitário também teve alteração facilitada com o método BIM. Os esforços e retrabalhos demandados no sistema CAD foram automatizados no BIM devido ao detalhamento integrado de projetos no Revit.

Entretanto, a alteração dos projetos estrutural e elétrico ocasionou um esforço de retrabalho maior no sistema BIM. A ferramenta Revit, desacompanhada de extensões, não possui recursos suficientes para o desenvolvimento completo desses projetos. A modelagem se torna um processo manual que

requer um tempo relativamente maior. No entanto, conforme já citado, esse esforço proporciona um modelo virtual da edificação, que influencia em melhores decisões de projeto e execução. A Figura 9 mostra a edificação final com os projetos interdisciplinares integrados.

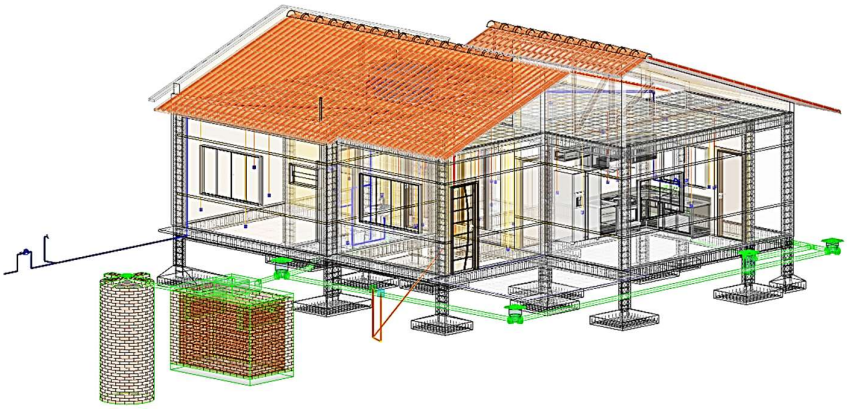


Figura 9 - Edificação final com projetos integrados, em BIM.

6.4. Remuneração horária para desenvolvimento de projetos e processos da edificação (com alteração)

A Figura 10 mostra a remuneração horária (R$/h) dos serviços para desenvolvimento dos processos de projeto a partir das alterações realizadas em ferramentas CAD e BIM.

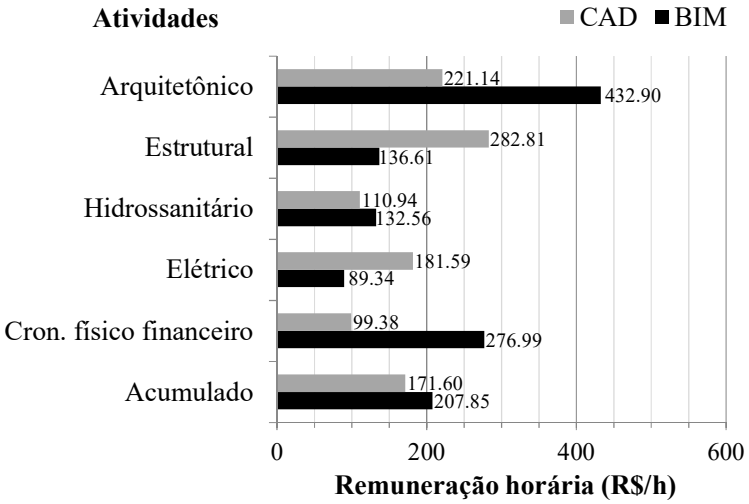


Figura 10 - Comparativo de remuneração horária para desenvolvimento dos projetos com alteração.

7. Conclusões

A deficiência de normas nacionais que regulamentem o BIM é uma das barreiras para um maior e melhor emprego dessa tecnologia na indústria AEC. Apesar do esforço do Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior, que chegou a disponibilizar bibliotecas de componentes BIM e incentivar o emprego da tecnologia em construções de baixa renda, há carência de conteúdo para a Modelagem da Informação da Construção. O usuário, por muitas vezes, precisa criar o seu próprio material ou comprar. O que justifica, em parte, a resistência do uso do BIM.

O Revit, apesar de apresentar interface relacionada, apresenta funcionalidade limitada na elaboração de projetos estruturais e elétricos devido à ausência de compatibilidade com normas brasileiras de representação e dimensionamento.

O processo de realização do projeto estrutural no Revit fica limitado à modelagem e requer eventuais análises em outros softwares, como o Robot, por exemplo. Contudo, essa disciplina de projeto vem apresentando evolução, a partir de investimentos das companhias desenvolvedoras de software em ferramentas que apresentam suporte BIM, o que torna possível a cooperação entre programas. Situação

essa, por exemplo, da companhia AltoQI, desenvolvedora da ferramenta Eberick, que em novas versões promete melhorias na interoperabilidade BIM.

Por sua vez, o desenvolvimento do projeto elétrico no Revit apresenta desvantagens. Uma delas é a não apresentação do fio retorno em circuitos de iluminação. Adicionalmente, requer adaptações representativas e pede o uso de técnicas de automatização de processos a partir de extensões, para se citar, o Dynamo.

Apesar de haver limitações de softwares na metodologia BIM e ainda com operador sem larga experiência, o desenvolvimento (modelagem) acumulado de todos os projetos nessa plataforma, além de mais consistente, demanda um tempo final relativamente menor. As tarefas automatizadas colaboram para um processo 11% mais eficaz, em relação ao sistema CAD tradicional.

Os resultados mostraram ainda que o desenvolvimento de projetos com alterações em meio ao processo são 21% mais rápidos com a modelagem BIM, ao invés do CAD.

Cabe evidenciar, porém, que as conclusões aqui explanadas referem especificamente a este estudo de caso, frente as condições disponíveis de ferramentas e habilidade técnica do operador, analogamente.

Na avaliação geral, o presente estudo comprovou a superioridade do método BIM em relação ao método CAD tradicional no desenvolvimento de projetos típicos AEC. Quando os problemas de interoperabilidade e incompatibilidade com normas brasileiras forem solucionados o BIM apresentará valores de produtividade e remuneração superiores aos determinados por essa pesquisa.

Referências

Associação Brasileira de Engenheiros Civis. Tabela de Honorários Profissionais Básicos, 2013.

Autodesk. Products. Revit Family. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit-family/overview?geoNavigationPreferredSiteUS>. Acesso em setembro de 2017.

Ayres Filho, C.; Scheer, S. Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico. In: *Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios*. Curitiba, 2007.

Caixa Econômica Federal. Sistema Nacional de Pequisa de Custos e Índices da Construção Civil (Janeiro). Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_650>. Acesso em março de 2016.

Campos Neto, S.; Pamboukian, S. V. D.; Craveiro, M. V.; Barros, E. A. R. Estudo comparativo de ferramentas computacionais que utilizam tecnologia BIM para desenvolvimento de projetos de engenharia civil. In: *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. Belém, 2012.

Cao, D.; Li, H.; Wang, G.; Huang, T. Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects: An empirical study in China. *International Journal of Project Management*, Elsevier, 2016.

Centro de Tecnologia De Edificações. Inovação & Tecnologia. 2015. Disponível em: <http://www.cte.com.br/inovacao/>. Acesso em março de 2015.

Costa, E. N. Avaliação da metodologia BIM para a compatibilização de projetos. Ouro Preto, MG: UFOP, 2013 (*Dissertação de Mestrado*).

Costa, G. C. L. R.; Figueiredo, S. H.; Ribeiro, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia CAD com a tecnologia BIM. In: *Revista de Ensino de Engenharia*, 2015.

Crespo, C.; Ruschel, R. C. Ferramentas BIM: Um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: *Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção*. Porto Alegre, 2007.

Czmoch, I.; Pękala, A. Tradicional design versus BIM based design. In: *Procedia Engineering*, Elsevier, 2014.

Durante, F. K. O uso da metodologia BIM (Building Information Modeling) para gerenciamento de projetos: Gerente BIM, Londrina, PR: UEL, 2013 (*Trabalho de Conclusão de Curso*).

Eastman, C. M.; Liston, K.; Sacks, R.; Teicholz, P. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de C. G. Ayres Filho *et al*.; Revisão Técnica de E. T. Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Farr, E. R. P.; Piroozfar, P. A. E.; Robinson, D. BIM as a generic configurator for facilitation of customisation in the AEC industry. In: *Automation in Construction*, Elsevier, 2014.

Florio, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. In: *Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil*. Porto Alegre, 2007.

Hilgenberg, F. B.; Almeida, B. L.; Scheer, S.; Ayres Filho, C. Uso de BIM pelos profissionais de arquitetura em Curitiba. In: *Revista Gestão e Tecnologia de Projetos*. São Paulo, SP: USP, 2012.

Leão, M. Aulas. Tecnologias BIM na gestão de empreendimentos na construção civil. Sinop: *FACET - UNEMAT*, 2013.

Manzione, L. Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM, São Paulo, SP: USP, 2013 (*Tese de Doutorado*).

Melhado, S. B. Coordenação de projetos de edificações. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

Melhado, S. B.; Agopyan, V. O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle. São Paulo, SP: USP, 1995.

Müller, L. S. Utilização da tecnologia BIM (Building Information Modeling) integrado a planejamento 4D na construção civil, Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2015 (*Trabalho de Conclusão de Curso*).

Pretti, A. L. M., Calmon, J. L., Alvarez, C. E. Interoperabilidade: Comparação entre os sistemas BIM e CAD. In: *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*. Vitória, 2016.

Ruschel, R. C.; Bizello, S. A. Avaliação de sistemas CAD lives. In: Kowaltowski, D. C. C. K., *et al*. O processo de projeto em arquitetura da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Ruschel, R. C.; Guimarães Filho, A. B. Iniciando em CAD 4D. In: *Workshop Brasileiro Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*. São Paulo: USP, 2008.

Schodek, D.; Bechthold. M.; Griggs, J. K.; Kao, K.; Steinberg, M. Digital Design and Manufacturing: CAD/CAN Aplications in INC. New Jersey: John Willey & Sons, 2007.

Takim, R.; Harris, M.; Nawawi, A. H. Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. *Procedia – Social and Behadvioral Sciences*, Elsevier, 2013.

Tarrafa, D. G. P. Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas. Coimbra, Portugal: FCTUC, 2012 (*Dissertação de Mestrado*).

Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – literature review and futures needs. In: *Automation in Construction*, Elsevier, 2013.