

APLICAÇÃO DE BIM NA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Matheus Lamas Marsico¹

Rafael de Medeiros²

Vivian Delatorre³

Marcelo Fabiano Costella⁴

Claudio Alcides Jacoski⁵

RESUMO: A presente pesquisa propõe analisar a funcionalidade e a aplicabilidade de algumas ferramentas existentes em BIM (*Building Information Modeling*) visando contribuir na compatibilização dos projetos de construção. Os principais conceitos e definições de BIM são apresentados, tais como a interoperabilidade e a modelagem paramétrica. Situações inerentes a novas formas de concepção e de mudança cultural na forma de projetar são abordados com base no fluxo de trabalho em BIM, com foco em maior colaboração e integração entre os profissionais. A metodologia proposta resulta no acompanhamento da concepção de um projeto de uma edificação multifamiliar com dois pavimentos com base em um modelo tridimensional de arquitetura existente em BIM e seus sistemas complementares existentes em CAD. No estudo de caso foram elaborados e modelados os projetos estrutural, elétrico e hidrossanitário e, posteriormente, foram realizadas as compatibilizações entre todos os projetos. Conclui-se, a partir dos resultados obtidos, que as diferenças entre os processos de projeto BIM e CAD são expressivas, sendo mais significativas para o BIM, pois o mesmo oferece grandes vantagens em relação ao fluxo de trabalho. No entanto, exige mais conhecimento técnico em relação à forma de trabalho, dos aplicativos utilizados e também um suporte de tecnologia da informação (TI) mais amplo. Com relação à integração entre os profissionais, os resultados demonstram que a mesma é inerente e de suma importância para que efetivamente ocorra a diminuição das incompatibilidades e, conseqüentemente, dos custos.

Palavras-chave: Interoperabilidade. Colaboração. Integração. Compatibilização. BIM.

¹ Engenheiro Civil, Área de Ciências Exatas e Ambientais - Curso de Engenharia Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Santa Catarina/Brasil. E-mail: matheuspel@uol.com.br

² Mestre, Mestrado em Tecnologia e Gestão da Inovação, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Santa Catarina/Brasil. E-mail: rafaelmedeiros@unochapeco.edu.br.

³ Mestre, Área de Ciências Exatas e Ambientais - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Santa Catarina/Brasil. E-mail: vividel@unochapeco.edu.br.

⁴ Mestre, Mestrado em Tecnologia e Gestão da Inovação, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Santa Catarina/Brasil. E-mail: costella@unochapeco.edu.br.

⁵ Mestre, Mestrado em Tecnologia e Gestão da Inovação, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Unochapecó, Santa Catarina/Brasil. E-mail: claudio@unochapeco.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção civil brasileira, em específico os setores de projetos, coordenação e compatibilização, encontram-se com uma demanda muito maior do que suas estruturas físicas, profissionais e técnicas suportam. Isto desencadeia uma série de falhas técnicas de projetos, que podem persistir até a execução da edificação e que, muitas vezes, são decorrentes de: curtos prazos para elaboração dos projetos, solicitações cada vez maiores do mercado por produtos de melhor qualidade, defasagem organizacional e técnica de muitas empresas e falta de utilização de tecnologias mais avançadas e automatizadas que auxiliem o processo de desenvolvimentos de edificações.

Por conta disso, o BIM (*Building Information Modeling*) é uma das ferramentas existentes no mercado com a capacidade de suprir essa necessidade de estruturação e planejamento de fluxo de trabalhos, tanto nas fases de projetos como de construção. Onde, por consequência da interferência organizacional gerada pelo BIM, esta acaba se refletindo em todos os setores da empresa envolvidos no processo de projeto, assegurando mais ainda a continuidade das informações.

Neste contexto, o objetivo desse artigo é estudar os conceitos, fundamentos e aplicação de BIM por meio do desenvolvimento dos projetos de estrutura em concreto armado e de instalações elétricas e hidrossanitárias a partir de projetos modelos existentes de uma residência multifamiliar com 02 pavimentos. Também apontar a interoperabilidade entre os softwares utilizados por meio do protocolo digital IFC (*Industry Foundation Classes*), relatar o processo de compatibilização de projetos de edificação, de acordo com o estudo de caso deste artigo e citar as principais diferenças que ocorrem no processo de projeto BIM em relação ao CAD (*Computer Aided Design*).

2 BIM (*Building Information Modeling*)

O *National BIM Standards Committee* (NBIMS, 2007) define o BIM como uma representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação. Ainda define, como produto, uma representação digital inteligente de dados; como processo, que abrange diferentes disciplinas e estabelece processos automatizados de trocas de dados; como ferramenta de gerenciamento, sendo instrumento de gestão, fluxo de trabalho e procedimentos usados em equipe.

Succar (2009) define o BIM como um conjunto integrado de políticas, processos e tecnologias, que gera uma metodologia para gerenciar o projeto e os seus dados (digitais) ao longo do ciclo de vida do edifício. Com isso, emergem mudanças de procedimentos na AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação). Segundo Yalcinkaya e Singh (2015), o BIM tem emergido como uma das correntes-chaves em pesquisas de construção e engenharia civil na última década sendo, desta forma, uma inquestionável tendência para o futuro destes setores.

De acordo com Gao et al. (2015), é notória a popularidade que os sistemas BIM adquiriram atualmente. Todos os avanços e progressos, apresentados a partir do uso destas ferramentas integradas, tem fomentado a produção de bibliotecas virtuais para o compartilhamento de elementos de projeto. Todavia, os autores destacam ainda a necessidade de avaliação criteriosa da compatibilidade e interoperabilidade destes elementos para que o processo de projeto seja coerente e aprimorado.

As vantagens apresentadas a partir da aplicação de tecnologias BIM não dizem respeito apenas aos aspectos organizacionais das empresas de projeto. Kim et al. (2013) apontam os resultados positivos aferidos em cronogramas otimizados e em compatibilização de informações, porém não são os únicos possíveis. Jalaei e Jrade (2015) destacam seu elo com a concepção de edifícios ambientalmente amigáveis, os quais apresentam tanto alto desempenho quanto economia de custos, desenvolvendo assim cidades sustentáveis. Os autores ainda abordam as inovações no processo de seleção de materiais, equipamentos e sistemas em todas as fases da vida de uma edificação.

Eastman et al. (2014) ressaltam que o BIM fundamenta-se em duas tecnologias: a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. A interoperabilidade, segundo Eastman et al. (2008), é a capacidade de troca de dados entre aplicativos, facilitando os fluxos de trabalho e, algumas vezes, a automatização. A interoperabilidade é necessária para que as tarefas de projeto e produção de uma construção permitam às diferentes especialidades a troca de dados entre aplicações. O IFC é o principal instrumento de interoperabilidade entre softwares para a AECO, segundo a IAI (*International Alliance for Interoperability*, 2008). É também um formato aberto, que apoia o intercâmbio dos dados entre softwares de tecnologia BIM.

Jacoski (2003) afirma que o IFC constitui-se de um modelo único central, orientado a objeto e transferível entre aplicativos. De tal forma, o mesmo dispõe de recursos de múltiplas representações para que se possa definir atributos, definições de geometria, unidades e outros dos modelos. É um formato que não pertence a nenhuma empresa, dessa maneira é um formato público e aberto, disponível para a utilização no BIM. Tal afirmação (a partir de

interoperabilidade entre as diferentes plataformas BIM) baseia-se no contexto de que para obter um fluxo de trabalho contínuo, sem realimentações repetidas de dados, necessita-se também de um elemento seguro que faça essa transferência de informações. No entanto, Eastman et al. (2014) destacam que por mais que o IFC seja capaz de representar uma ampla gama de projetos de construção, na indústria ainda há muito para ser intercambiado. Como a ampliação da capacidade de transportar informações de detalhamentos para fabricações de objetos, por exemplo. Desta forma, a abrangência do IFC cresce a cada versão.

Outra tecnologia de suporte ao BIM é a modelagem paramétrica definida por Eastman (2014) como representação de objetos, por meio de parâmetros e regras que determinam sua geometria, sendo algumas propriedades e características não geométricas. Segundo o autor, a modelagem paramétrica é uma das tecnologias que diferencia os sistemas CAD do BIM. E, ainda, considera que a modelagem de objetos permite de maneira eficaz a criação e edição da geometria. Asl et al. (2015) indicam que, devido à alta complexidade na criação de um modelo de construção, há uma grande demanda de utilizar e integrar as tecnologias avançadas de modelagem e simulação, incluindo BIM, modelagem paramétrica, simulação baseada em nuvem, e algoritmos de otimização. Bem como, uma nova interface de usuário que facilita a configuração dos parâmetros de construção e funções de aptidão de desempenho para gerar automaticamente, avaliar e otimizar várias opções de projeto.

De acordo com Ruschel e Andrade (2009), no final dos anos 80, após intensas pesquisas universitárias e o desenvolvimento do setor industrial, surgiram as primeiras gerações de softwares com objetos paramétricos, como o *Revit*, *Bentley*, *Tekla*, *Archicad* e outros. Isto ocorreu principalmente devido ao desenvolvimento do setor mecânico, onde o mesmo necessitava de projetos baseados em modelagens paramétricas de objetos para automatizar suas produções.

Os dados de BIM, segundo Kang e Choi (2015), consideram a variabilidade e capacidade de expansão a partir da perspectiva do usuário. Isto pode ser evidenciado pela riqueza de informações intrínsecas aos elementos que, todavia, podem ser filtradas e selecionadas para suas corretas manipulações. Ribeiro (2010) acrescenta que os aplicativos BIM que utilizam a modelagem paramétrica, interpretam não apenas uma instância de um elemento do projeto, como uma parede ou uma porta, e sim, definem configurações das várias instâncias simultaneamente. Por exemplo, no software *Autodesk Revit*, este grupo de instância é denominado família. Já no *ArchiCAD* é *libraries* de objetos GDL e nos demais softwares com específicas características de configuração.

Para Souza (2009), são essas regras que permitem ao projetista realizar modificações em elementos nas diversas fases do projeto. Sem se preocupar que esta possa interferir em algum outro elemento adjacente ao modificado, pois esta interpretação de regras entre os elementos é realizada automaticamente, assim como a geração automática da utilização dos desenhos.

De acordo com Andrade (2012) e Moreira (2008), pode-se afirmar que a modelagem paramétrica é um dos pontos mais importantes para a otimização da produtividade de um projeto. Esta permite atualizações automáticas dos elementos, principalmente os de baixo nível, que são maioria no projeto. Desta forma, possibilitam mais agilidade e fluidez ao desenvolvimento do projeto.

A partir das discussões apresentadas, entende-se que o BIM não é apenas uma ferramenta, mas uma mudança no processo de projeto e gerenciamento. Envolve além da tecnologia, a integração e colaboração entre todos os intervenientes do projeto e construção do edifício.

2.1 Colaboração, Integração e IPD (*Integrated Project Delivery*)

Todo o processo de elaboração de projeto em BIM ocorre de maneira integrada entre os profissionais envolvidos. São geradas inúmeras informações ao mesmo tempo e em diferentes projetos. Embora todas as informações do projeto estejam contidas em um modelo com banco de dados único, a integração entre os profissionais ainda se faz quase que obrigatória.

Segundo Checcucci, Pereira e Amorin (2011), a colaboração trata de uma forma de trabalho em equipe interdisciplinar, com a finalidade de organizar o processo de projeto e construção visando padronizar as trocas de informações com a mínima perda de dados entre profissionais de diferentes áreas. Desta forma, esta padronização aliada à colaboração entre os agentes, consegue-se definir as seguintes diretrizes: de quem serão produzidos os modelos; quem será responsável por modelar cada item da edificação; qual profissional irá coordenar o processo de modelagem e gerenciar a base de dados BIM (edifício virtual); o que e como deverá ser representado e; quais informações deverão ser inseridas em cada fase do ciclo de vida da edificação.

Com base em Eastman et al. (2014), percebe-se que o BIM, em relação ao sistema CAD tradicional, facilita a operação simultânea entre diferentes disciplinas, pois ainda que seja possível se coordenar um projeto apenas por desenhos, o fluxo de trabalho reduz drasticamente e o mesmo é direcionado para uma rotina com muitas repetições de processos e entradas de dados, levando os profissionais a um esforço cognitivo muito grande.

Por consequência deste excesso do esforço mental do projetista, há um significativo aumento do índice de erros, uma redução da possibilidade de implantação de melhorias contínuas ao projeto e de redistribuição do tempo dos projetistas. Também a ineficácia do projeto em termos de custos. Com isso, há uma integração das ideias geradas em torno de um projeto, incentivando a colaboração entre os profissionais envolvidos.

Desta maneira, o BIM acaba impondo uma necessidade de adaptação dos profissionais, a uma nova forma de comunicação entre os mesmos, onde todos devem manipular as informações de forma simultânea e integrada, como também de forma clara, segura e objetiva (CLAYTON, 2008).

Neste contexto, Jacoski (2003) comenta que a falta de padronização das informações, tanto em relação à comunicação, a armazenagem e a transferência, é um dos pontos de maior dificuldade dos profissionais no processo de projeto de um empreendimento. Logo, Dornelas (2013) relaciona o gerenciamento da integração com o ambiente colaborativo BIM, salientando, dentre outros fatores, o aprimoramento do escopo a partir da modelagem 3D realística e a verificação de requisitos e especificações. Também quanto a tempo e custos em função da rápida exploração de alternativas e do trabalho simultâneo entre equipes. Tudo isto priorizando a qualidade, que é reconhecida através de análises precisas, planejamento e controle da produção coerente e compatibilização das especialidades.

Com o surgimento de novos materiais e tecnologias, como o BIM, surgiu também o IPD (*Integrated Project Delivery*). De acordo com Succar (2009), a abordagem de desenvolvimento de projeto da entrega integrada (IPD) é um processo de projetos que integra pessoas, sistemas, estruturas e práticas de negócios em um processo colaborativo, explorando máximo aos talentos e ideias dos profissionais envolvidos para obtenção de um melhor resultado final e juntamente com a implementação do BIM, não tem como objetivo a exclusão de outras visões e sim, de incluir todos os fundamentos e conceitos do BIM em conjunto com os seus.

Desta maneira, percebe-se que a adoção de uma gestão de projeto integrada, apenas com o BIM ou em conjunto com o IPD, por parte de qualquer empresa de construção civil, afeta principalmente o setor de arquitetura e engenharia. Indiretamente também afeta os setores financeiros, de relações humanas, de almoxarifado, entre outros, isto por consequência do grande contexto que este tipo de gestão gera, para se conseguir abranger a todos os seguimentos de um projeto.

A colaboração é uma abordagem importante no processo com o BIM, por envolver mais cedo e com maior frequência todos os envolvidos no projeto e na construção do edifício. Para Eastman et al. (2014, p. 119), “o processo colaborativo pode não gerar uma redução da duração do projeto ou um início mais cedo das obras [...], mas ele garante a participação da equipe de construção incluindo fabricantes e fornecedores”.

Eastman et al. (2014) enfatizam que com a construção conjunta do modelo virtual, com ferramentas BIM, é possível construir, revisar e atualizar o modelo, uma vez que grande parte das plataformas BIM possuem recursos de revisão e anotação do modelo e também suporte para o trabalho a distância e para a troca de informações.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para consolidação dos objetivos propostos neste artigo, a pesquisa visou a geração de conhecimento e informações técnicas, necessárias para aplicações práticas de utilização do BIM. Para tanto, o trabalho foi desenvolvido de acordo com as seguintes etapas:

3.1 Recursos Computacionais

Dentre os softwares utilizados para a elaboração dos projetos estrutural, hidrossanitário e elétrico, primeiramente realizou-se um reconhecimento dos mesmos. Desta maneira, foi possível explorar a capacidade dos aplicativos de maneira mais eficaz, entendendo suas funcionalidades e metodologia de utilização.

Foi utilizado um projeto arquitetônico existente elaborado no software *Autodesk Revit Architecture*. Para a elaboração do projeto estrutural foi utilizado o software *Autodesk Revit Structure* e como base o arquitetônico existente BIM. Para modelagem dos projetos elétrico e hidrossanitário, foi utilizado o software *Autodesk Revit MEP* e como base os modelos existentes em CAD. Neste caso, houve a possibilidade de se fazer o lançamento dos dois projetos simultaneamente, devido aos dois utilizarem o mesmo software. Esta alternativa gerou uma vantagem, na qual foi possível realizar um pré-compatibilização simultânea dos dois projetos, como também possibilitou a racionalização do tempo de projeto.

Desta maneira, foi possível compatibilizar os projetos utilizando o software *Autodesk NavisWorks Manager*, sendo que foi realizada a primeira compatibilização digital entre os projetos arquitetônico e estrutural. Cabe ressaltar que os softwares de compatibilização trabalham com 03 (três) tipos de apontamentos de incompatibilidades (baixa, média e alta), no

qual as incompatibilidades baixas e algumas médias são desconsideradas por serem consequências da forma e da concepção dos projetos.

Após uma análise geral do processo e dos projetos que foram importados para o aplicativo, como também o estabelecimento de parâmetros de descarte, realizou-se o processo de compatibilização, o qual foi dividido nos seguintes grupos: Arquitetônico x Estrutural e Arquitetônico x Estrutural x Hidrossanitário x Elétrico.

3.2 Critérios de Avaliação e Observações

Em todo processo de elaboração dos projetos foram apontados os pontos de incompatibilidades, identificadas manualmente durante o lançamento dos projetos, com a finalidade de destacar falhas recorrentes a falta de integração dos projetos.

Como forma de avaliação dos objetivos propostos neste artigo foram utilizados os seguintes critérios: a) Compreensão da maneira de trabalho de todos os aplicativos BIM utilizados; b) Modelagem 3D dos projetos elétrico e hidrossanitário; c) Priorização em cada etapa de transferência de arquivos a utilização do IFC; d) Identificação de interferências entre os projetos; e) Leitura e interpretação total das interferências detectadas de forma manual ou digital.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Inicialmente, as atividades se deram através de uma análise do modelo arquitetônico BIM, utilizando o software *Autodesk Revit Architecture*, no qual havia apenas um pré-lançamento incompleto de vigas e lajes. Também foi analisado posicionamento das áreas molhadas e a existência de algum elemento decorativo que pudesse interferir estruturalmente.

Na sequência, para uma maior aproximação e entendimento do projeto arquitetônico, realizou-se uma análise geral do mesmo, observando-se a forma de modelagem que foi aplicada, como os elementos foram aplicados, caracterizados e dispostos no projeto. A partir de uma análise global da edificação, observou-se a existência de interferências entre elementos de parede-viga, parede-laje e laje-viga, situação que já demonstra um baixo nível de colaboração entre os projetistas, visto que foram adotadas soluções de projeto incompatíveis.

4.1 Apresentação do Projeto Modelo

Após a realização de um estudo do projeto arquitetônico, iniciou-se a modelagem do projeto estrutural em BIM, utilizando o software *Autodesk Revit Structure*. Previamente, ao se ocultar os elementos de laje, esquadrias e mobiliário, observou-se a situação de incompatibilidade que o projeto se encontrava. Por conta disto, foi realizada uma correção dos elementos da estrutura em concreto armado, onde foram lançados todos os pilares e a fundação, como também foram acrescentadas as vigas faltantes no pavimento da cobertura e no reservatório.

Por consequência dos ajustes e complementos realizados na estrutura, surgiram algumas interferências, como sobreposições e deslocamento de elementos. Na Figura 01, observa-se uma destas incompatibilidades. Devido a não previsão inicial de pilares, ocorreu a sobreposição dos mesmos com as paredes e, em decorrência desta falha, surgiram novas interferências nos cantos das portas e requadros dos vãos das esquadrias. Assim, houve necessidade de ajustes de largura em algumas janelas.

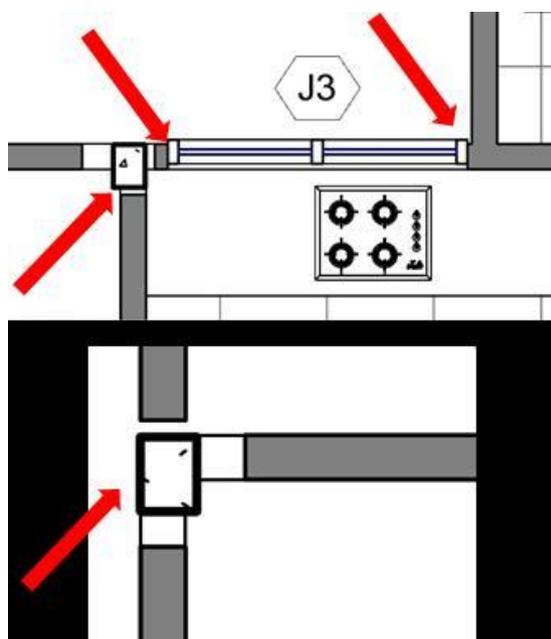


Figura 1 - Interferência por sobreposição dos pilares e das paredes
Fonte: Elaboração dos autores

Ainda em relação à interferência gerada nas esquadrias, caracteriza-se como uma falha grave, proveniente da falta de integração entre os projetistas. Não só apenas pelo fato do retrabalho em projeto para se ajustar graficamente esta sobreposição, mas sim pelas consequências que esta falha geraria.

Em muitos casos estes erros persistem até a execução, onde vão ser observados apenas nas etapas de marcação e levantamento das alvenarias, etapa em que se torna complexa e custosa a alteração de projetos.

Após todo o lançamento e ajustes necessários, conforme pode-se visualizar na Figura 2, o projeto estrutural foi finalizado já com uma pré-compatibilização entre o mesmo e o projeto arquitetônico.

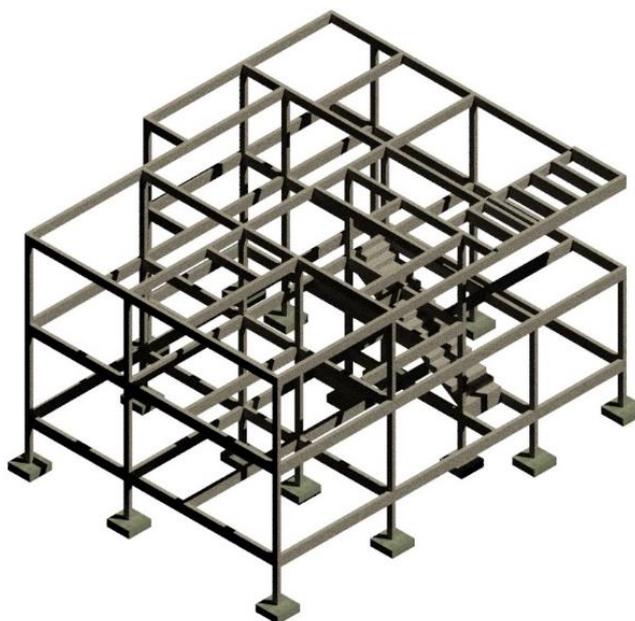


Figura 2 - Projeto estrutural em concreto armado finalizado
Fonte: Elaboração dos autores

Esta análise prévia de interferências aumentou a precisão no desenvolvimento dos demais projetos, pois os pontos críticos e de possíveis interferências com novas informações já haviam sido identificados. Por fim, em uma visão geral da elaboração do projeto estrutural, as interferências encontradas com mais frequência, decorrentes da estrutura estar incompleta, foram as incompatibilidades entre paredes-pilares, paredes-vigas, paredes-esquadrias e esquadrias-estrutural, as quais surgiram em grande quantidade.

4.2 Modelagem dos Projetos Elétrico e Hidrossanitário

Em continuidade ao estudo, tomando por base os projetos elétrico e hidrossanitário existentes em CAD, realizou-se a modelagem dos mesmos utilizando o software *Autodesk Revit MEP*. Devido ao BIM utilizar um modelo único de projeto para cada empreendimento foi possível realizar o lançamento dos projetos elétrico e hidrossanitário a partir do arquitetônico e

do estrutural já finalizados. Esta situação trouxe muitos benefícios, pois possibilitou uma compatibilização manual simultânea. Muitas interferências, que não seriam facilmente identificadas durante o processo dos projetos em CAD 2D, foram destacadas com facilidade por conta da maior visibilidade que o projeto tridimensional proporcionou.

Da mesma maneira que ocorreu com os projetos arquitetônico e estrutural, incompatibilidades existentes nos projetos 2D originais e que, visivelmente acarretariam interferências, foram deixadas propositalmente como forma de demonstração das falhas geradas nos projetos elaborado no sistema CAD 2D. Esta consequência demonstra uma das vantagens que o BIM 3D ofereceu, pois determinadas interferências não são facilmente identificadas ou nem são perceptíveis em 2D, fato corroborado na pesquisa de Maria (2008).

Inicialmente foi modelado o projeto elétrico, mas devido à falta de padronização dos elementos elétricos, em relação ao padrão brasileiro, no software utilizado, como também da existência de algum *add-on* que auxilia o processo, foi encontrada uma grande dificuldade em relação ao funcionamento do *template* elétrico, especialmente com a adaptação relacionada à falta de elementos padronizados, tanto com relação às normas brasileiras como com as tipologias dos elementos utilizadas nos projetos elétricos baseados na NBR 5410.

Os elementos disponíveis no software eram, em sua maioria, incompatíveis com os padrões brasileiros, no entanto devido ao fato de serem objetos paramétricos, na medida do possível foram alterados e adaptados e os demais foram apenas reconfigurados. Por fim, todos os elementos elétricos foram lançados e posicionados conforme o projeto original em CAD, finalizando assim o lançamento do projeto elétrico dos dois pavimentos.

Em relação à funcionalidade do aplicativo o mesmo apresentou uma grande agilidade ao processo, pois alguns elementos são lançados automaticamente a partir de outros existentes. Isto ocorreu devido às configurações paramétricas dos objetos utilizados, pois houve um entendimento automático dos mesmos em relação à função e posicionamento em projeto.

As falhas e interferências identificadas com mais frequência foram apenas situações das caixas de tomadas e interruptores que estavam posicionadas em locais que ocasionariam a passagem dos seus respectivos eletrodutos dentro da estrutura.

Simultaneamente, o projeto hidrossanitário foi modelado com a utilização do *add-on* MEP Hidráulica (antigo TigreCAD), que já possui uma padronização em relação a elementos hidrossanitários de acordo nas normas brasileiras.

Em relação à produtividade gerada pelo aplicativo, alguns elementos existentes do projeto arquitetônico, como os aparelhos sanitários, não possuíam pré-configurações de diâmetro e

posicionamento de tubulações de entrada e saída. Todavia, estes aparelhos foram transformados rapidamente em elementos pré-configurados e, mesmo assim, constatou-se um ganho de tempo e precisão muito grande em relação ao projeto 2D em CAD.

Nesta etapa, foi encontrada a maior quantidade de elementos projetados em locais que iriam gerar incompatibilidades com a estrutura de concreto, tais como: a) prumadas de água fria e quente, dispostos dentro de vigas; b) tubulações de água e esgoto passando dentro de elementos estruturais; c) previsão de tubo de queda do pavimento superior em local sem alvenaria e estrutural para *shaft* no pavimento inferior; d) utilização do duto de churrasqueira como *shaft* para tubulações; e) tomadas na mesma parede interligadas por eletroduto, porém com um pilar no meio; f) quadro de distribuição do pavimento superior locado em posição de interferência com uma porta; g) falta de locação do quadro de medição.

4.3 Comparação Representação dos Projetos CAD X BIM

Quanto à representação dos projetos elétrico e hidrossanitário, comparando o CAD 2D e BIM, percebeu-se que a modelagem 3D utilizada com software BIM possibilitou uma melhor interpretação e visão geral do projeto, sendo possível lançar alterar e identificar todos os elementos em 3D. As figuras 3 e 4 apresentam a comparação entre CAD 2D e BIM, referente ao projeto hidrossanitário.

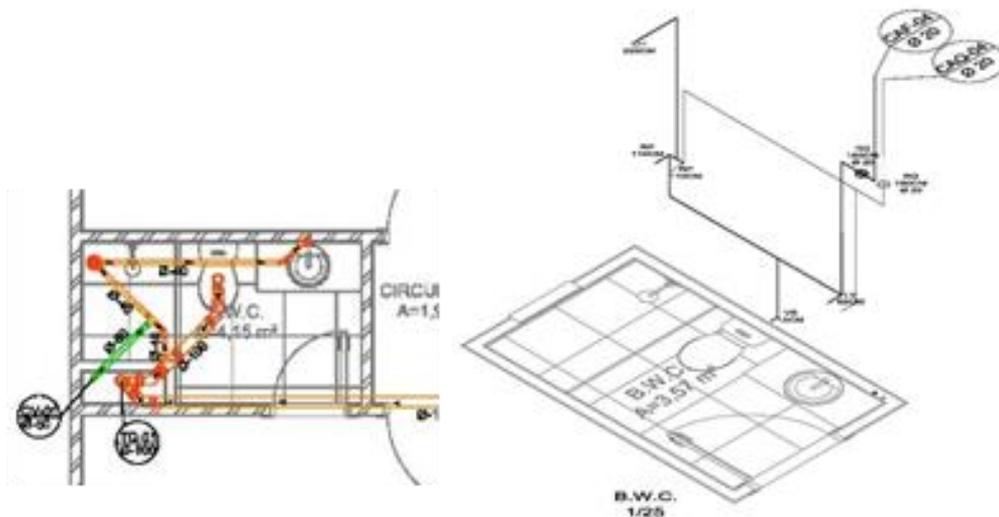


Figura 3 - Representação projeto hidrossanitário em CAD
Fonte: Elaboração dos autores

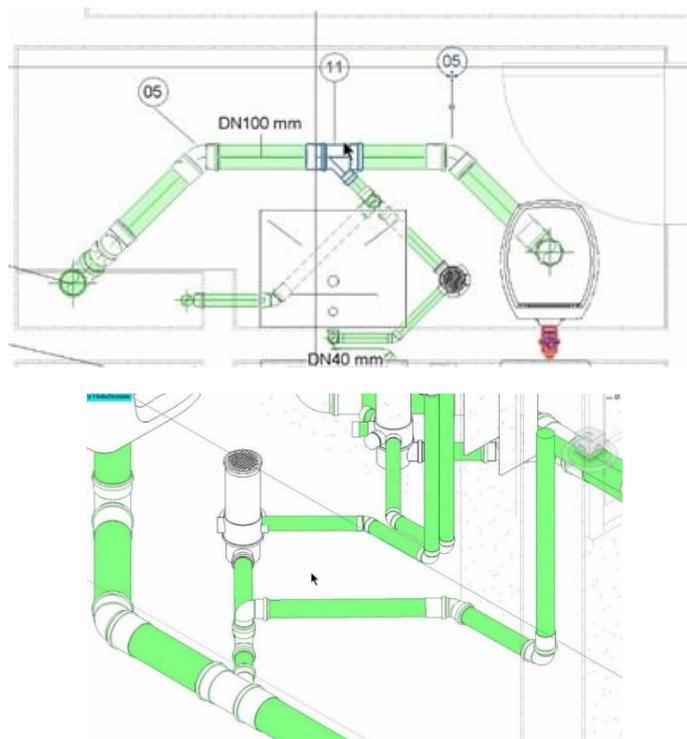


Figura 4 - Representação projeto hidrossanitário em BIM
Fonte: Elaboração dos autores

Uma das grandes vantagens identificadas no BIM, neste projeto, foi o fato de que os mesmos elementos são utilizados em distintas plantas e vistas e que, em CAD, necessitariam de replicação tantas vezes quanto fosse necessário. Isto devido à forma de trabalho bidirecional, quando o mesmo elemento pode ser apresentado em diversas vistas sem perder informação e representação.

Da mesma maneira, pode-se visualizar na Figura 5 o projeto elétrico em BIM, o qual, além das vantagens encontradas no projeto hidrossanitário, também apresentou a possibilidade de um controle total das dimensões e do posicionamento de todos os elementos do projeto, tubulações e conexões, tanto em 2D como em 3D, gerando uma visualização de possível interferências de forma fácil e antecipada. Em ambos os projetos, mas principalmente no projeto elétrico, o BIM propiciou uma visão com as dimensões e o posicionamento real de cada um dos elementos no espaço, situação que gerou uma redução significativa no esforço cognitivo do projetista em virtude da facilidade de visualização bidirecional de todos os elementos.

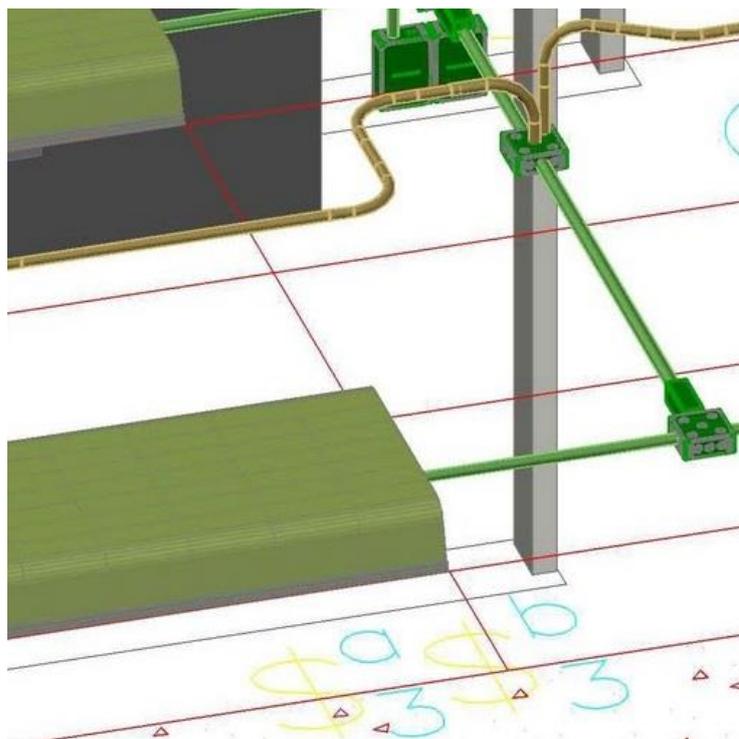


Figura 5 - Apresentação projeto elétrico BIM
Fonte: Elaboração dos autores

4.4 Compatibilização Digital

Em continuidade ao desenvolvimento do estudo, realizou-se a última etapa de compatibilização digital dos projetos por meio do software *Autodesk Naviswork Manager*, no qual os projetos foram comparados de acordo com o proposto na metodologia do presente trabalho.

Primeiramente, foram importados via IFC todos os projetos para o software e criou-se um ambiente 3D de compatibilização BIM, onde se tem uma visão ampla de toda a edificação. Com o auxílio do modo transparência é possível perceber o posicionamento de todos os elementos de projetos centrados em um modelo único.

Para uma melhor compreensão do processo de compatibilização, o software separou os tipos de interferências em três seções, nomeadas de: baixo, médio e alto. Por se tratar de um processo automatizado, para evitar trabalhos desnecessários, as interferências de nível baixo e médio foram desconsideradas, visto que costumam ser consequências das formas e concepções dos projetos, porém o aplicativo as identifica como falha. Uma destas situações descartadas, por exemplo, era pelo fato de tubulações hidrossanitárias e elétricas passarem por dentro de paredes, algo comum para o sistema de construção convencional utilizado no Brasil.

Na Figura 6, demonstra-se outra situação comum no nosso processo de construção, porém detectada como interferência baixa, que é a do marco da esquadria de madeira fixado nas laterais e abaixo do nível do piso pronto, dentro do contrapiso.

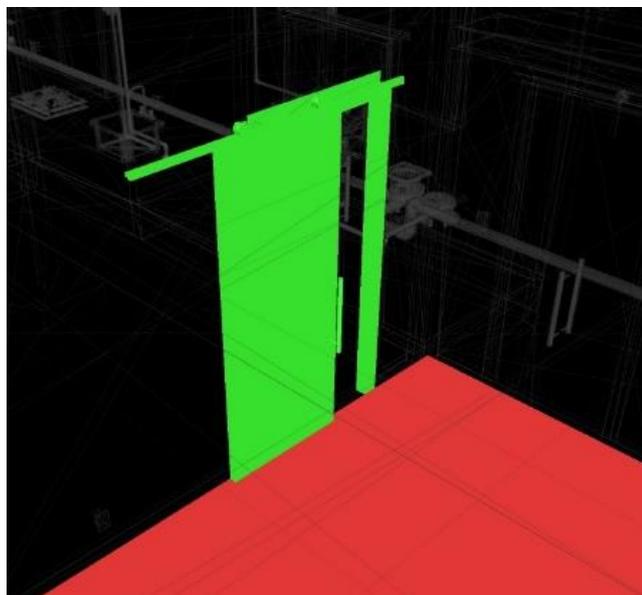


Figura 6 - Marco esquadria entrando no piso

Fonte: Elaboração dos autores

4.5 Compatibilização Digital Arquitetônico x Estrutural

Na Figura 7, pode-se observar a interferência por sobreposição dos elementos entre o box do banheiro social e a escada em concreto armado, situação que impossibilita o funcionamento de ambos elementos. Este tipo de interferência provém da falta de visibilidade bidirecional 3D dos elementos simultaneamente ao lançamento dos mesmos.

Ainda em relação às interferências entre os projetos arquitetônico e estrutural, observou-se a sobreposição da parede com a viga. Esse erro pode dobrar o quantitativo de materiais e prejudicar a execução da estrutura em concreto armado. No BIM esta situação não ocorreria, pois as propriedades paramétricas das paredes posicionariam a mesma em relação à viga, ou seja, descontaria a altura da viga em relação ao pé-direito definido.

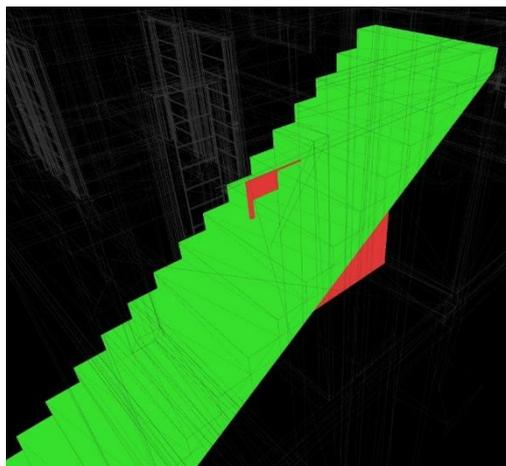


Figura 7 - Box do banheiro social cruzando a escada estrutural
Fonte: Elaboração dos autores

4.6 Compatibilização Digital Arquitetônico x Estrutural x Elétrico x Hidrossanitário

Após a identificação das interferências entre os projetos arquitetônico e estrutural, estes foram compatibilizados com os projetos elétrico e hidrossanitário. Na Figura 8 pode-se observar a incompatibilidade entre elementos do projeto elétrico e do arquitetônico, no qual o quadro de distribuição do pavimento superior está em conflito com a porta de acesso do pavimento.

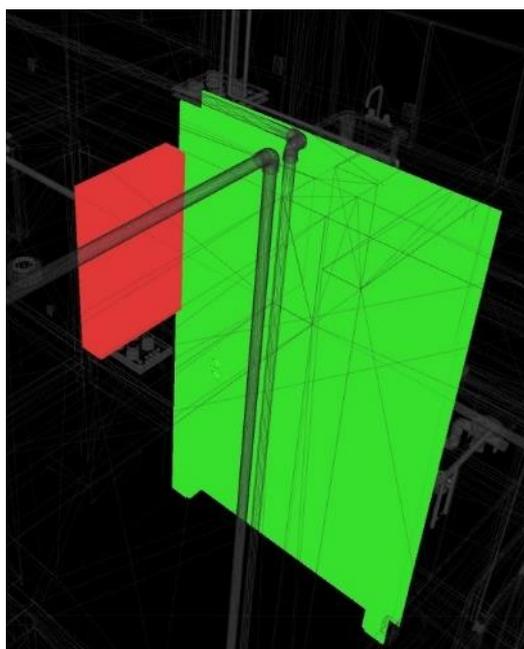


Figura 8 - Quadro de disjuntores elétrico posicionado em interferência com uma esquadria
Fonte: Elaboração dos autores

A Figura 9 destaca a incompatibilidade entre elementos do projeto elétrico e do estrutural, onde foi previsto no projeto original uma prumada elétrica no mesmo alinhamento vertical de uma viga estrutural. Ressalta-se que esta situação em determinados projetos é usual, porém quando prevista previamente no dimensionamento dos elementos estruturais, pois, caso contrário, pode gerar uma redução da resistência do elemento estrutural como também dificuldade na montagem das formas.

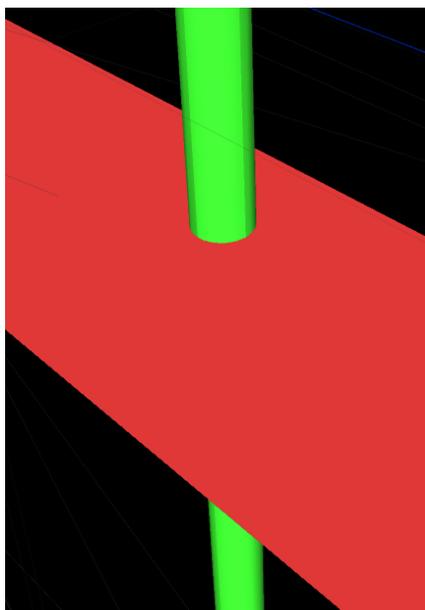


Figura 9 - Eletroduto passando dentro de uma viga
Fonte: Elaboração dos autores

As situações nas quais os eletrodutos passam dentro de vigas para chegarem até a laje foram descartadas, pois são usuais no sistema construtivo brasileiro e também não interferem na execução da obra. Este tipo de interferência caso não seja previamente dimensionada no projeto estrutural pode causar danos estruturais a viga, como também dificuldade e atraso na montagem da viga.

Outra interferência grave identificada, proveniente de uma falha de comunicação entre os profissionais e também pela falta de uma visão bidirecional dos elementos projetos, conforme se observa na Figura 10, foi a interferência entre elementos do projeto arquitetônico e do projeto hidrossanitário. Uma tubulação de água fria passando por dentro de uma esquadria.

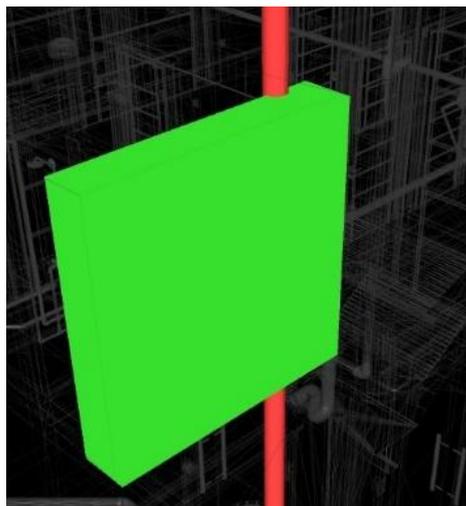


Figura 10 - Tubulação de ventilação de esgoto passando dentro de janela
Fonte: Elaboração dos autores

Por fim, uma das incompatibilidades mais graves e frequentes encontradas na compatibilização digital foram a de tubulações do projeto hidrossanitário cruzando-se entre si. Esta situação demonstra uma falta de visão geral do projeto, pois em 2D interferências como estas são dificilmente perceptíveis por estarem no mesmo plano horizontal, quando deveriam estar em alturas diferentes.

4.7 Análise da Interoperabilidade IFC

Para a análise da interoperabilidade entre as ferramentas, buscou-se movimentar os modelos digitais dos projetos por intermédio do IFC, no entanto, mesmo sendo todos os aplicativos desenvolvidos pela mesma empresa, em determinado momento não houve a possibilidade da utilização do IFC.

Um dos fundamentos do BIM é a utilização de um modelo único para uma maior segurança e continuidade das informações, evitando redundância no processo. Todavia, houve situações que, ao exportar o modelo em IFC, todos os elementos eram armazenados com segurança e qualidade. Porém, ao serem importados em outro aplicativo, alguns elementos, como, por exemplo, as paredes sobrepostas em pavimentos diferentes, que não poderiam ser eliminadas, acabavam sendo automaticamente excluídas pelo aplicativo.

Cabe ressaltar que, ao exportar os modelos dos projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário para o aplicativo *Autodesk Naviswork Manager*, o mesmo interpretou com total clareza todos os elementos, possibilitando a compatibilização entre os projetos de forma objetiva e funcional. Para continuidade do estudo, devido aos aplicativos serem da

mesma empresa, quando necessário os arquivos foram importados e exportados por meio de extensões próprias dos aplicativos para evitar inconsistências.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados do presente estudo percebeu-se que nas etapas de desenvolvimento e compatibilização de projetos para construção de edificações são necessárias mudanças e evoluções mais profundas em relação ao déficit de qualidade e produtividade que o ciclo atual produtivo em 2D apresenta. Pode-se indicar fatores como as falhas provenientes de projetos e o processo de gestão e planejamento de projetos falhos, os quais geram retrabalhos, provenientes de falhas por meio de retroalimentações de informações redundantes e desperdício de materiais, os quais acabam onerando o custo do empreendimento.

Com base nesta ideia, percebe-se a necessidade de melhoria contínua, mais ampla no setor de arquitetura, engenharia e construção nacional por meio de novas tecnologias como o BIM, o IPD, entre outros, ou seja, investimentos que possibilitem a organização e a padronização dos processos, principalmente no âmbito da construção civil, setor onde ainda se trabalha com margens muito grandes de desperdícios e retrabalhos, seja nas fases de projetos ou de construção.

Entende-se que o BIM potencializa o desenvolvimento de aplicações para a gestão de projetos e construção, pois além de controlar todas as fases de projeto e execução, racionaliza os processos de tomadas de decisão. Esta ferramenta traz significativos benefícios à construção civil como um todo e, por consequência, aos adjacentes a ela, pois permitem cumprir como maior eficiência e eficácia não só os objetivos e os valores integrados no empreendimento, como também os da própria organização.

Além disso, entende-se que é essencial que os profissionais comecem a estreitar suas comunicações dentro de cada projeto a ser desenvolvido, como um benefício não apenas para os profissionais, que terão mais segurança em seus projetos, como também para os clientes, que terão um produto final com uma qualidade.

Percebe-se que as falhas nos processos de projetos desenvolvidos pelos profissionais em atuação, são reflexos da falta de integração e colaboração. Neste sentido a educação tem papel fundamental neste processo, considerando que atualmente na maioria das escolas de engenharia civil e arquitetura, não existe integração entre os cursos para incentivar os futuros profissionais

em relação ao trabalho colaborativo e integrado, como também pouco se vê a implementação do BIM nos currículos.

Originais recebidos em: 21/11/2015

Aceito para publicação em: 03/08/2017

APPLICATION OF BIM IN THE COMPATIBILITY ANALYSIS OF BUILDING DESIGNS

ABSTRACT: This study aims to analyze the functionality and applicability of some of the existing BIM (*Building Information Modeling*) tools in order to contribute to the compatibility analysis of construction designs. The main BIM concepts and definitions are presented, such as interoperability and parametric modeling. Situations inherent to new approaches and cultural changes regarding design are addressed based on the BIM work flow, focusing on improved collaboration and integration between professionals. The proposed methodology results in the monitoring of the conception of a design of a two-story multi-family building based on a three-dimensional model of existing architecture in BIM and its complementary systems in CAD. The structural, electrical and sanitary system designs were drafted and modeled in the case study. Subsequently, the compatibility analyses between all designs were performed. From the obtained results the conclusion can be drawn that the differences between the CAD and BIM designs are expressive, being more significant for BIM since it offers great advantages when the work flow is concerned. However, BIM requires more technical knowledge regarding the way the work is done and the applications used, in addition to requiring more extensive information technology (IT) support. With respect to the integration among professionals, the results demonstrate that it is inherent and of great importance if a decrease in incompatibilities and, consequently, in costs is actually to occur.

Keywords: Interoperability. Collaboration. Integration. Compatibility analysis. BIM.

REFERÊNCIAS

AIA – AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated Practice | Integrated Project Delivery**. Washington, D.C., USA, 2008. Disponível em: <http://www.aia.org/about/initiatives/AIAS076981>. Acesso em: 24 maio 2014.

AIA – AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents**. Washington, D.C., USA, 2013. Disponível em: <http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab095711.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2014.

ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. **Projeto Performativo na Prática Arquitetônico Recente: Estrutura Conceitual**. 2012. 472 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ASL, Mohammad Rahmani et al. BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. **Energy and Buildings**, v. 108, p.401-412, dez. 2015.

CHECCUCCI, Érica de Sousa; PEREIRA, Ana Paula Carvalho; AMORIM Arivaldo Leão. Colaboração e Interoperabilidade no contexto da Modelagem da Informação da Construção (BIM). In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 15., 2011. Santa Fé. **Anais...** Santa Fé: Sigradi, 2011.

CLAYTON, Mark J. Downstream of Design: Lifespan Costs and Benefits of Building Information Modeling. In: AIA CONVENTION TAP CONFERENCE, 2008, College Station - Texas. **Proceedings...** College Station: A&M Texas, 2008.

DORNELAS, Ramon Lima. **A tecnologia BIM e o Gerenciamento da Integração: uma proposta colaborativa**. Belo Horizonte: PUC, 2013.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de Bim: Uma Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Construtores e Incorporadores**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483p.

GAO, G.; LIU, Y.; LIN, P.; WANG, M.; GU, M.; YONG, J. BIMTag: Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources. **Advanced Engineering Informatics**, out. 2015 (in press).

INTEGRATED Project Delivery. A Platform for Efficient Construction. Windham – Vermont – EUA. **Building Green**, out. 2009. Disponível em: <http://www2.buildinggreen.com/article/integrate-d-project-delivery-platform-efficient-construction>. Acesso em: 25 maio 2014.

JACOSKI, Cláudio Alcides. **Integração e Interoperabilidade em Projetos de Edificações: Uma Implementação com IFC/XML**. 2003. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

JALAEI, Farzad; JRADE, Ahmad. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 18, p. 95-107, nov. 2015.

KANG, Tae-wook; CHOI, Hyun-Sang. BIM perspective definition metadata for interworking facility management data. **Advanced Engineering Informatics**, out. 2015 (in press).

KIM, H.; ANDERSON, K.; LEE, S.; HILDRETH, J. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. **Automation in Construction**, v. 35, p. 285-295, nov. 2013.

MARIA, Mônica Mendonça. **Tecnologia BIM na Arquitetura**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 295 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOREIRA, Thomaz Passos Ferraz. **A influência da parametrização dos softwares CAD arquiteturais no processo de projeção arquitetônica**. 2008. 226 f. Dissertação (Mestrado e Arquitetura e Urbanismo). UNB - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RIBEIRO, Julio Tollendal Gomes Ribeiro. **Modelagem de Informações de Edificações Aplicada no Processo de Projeto de Aeroportos**. 2010. 133 f. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendência. São Carlos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, São Carlos. **Anais...** São Paulo: USP, 2011.

SOUZA, Livia Laubmeyer Alves de. **Diagnóstico do uso de BIM em empresas de projeto de arquitetura**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation In Construction**, v. 18, p. 357-375, mar. 2009.

YALCINKAYA, Mehmet; SINGH, Vishal. Patterns and trends in Building Information Modeling (BIM) research: A Latent Semantic Analysis. **Automation in Construction**, v. 59, p. 68-80, nov. 2015.