

# INTEROPERABILIDADE DE APLICATIVOS BIM USADOS EM ARQUITETURA POR MEIO DO FORMATO IFC

INTEROPERABILITY OF BIM APPLICATIONS USED IN ARCHITECTURE THROUGH THE FORMAT IFC

 10.4237/gtp.v4i2.102

Max Lira Veras X. de ANDRADE

Professor UFAL, Doutorando FEC/ UNICAMP  
| [maxndrade@uol.com.br](mailto:maxndrade@uol.com.br) |

Regina Coeli RUSCHEL

Professora Doutora DAC/ FEC/ UNICAMP  
[regina@fec.unicamp.br](mailto:regina@fec.unicamp.br)

## RESUMO

O conceito do *Building Information Modeling* (BIM) pressupõe a interoperabilidade e a colaboração entre os profissionais da indústria da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC). Todavia, estes profissionais exploram pouco o recurso da colaboração no processo de projeto com o BIM, além do mais, se os aplicativos BIM não possuírem robustez na interoperabilidade a atividade de colaboração e cooperação pode ser ainda mais dificultada. Visando diagnosticar a eficiência dos aplicativos BIM no uso do recurso da interoperabilidade, o presente trabalho empreende um esforço para identificar as principais não conformidades na troca de informações dos modelos do edifício produzidos em aplicativos BIM, voltados para arquitetura. Além do mais, discute como estes aplicativos tratam as informações de mesmas famílias de objetos. Este artigo inicia com uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de colaboração, interoperabilidade e *Industry Foundation Classes* (IFC). Em seguida modela um edifício de dois pavimentos nos aplicativos ArchiCAD e Revit. Salva os modelos em arquivos no formato IFC. Importa os arquivos IFC pelo ArchiCAD, Revit e dois aplicativos de visualização. Analisa as não conformidades dos arquivos importados. Os resultados mostram que: ocorrem perdas na qualidade dos modelos do edifício quando importados de arquivos no formato IFC; aplicativos BIM destinados à arquitetura apresentam limitações na informação do modelo do edifício (parte das informações são geradas apenas em 2D); existem não conformidades de padrão na definição das propriedades dos componentes apresentados por diferentes aplicativos BIM, voltados para arquitetura. Como sugestão apresenta exemplo bem sucedido de sistema de compartilhamento de modelos BIM. Para finalizar, mostra que os tradutores de IFC, apesar das melhorias das últimas versões, ainda não são robustos o suficiente para transportar os dados do modelo com a qualidade do original.

**Palavras-chaves:** *Building Information Modeling*, projeto arquitetônico, interoperabilidade.

## ABSTRACT

The Building Information Modeling (BIM) concept emphasizes interoperability and collaboration between Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry agents. However, aside from the fact that these agents haven't explored all potentiality of technology supported collaboration, there is also the fact that BIM software are inefficient to allow fluent data exchange between different applications; therefore, making it more difficult to collaborate and cooperation through data sharing. In order to diagnose the maturity of BIM applications in interoperability resources, a study was developed to indentify the major non-conformities of building information models represented in the IFC format generated by architecture BIM authoring software. Therefore, this paper discusses how these applications handle information from the same families of objects when exported and imported to and from the IFC format. The first part of the article is a revision on collaboration, interoperability and IFC concept. Secondly, a two-story building in ArchiCAD e Revit software is presented. These models are exported to the IFC files format. Afterwards these IFC models are imported or opened in ArchiCAD, Revit and two IFC visualization software and analyses for non-compliance are executed. The results show: losses in consistence of the data model, when building models are imported from IFC models; architectural design BIM software are limited in information model of the building (partial information model are generated in 2D); there is no pattern in design model property, each software develops their own pattern. As a suggestion this paper shows a case

of sharing system model, as a successful application of BIM interoperability in AEC industry. In short it shows that IFC, despite improvements in recent versions, are not yet robust enough to support all data representations of building information model for complete exchange between AEC applications.

**Key-words:** Building Information Modeling, architectural design, interoperability.

## 1. INTRODUÇÃO

A idéia que sustenta o uso do *Building Information Modeling* (BIM), na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), se apóia nos conceitos de parametrização, interoperabilidade e na colaboração entre os diversos profissionais deste setor. Assim, para a consolidação do BIM é necessário o desenvolvimento das tecnologias de modelagem paramétrica e de interoperabilidade. Além do mais, é importante mudar as posturas dos profissionais da AEC, por meio de atitudes colaborativas, que visem à multidisciplinaridade e evitem a fragmentação do setor. Porém, apesar das diversas tentativas, a colaboração na AEC ainda não é tão bem sucedida, quando comparado a outros setores da indústria (EASTMAN *et al.*, 2008).

Buscando discutir o uso de aplicativos BIM no desenvolvimento de projetos de arquitetura o presente trabalho avalia a eficiência do ArchiCAD (*Graphisoft*) e do Revit Architecture (*Autodesk*) no uso dos recursos de interoperabilidade. O trabalho aborda a interoperabilidade principalmente por meio do uso do *Industry Foundation Classes* (IFC), como instrumento de troca de dados.

A versão IFC tratada neste trabalho (IFC2x3) contém especificação de mais de 600 classes de objetos, abrangendo uma parte substancial das informações que são necessárias para a representação do modelo do edifício. Apesar disso, algumas características particulares do setor da construção civil dificultam a efetiva integração dos modelos do edifício deste setor. Entre estas características destacam-se: a profunda fragmentação do setor, a construção de produtos únicos, a grande variedade de produtos e detalhes, o apego à métodos tradicionais de trabalho e o crescimento da exigência do setor. Mesmo assim, ações efetivas vêm sendo feitas no sentido de incentivar o uso do IFC como padrão de troca de informações do modelo do edifício.

A forma empregada, neste trabalho, de avaliar a eficiência dos aplicativos BIM no recurso da interoperabilidade será por meio da identificação das principais falhas na troca de informações do edifício feitas por arquivos no formato IFC. Também

será discutido como a variação no padrão de tratamento de informações de mesmas famílias de objetos pode dificultar a interoperabilidade.

Este trabalho inicia com uma revisão na literatura sobre comunicação, colaboração, interoperabilidade e, especificamente, IFC. Empreende uma pesquisa em aplicativos BIM, voltados para arquitetura, buscando não conformidades nos fluxos de informações sobre o modelo arquitetônico do edifício. Em seguida discute um exemplo bem sucedido de sistemas de compartilhamento de modelos BIM. Por fim, apresenta algumas conclusões sobre a interoperabilidade e o uso do IFC por aplicativos BIM voltados para o projeto de arquitetura.

## **2. BIM NOS PROJETOS DE ARQUITETURA**

### **2.1 COMUNICAÇÃO E COLABORAÇÃO NO PROCESSO DE PROJETO**

Um dos principais problemas no desenvolvimento de sistemas BIM está na falta de entendimento destes pelos profissionais da indústria da AEC. O BIM enquanto processo de trabalho envolve, sobretudo, a comunicação e a colaboração entre diferentes profissionais e empresas ligadas à AEC. Todavia, o que se observa é que poucas empresas e profissionais que utilizam ferramentas BIM buscam a padronização e a colaboração. Esta colocação é comprovada por Kiviniemi *et al.* (2008) que demonstram que muitos dos profissionais da AEC utilizam softwares BIM como ferramentas de CAD melhoradas, sem, contudo, mudarem os seus processos de trabalho, já consolidados.

Esta tese, defendida pelos autores supracitados, é comprovada por uma pesquisa realizada nos países nórdicos que mostra que o principal motivador para o uso do BIM na atividade de projeto arquitetônico é a facilidade de geração de quantitativos (aproximadamente 23% dos arquitetos geram quantitativos a partir dos modelos BIM), seguido pela checagem de conflitos (cerca de 21%). A maioria das tarefas executadas pelos arquitetos nos aplicativos BIM se limita àquelas disponibilizadas internamente nos softwares utilizados, sendo pouco comum o uso de arquivo visando à interoperabilidade. Apenas 1/3 dos arquitetos que usam o BIM empregam arquivos no formato (IFC) (KIVINIEMI *et al.*, 2008).

Khemlani (2007) mostra, a partir de dados de uma pesquisa realizada pela AECbytes, que o mais importante critério na escolha do BIM é a habilidade de produzir documentos finais de construção, sem precisar de usar outras ferramentas complementares. A pesquisa aponta que questões relacionadas à integração, ao 4D e ao IFC são consideradas como pouco expressivas.

Para Khemlani (2007), os principais critérios para a escolha de um software BIM são: capacidade de uma produção completa de documentação do edifício (sem necessitar de usar outros aplicativos); objetos inteligentes (que possibilitem uma relação associativa e conectiva com outros objetos); e, disponibilidade da biblioteca de objetos. Khemlani (2007) mostra que os arquitetos, muitas vezes, limitam as tarefas àquelas que podem ser executadas por um único aplicativo BIM. Tarefas colaborativas e capacidade de exportar e importar arquivos em formatos universais não são critérios significativos para a escolha de aplicativos BIM.

Estas considerações mostram que o uso de aplicativos BIM ainda aparece como um evento fragmentado (TOBIN, 2008). Nesta interpretação, o desenvolvimento do projeto do edifício aparece como uma atividade fragmentada, estabelecida por produtos independentes produzidos por cada disciplina.

Segundo TOBIN (2008), o quadro atual retrata o estágio inicial do BIM, denominado de BIM 1.0. Este se caracteriza por um franco crescimento e difusão do uso de modelos BIM, ainda pouco vinculados a um crescimento nos padrões de interoperabilidade entre os aplicativos. Nestes, as trocas de dados ocorrem, muitas vezes, baseadas em elementos puramente geométricos. Mesmo assim, a habilidade e a confiabilidade na troca de dados entre diferentes aplicativos têm crescido significativamente, nos anos recentes (KIVINIEMI *et al.*, 2008).

## **2.2 A INTEROPERABILIDADE**

O processo de projeto envolve muitas fases e diferentes participantes. Estes necessitam trocar informações ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, da construção e do uso. Porém, dificuldades na troca da informação, devido à baixa interoperabilidade, aparecem como fatores limitantes do uso do BIM no processo de projeto. A interoperabilidade é aqui entendida como a capacidade de identificar os dados necessários para serem passados entre aplicativos (EASTMAN *et al.*,

2008). Se existe uma boa interoperabilidade se elimina a necessidade de réplica de dados de entrada, que já tenham sido gerados, e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos, durante o processo de projeto.

Para que se tenha uma boa interoperabilidade é de fundamental importância a implementação de um padrão de protocolo internacional de trocas de dados nos aplicativos e nos processos do projeto. O principal protocolo usado hoje é o *Industry Foundation Classes (IFC)*, que é um modelo de dados do edifício baseado em objetos, não proprietário. Mesmo assim, o que se observa na prática, de acordo com Kiviniemi *et al.* (2008), é que o uso de padrões IFC atende a requisitos para certas tarefas, deixando, contudo, que muitas outras tarefas não sejam suportadas por este formato. Um dos maiores obstáculos para a adoção do IFC é a perda de robustez na interface disponível nos aplicativos, tornando isso um grande obstáculo para um amplo e voluntário uso do IFC como protocolo preferido para troca de dados do edifício.

Ao mesmo tempo em que existe um desconhecimento por parte dos usuários sobre quais são os propósitos do uso do IFC nos aplicativos disponíveis, parece haver também um grande desinteresse das organizações vinculadas à indústria da AEC pelo aperfeiçoamento do IFC. Isto, segundo Kiviniemi *et al.* (2008), é em decorrência de que o conceito de BIM ainda não teve uma plena penetração no mercado e que o reuso de dados ainda é uma tarefa muito limitada. A maioria das empresas da indústria da AEC não considera o modelo baseado na integração como algo importante.

### **3. O IFC**

Para a passagem de dados entre aplicativos são utilizados arquivos baseados em diferentes formatos de trocas. Alguns destes aplicativos apresentam maior capacidade de interoperabilidade, outros se limitam à trocas internas. A necessidade de troca de dados entre aplicativos não é algo recente na construção civil. Desde os primeiros aplicativos CAD 2D já existiam formatos capacitados para troca de algum tipo de dado.

Existem basicamente quatro diferentes maneiras de trocas de dados entre dois aplicativos BIM (EASTMAN *et al.*, 2008): **ligação direta, formato de arquivo de troca de proprietário, formatos de arquivos de trocas de domínio público e formatos de troca baseados em XML**. O primeiro acontece quando ocorre uma ligação direta entre dois aplicativos, utiliza-se um formato binário de interface (exemplo: GDL, MDL). O **formato de arquivo de troca proprietário** são formatos desenvolvidos por organizações comerciais para estabelecerem interface entre aplicativos diferentes (exemplos: DXF, 3DS). Os formatos de arquivos de trocas de domínio público envolvem um padrão aberto de modelo de construção. Estes carregam propriedades de objetos, materiais, relações entre objetos, além das propriedades geométricas. São interfaces essenciais para uso em aplicativos de análise e gerenciamento de construção (exemplos: IFC, CIS/2). Os formatos de troca baseados em *eXtensible Markup Language* (XML) são extensões do formato **HTML**, que é a língua base da Web. Permitem a criação de esquemas definidos pelo usuário (exemplos: XML, gbXML).

Para Eastman *et al.* (2008) os dois principais modelos de troca de dados de domínio público do produto da construção civil são *CIMsteel Integration Version 2* (CIS/2) e o *Industry Foundation Classes* (IFC). O CIS/2, segundo estes autores, é um formato desenvolvido para ser usado em projetos de estruturas em aço e na fabricação. O IFC, segundo a *International Alliance for Interoperability* (2008), é um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o *Building Information Models*. O IFC é um formato para ser usado no planejamento do edifício, no projeto, na construção e gerenciamento. Para Fu *et al.* (2006), é um tipo de linguagem que foca na modelagem do produto e processos da indústria da AEC/ FM (*Facility Management*). O IFC é o principal instrumento pelo qual é possível estabelecer a interoperabilidade dos aplicativos de software da AEC/ FM.

Bell e Bjørkhaug (2007) colocam como formato base para ser usado num edifício inteligente, IFC agregado ao *Information Framework for Dictionary* (IFD) e ao *Information Delivery Manual* (IDM). Para Haagenrud *et al.*(2007) o IFD, consiste no desenvolvimento de uma biblioteca internacional de objetos para a indústria da AEC/FM que é compatível com o IFC e que pode ser utilizado para obter informações mais detalhadas dentro e fora de um projeto de edifício. Estes autores

acrescentam que o IFD é uma identidade alternativa para o modelo conceitual da ISO 12006 Parte 3. Com o IFD é possível criar uma identidade própria ao objeto (identidade única) o que facilita a interoperabilidade. O IDM, para Kiviniemi *et al.* (2008), é um padrão que define qual especificação de uso um objeto deve ter.

O uso destas linguagens de comunicação tem permitido, paulatinamente, a exploração dentro do BIM, de ferramentas capazes de ler dados referentes a questões múltiplas de informação do projeto, como questões de acessibilidade, sustentabilidade, eficiência energética, custeio, acústica, térmica, etc. (FU *et al.*, 2006).

### 3.1 ORIGEM DO IFC

Os primeiros esforços no desenvolvimento do IFC surgem entre as doze principais organizações americanas ligadas à AEC, por meio da *Industry Alliance for Interoperability*, em 1994. Em seguida é expandido para a *International Alliance for Interoperability* (IAI) que é um consórcio internacional de empresas comerciais e instituições de pesquisa. Esta, inicialmente contava com sete países consorciados. Hoje conta com pelo menos vinte países (INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY, 2008a).

O objetivo da IAI, de acordo com Hyvärinen *et al.* (2006), é de buscar a interoperabilidade de softwares da indústria da AEC/FM por meio de uma base universal que permita a melhoria da comunicação, da produtividade, do tempo de entrega, do custo e da qualidade, por todo o ciclo de vida do edifício. Visando isso, o IFC foi desenvolvido especificamente como um meio de troca de dados, baseado em um modelo, entre aplicativos da indústria da AEC/ FM (KHEMLANI, 2004). Atualmente é solução presente nos aplicativos BIM e em muitos dos aplicativos de análise.

O IFC tem suas bases no padrão internacional conhecido como STEP (*Standard for Exchange of Product Model Data*). Este último surge em 1984, a partir de um esforço do *International Standard Organization* (ISO) em criar um padrão internacional de troca, o ISO-STEP. Este tinha como objetivo criar um padrão para representação e troca de informações de produto que seja internacional e de uso geral. O ISO-STEP tinha como principal produto a linguagem EXPRESS. O IFC se baseia na linguagem

e nos conceitos da ISO-STEP EXPRESS para o desenvolvimento e a definição dos modelos (KHEMLANI, 2004). O IFC foi projetado pensando em atender a todas as informações do edifício, durante todo o ciclo de vida da edificação.

Entre as diferentes versões do IFC cabe citar: IFC 1.5.1; IFC 2x (2000); IFC 2x-add1 (2001); IFC 2x2-add1 (2004); IFC2x3 (2006); IFC2x3-TC1 (2007); IFC2x4 *alpha* (2008); IFC2x4 *beta1* e *beta 2* (2009). O modelo do IFC2x3 (G) já agrega entidades que contém sistemas de informações geográficas (*Geographic Information System – GIS*).

### 3.2 PROPRIEDADES DO MODELO IFC

O IFC, de acordo com Haagenrud *et al.* (2007), é o termo usado para designar um esquema básico e um conteúdo de dados, composto de acordo com um padrão internacional, aberto e acessível ao público, para a estruturação e a troca de informações entre aplicativos computacionais voltados para a indústria da AEC/FM.

Para Eastman (1999), o IFC é o maior e mais elabora modelo de dados do edifício desenvolvido para a indústria da AEC/FM. Este é resultado de um consenso da indústria da construção sobre processos de projeto. Este modelo consiste em entidades que descrevem objetos físicos do edifício, conceitos abstratos, elementos relacionados com a AEC, processos, atores, etc. Como exemplo de tipos de entidades pode-se citar: a geometria, a topologia, os elementos do edifício, os equipamentos, os mobiliários, as relações entre elementos da construção, os espaços e as estruturas espaciais, os atores, os planos de trabalho, as classificações, a pesquisa e recuperação de informações sobre produtos. Algumas entidades do IFC são de domínio específico outros são genéricos (não fazem parte da plataforma).

Todas as entidades individuais são baseadas num IFC raiz (*IfcRoot*) e são constituídos por três categorias fundamentais: objetos, propriedades e relações. Os objetos estão associados à geometria. As propriedades são usadas para definir materiais, desempenho, propriedades contextuais, como ventos, dados geológicos ou de clima, etc. As relações existentes são entre objetos e entre objetos e propriedades. Elas são definidas de acordo com classificações abstratas como: específicas, decompostas, associadas, definidas, conectadas (Eastman *et al.*, 2008).

Nas definições do IFC também existem duas entidades que foram especificamente projetadas para aumentar a flexibilidade e a extensibilidade deste. Estas são os *ProxyObjects* e os *PropertySets*. Os primeiros permitem criar novas entidades que não tenham sido definidas nos modelos IFC. Estas entidades podem ser definidas como uma representação geometria colocada no espaço. Podem ter um significado semântico, serem definidas por atributos de nome, apresentarem definições de propriedades, etc. Podem ser usadas para criação de entidades específicas de uma localidade, como, por exemplo, peitoris ventilados. Os IFC *PropertySets* têm a capacidade de acrescentar propriedades que são variáveis, como códigos de edificação, classificações, etc., a uma entidade. Mesmo uma entidade que tenha uma propriedade universal e inequívoca, como uma parede, pode exigir a definição de uma série de outras propriedades que atendam as necessidades de empresas ou de uma localidade (HYVÄRINEN *et al.* 2006).

A arquitetura do IFC foi desenvolvida utilizando-se um conjunto de princípios de organização e estruturas. Estes princípios, de acordo com Haagenrud *et al.* (2007, p.22), apóiam-se em requisitos básicos e podem ser resumidos como: prover uma estrutura modular para um modelo de edifício; prover uma estrutura de compartilhamento de informações entre diferentes disciplinas da AEC/FM; facilitar a manutenção e desenvolvimento do modelo do edifício; habilitar modeladores de informação a reutilizar componentes de modelos; habilitar produtores de softwares para reutilização de componentes de software; e, permitir melhorias continuadas nas versões subseqüentes de modelos de edifício.

A arquitetura do IFC é constituída de uma estrutura modular composta por quatro camadas conceituais. Estas representam quatro principais níveis. Cada nível constitui-se de uma série de categorias. É dentro de cada uma destas categorias que as propriedades de uma entidade são definidas (EASTMAN, 1999). As camadas são: **camada de recursos**, **camada central**, **camada de interoperabilidade** e **camada de domínio** (Figura 1).

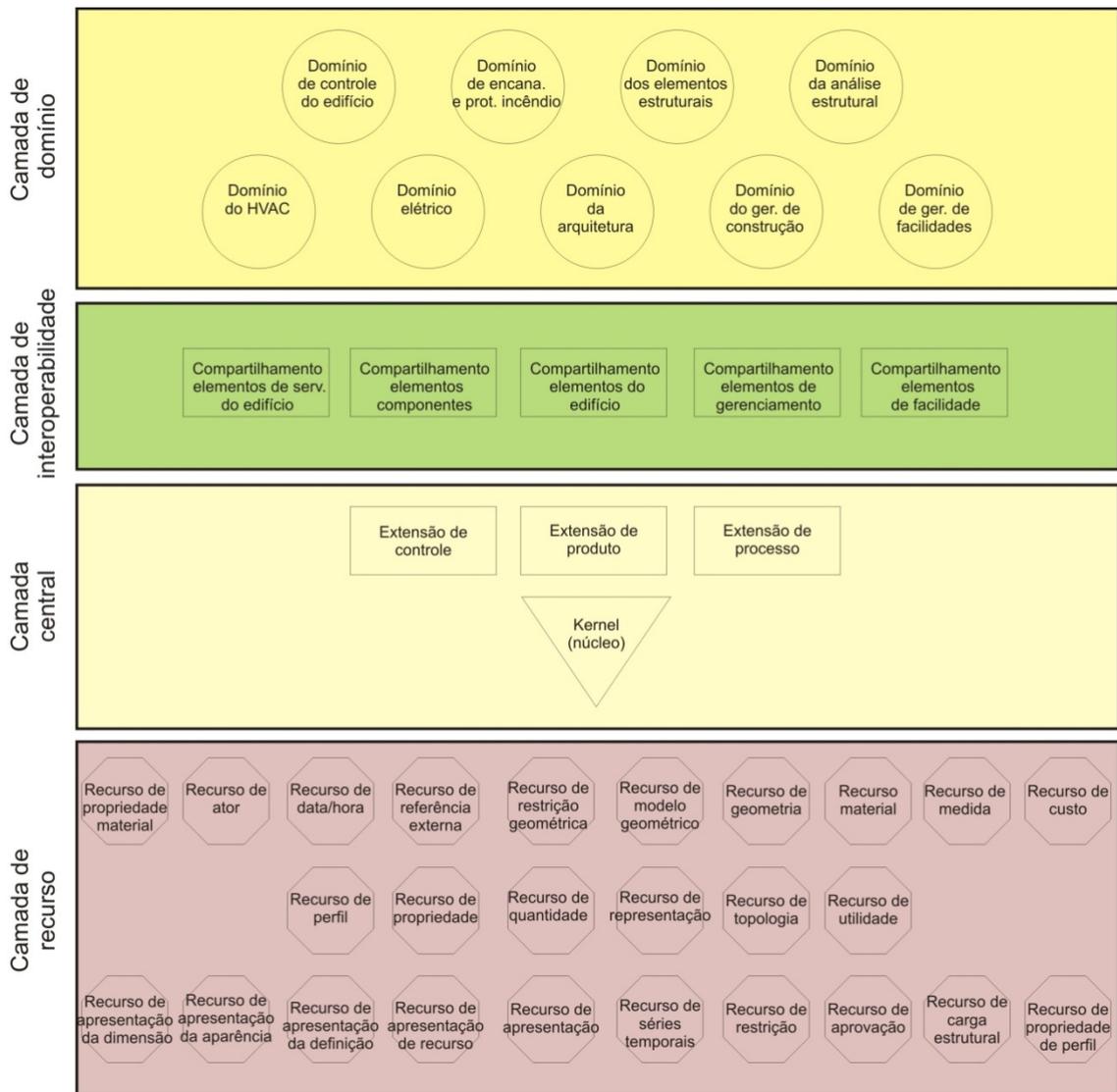


Figura 1: Arquitetura do modelo IFC.

Fonte: Adaptado de INTERNATIONAL ALIANCE OF INTEROPERABILITY (2008b)

### Camada de recursos

Esta camada contém categorias de entidades que representam as propriedades básicas dos objetos. Nesta estão incluídas utilidade, geometria, materiais, quantidades, medidas, datas e tempos, custos e todos aquelas que são genéricas, não requerem acessos de outros dados ou definições (EASTMAN, 1999; HYVÄRINEN *et al.*, 2006). Muitos dos recursos usados nesta camada foram adaptados do ISO-STEP. Como se pode ver na Figura 1 o IFC2x3 possui 26 módulos na camada de recursos, cada um deles é definido como um esquema separado.

Entre os vários módulos desta camada vale citar os recursos de propriedade e geometria. Os recursos de propriedades (*Property Resource*) definem tipos não técnicos e classes de objetos que tratam com materiais, classificação de uso, custo, tempo, etc. Os recursos de geometria (*geometry resource*) adotam as entidades de bases geométricas de localização, vetor, direção, ponto, curva e superfície.

### **Camada central**

Esta camada contém entidades que representam especificações industriais e não industriais e que fornece conceitos genéricos abstratos que são usados para definir entidades na camada superior. Este também pode acessar recursos da camada de baixo.

Entre os módulos desta camada destacam-se o cerne (*kernel*) e a extensão do produto (*product extension*). O cerne define a mais abstrata parte da arquitetura do IFC. O cerne direciona todos os níveis de objetos usuários, diferentes classes de relações e níveis mais abstratos de ajuda de modelagem. Este define conceitos centrais como ator, proposições gerais de mecanismos de agrupamento, seqüência de processos no tempo, produto, localização relativa de produtos no espaço. É usado nas entidades de mais alto nível dos modelos. A extensão de produto (*product extension*) define os conceitos básicos de objetos usados dentro do IFC para obter o significado destes conceitos como os usados na indústria da AEC/FM. Estes incluem elementos, espaços e a hierarquia de agregação de bases usadas no IFC, como sítio, edifício, pavimento, espaço e elementos no pavimento (EASTMAN, 1999; HYVÄRINEN *et al.* 2006).

### **Camada de interoperabilidade**

Esta camada fornece definições para objetos que são compartilhados entre diversos aplicativos utilizados na construção do edifício e no gerenciamento de facilidades.

Entre os módulos desta camada pode-se citar o modelo de compartilhamento de elementos do edifício (*shared building elements*) e o modelo de compartilhamento de facilidades de elementos (*shared facilities elements*). O primeiro possui uma definição completa de uma série de altos níveis de objetos que herdaram todas as propriedades dos elementos do edifício e os classifica de acordo com o tipo, como vigas, colunas, paredes, portas, janelas, etc. O modelo de compartilhamento de facilidades de

elementos tem definições de entidades de posse, ocupação, tipo de mobiliário, etc. (EASTMAN, 1999; HYVÄRINEN *et al.* 2006).

### **Camada de domínio**

A camada de domínio carrega definições de objetos que são necessários para domínios específicos, como arquitetura, engenharia estrutural, gerenciamento de facilidades, HVAC (*Heating Ventilation e Air-conditioning*). No domínio de arquitetura, por exemplo, fornece informações sobre o programa, com os espaços individuais, sobre adjacências (entre pares de espaços), etc.; em estrutura, fornece número de pavimentos; em HVAC informações sobre caldeiras, resfriadores, etc. (EASTMAN, 1999; HYVÄRINEN *et al.* 2006).

### **3.3 EXEMPLO DE DEFINIÇÃO DE ENTIDADE IFC**

Para elucidar como funciona uma entidade IFC cita-se aqui um exemplo apresentado por Khemlani (2004) para a representação da estrutura geral de duas entidades simples que são parede e espaço, representadas individualmente. A entidade Parede (*IFCWall*) é definida como um subtipo da entidade Elemento de Construção (*IFCBuildingElement*), que por sua vez é subtipo da Entidade Elemento (*IFCElement*), que é subtipo da Entidade Produto (*IFCProduct*), que é subtipo da Entidade Objeto (*IFCObject*), que é subtipo da Entidade Raiz (*IFCRoot*). Os atributos estão associados a cada tipo de entidade, de forma que a entidade parede herde todos os atributos das entidades superiores. Todos os supertipos são entidades abstratas, de forma que não pode ser criada uma instância desse tipo de entidade. Já a parede (*wall*) não é abstrata e está instanciada para criar um único objeto parede localizada no modelo do edifício. A maioria dos atributos de uma parede (tipo, forma, localização, quantidade, conexões, aberturas, etc.) é primeiramente definida pelo seu supertipo Elemento. No caso do espaço, segue-se uma lógica parecida: Entidade Espaço (*IFCSpace*), Entidade Elemento de Estrutura Espacial (*IFCSpatialStructureElement*), Entidade Produto (*IFCProduct*), este último apresenta a mesma entidade hierárquica da parede. Da mesma forma como na parede, a entidade Espaço, em si, não é abstrata e pode ser instanciado para criar um objeto particular no modelo do edifício (KHEMLANI, 2004, p.4).

Entre estas duas entidades podem existir associados vários tipos de relacionamentos. Por exemplo, é possível estabelecer um relacionamento específico de confinamento (*IFCReal ContainedSpatialStructure*) entre a parede e espaço. Esta relação acontece no nível do *IFCElement* (parede) e *IFCSpatialStructureElement* (espaço), o que significa que qualquer elemento (parede, viga, pilar, porta, etc.) pode estar associado com estruturas espaciais (espaço, pavimento, lugar, etc.) (KHEMLANI, 2004, p.4).

### 3.4 DESAFIOS NO USO DO IFC

Um aspecto fundamental do modelo IFC é que este é aberto e projetado para trabalhar com qualquer aplicativo. Por esse motivo ele é abstrato. Entidades de diferentes aplicativos podem ser combinadas e relacionadas de maneira única, de acordo com definições particulares. Mesmo os aplicativos BIM que são adaptados para trabalhar com o IFC, por apresentarem estruturas de organização de dados diferentes, quando importam um arquivo IFC, muitas vezes, apresentam problemas de tradução. Além do mais, estes aplicativos podem gerar arquivos grandes.

Outro aspecto importante, colocado por Khemlani (2004), é que, como as estruturas de dados de diferentes aplicativos nem sempre são as mesmas, pode haver problemas na tradução de dados por falta de repertório. Assim, o aplicativo vai ler e importar, a partir do modelo IFC, todas as entidades que fazem parte de seu repertório, mas aquelas que não existem no seu repertório não serão reconhecidas. Por outro lado, como o modelo IFC ainda não apresenta uma completude de todos os sistemas e processos da AEC, pode deixar de incorporar informações do modelo. O resultado é que apesar do IFC já atender a uma grande variedade de áreas da AEC (projeto arquitetônico, projeto estrutural, HVAC, integração de projetos, simulações, etc.) e poder ser utilizado por uma quantidade significativa de aplicativos, este ainda apresenta perdas que podem acontecer tanto na importação quanto na exportação do arquivo no formato IFC.

#### **4. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DO IFC EM APLICATIVOS DE ARQUITETURA**

O que se observa, a partir das considerações apresentadas acima sobre o IFC, é que este é fundamental para o desenvolvimento do BIM, pois é um dos principais elementos de efetivação da interoperabilidade. Ao mesmo tempo, acredita-se que incongruências e/ou perdas de informações são questões eminentes, devido à complexidade e à falta de padronização na construção civil. Logo, testes para avaliar a robustez da capacidade de tradução do IFC são fundamentais, principalmente como incentivos à sua utilização e desenvolvimento.

Por outro lado, se constata que existem poucas avaliações e relatórios que abordam a eficiência do IFC na prática da arquitetura. Um dos primeiros projetos de pesquisa voltados para a certificação foi o SPADEX (BACKAS, 2001), que foi um projeto que testou o uso de modelos de produtos e dados compartilhados num modelo IFC durante a simulação de um processo de projeto de edifício. Os resultados mostraram que a versão IFC 1.5.1 não era apropriada para o uso no dia a dia de projeto devido a perdas de informações, distorções de geometria, tamanho exagerado do arquivo IFC, problemas de responsabilidade legal, gerenciamento e utilização de dados no modelo, e variação na prática de modelagem de CAD. Outro projeto muito citado é o relatório do Stanford PM4D, que apresenta os resultados de uma ação multidisciplinar no sentido de testarem a utilização do IFC 1.5.1 em projetos compatíveis e sua utilização em planejamento (FISCHER; CAM, 2002). Já o *FZH Institute* desenvolvia pesquisas que testavam o uso do IFC em disciplinas específicas e avaliava sua interoperabilidade (<http://www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=796&L=1>). Outras pesquisas subseqüentes retratam a evolução do IFC e têm contribuído com a melhoria da interface a partir da detecção de deficiências das sucessivas versões (INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY, 2009; MA *et al.*, 2006; PAZLA; TURK, 2008). Kiviniemi (2007), por exemplo, faz análises de mecanismos de certificação dos aplicativos BIM e do desempenho da interoperabilidade de alguns aplicativos BIM usados na AEC.

É importante citar também o *IFC Certification Workshop* que, apesar de algumas críticas na maneira como o processo é realizado (KIVINIEMI, 2007), tem

contribuído com o processo de certificação e de detecção de problemas do IFC. Por fim é interessante citar o *National Institute of Building Sciences* (2007) que estabelece critérios para avaliação da capacidade de maturidade de aplicativos BIM, tomando como parâmetro várias áreas de interesse do BIM, entre as quais, a capacidade de interoperabilidade. É diante deste quadro ainda pouco elucidativo sobre a eficiência dos aplicativos BIM, no requisito de interoperabilidade, que o presente trabalho se insere.

A pesquisa busca a identificação de não conformidades nos fluxos de informações do modelo arquitetônico do edifício, produzidos em aplicativos BIM, voltados para o projeto de arquitetura. Para isso, empreende a verificação de como os aplicativos BIM (**ArchiCAD** e **Revit Architecture**), usados na elaboração de projetos arquitetônicos, trabalham o recurso da interoperabilidade.

A escolha destes dois aplicativos se deu por serem os mais utilizados por escritórios de arquitetura, na atualidade. Esta escolha é sustentada por Kiviniemi *et al.* (2008) que mostram dados de uma pesquisa organizada pela Bentley Systems junto a um grupo de profissionais da AEC, em âmbito internacional. Esta pesquisa indica o percentual de arquitetos que usam ou já usaram softwares BIM para o desenvolvimento de projetos de arquitetura. Nele o Revit Architecture aparece com 67%, o ArchiCAD com 32% e o terceiro colocado é o Bentley BIM que aparece com 15%.

#### **4.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO**

A primeira etapa do estudo consistiu em desenvolver um modelo digital de um edifício de dois pavimentos nos aplicativos ArchiCAD e Revit Architecture. Para isso estabeleceu-se um projeto de baixa complexidade em que fosse possível encontrar os componentes de construção mais usados, como lajes, paredes, pilares, portas, janelas, paredes cortinas, coberturas, peças sanitárias e escada. Utilizou-se para este estudo uma casa de dois pavimentos (Figura 2) desenvolvida por Krygie, Demchak e Dzambazova (2008).

Uma das questões fundamentais, quando se estuda a interoperabilidade entre dois aplicativos, é a semântica. Embora os aplicativos BIM tenham sido projetados para fins semelhantes, cada um destes contém uma representação própria interna de

artefatos semânticos (AMOR; MA, 2006). Logo, é possível que não ocorra uma perfeita interoperabilidade de semântica.

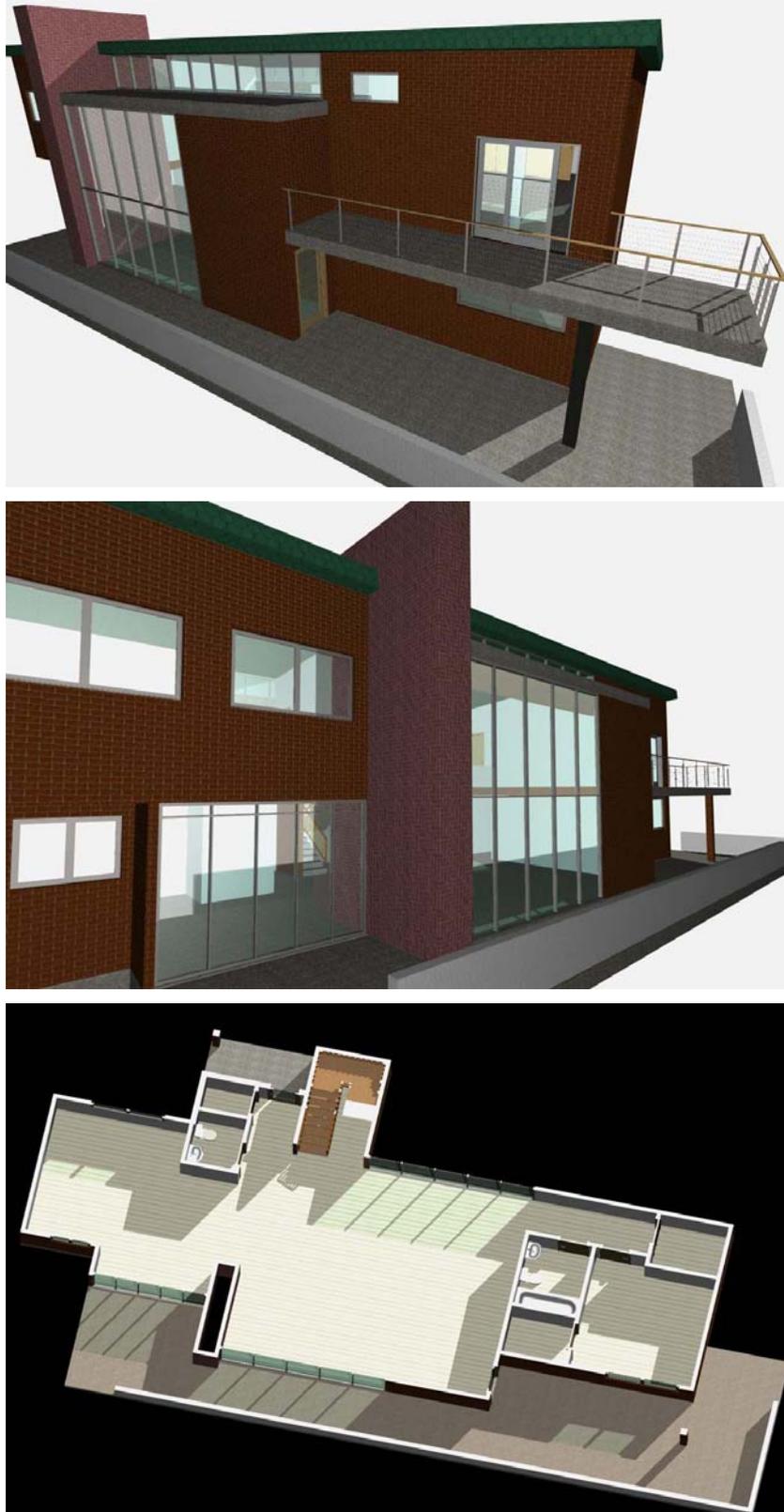


Figura 2: Modelo geométrico arquitetônico utilizado

Fonte: autor

Para testar isto se comparou o conjunto das propriedades associadas aos componentes dos aplicativos estudados (Quadro 1). O que se observou é que não existe um padrão para classificação das propriedades dos objetos, pois diferentes aplicativos apresentam grupos de propriedades e unidades de medidas diferentes para mesmos objetos. O resultado é que o gerenciamento das propriedades dos objetos entre diferentes aplicativos torna-se uma atividade difícil, resultando em perdas na qualidade da troca de dados entre diferentes aplicativos, mesmo utilizando um GUID (*Globally Unique Identifier*) nos modelos IFC.

ArchiCAD	Revit	ArchiCAD	Revit	ArchiCAD	Revit
Custo	Custo	Classe fogo	Taxa fogo	Operação IFC	Parâmetro IFC
Fabricante	Fabricante	Clas. acústica	–	Tam. porta	dimensões
Nota/ comentário	Nota/comentário	Tx. trans.calor	–	Dim vão/fec.	–
N. de inventário	Cód. montagem	Localização	–	Sobredim. vão	–
N. de série	Modelo	Acessórios	–	Materiais	Materiais
–	Descrição	Acabamento	–	Moldura porta	–
–	Des. montagem	Envidraçado	–	Painel Porta	–
–	URL	Fechaduras	–	Detalhes porta	–
–	Palavra Chave	Ano produção	–	Represent. 2D	–
Tipo de grupo	Tipo de marca	Peso	–	Represent. 3D	–

**Quadro 1 – Comparativo de propriedades do objeto porta no ArchiCAD e Revit**

Com relação ao nível de detalhamento da geometria no modelo 3D o que se observa é que alguns objetos como, paredes, por exemplo, compõem-se de modelo misto entre objetos 3D parametrizados e modelos bidimensionais (Figura 3), não parametrizados. Esses modelos, embora possibilitem a redução do tamanho do arquivo (maior escalabilidade), inviabilizam colocar em prática o conceito de protótipo de edifício virtual (TOBIN, 2008), pois o “modelo virtual” é uma representação parcial do edifício.

Este tipo de modelo do edifício (utilizado no ArchiCAD e Revit Architecture) não inclui informações de atributos de todas as partes da construção. Muitos dos componentes possuem suas partes detalhadas apenas em desenhos bidimensionais, não parametrizados e sem apresentar as propriedades dos objetos vinculadas ao modelo (Figura 3). Esses detalhes bidimensionais, embora possam ser interoperáveis (garantido pelo projeto XM-4 que adiciona a capacidade de troca de dados 2D do modelo de edifício virtual) não são parametrizados. Assim, o modelo

perde qualidade, pois os detalhes representados em 2 dimensões não possuem a capacidade de estarem diretamente vinculadas ao modelo tridimensional.

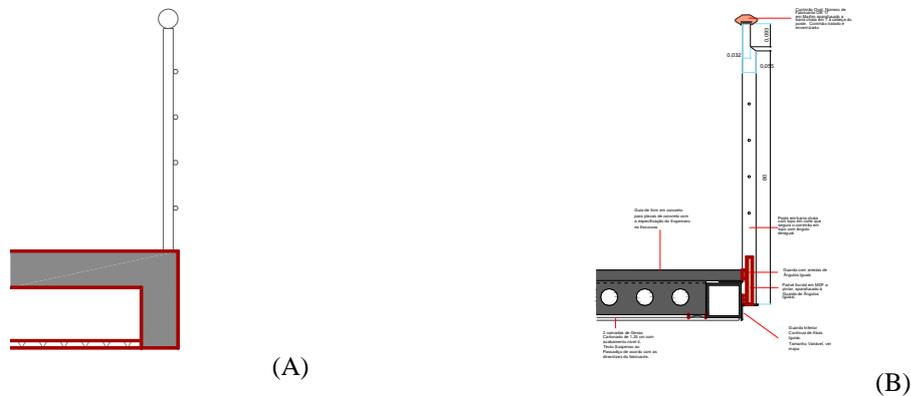


Figura 3: Nível de detalhamento de laje/ corrimão: (A) representação em 3D e (B) em 2D

Fonte: autor

Um exemplo clássico, representado na Figura 4, é o desenho de uma parede. Esta se constitui no modelo 3D, por um único objeto (não pode ser decompostos em suas partes elementares: enchimento, osso e revestimento) e assim não pode ser utilizado para simular etapas diferentes de construção do componente, num modelo 4D. A solução é utilizar recursos alternativos e demorados, como o proposto por Handler (2006).

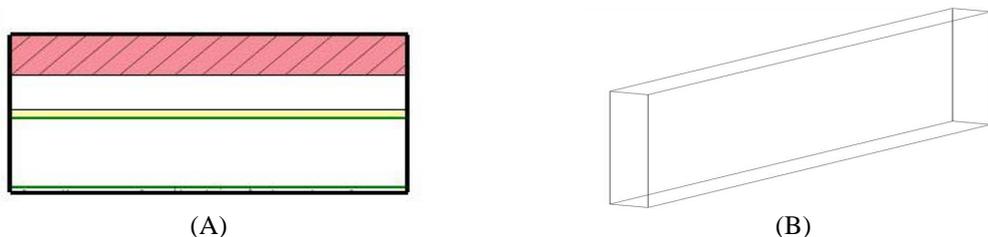


Figura 4: Nível de detalhamento do objeto parede: (A) representação em 2D e (B) representação em 3D

Fonte: autor

#### 4.2 PROCESSO DE EXPORTAÇÃO/ IMPORTAÇÃO DOS MODELOS

Para o teste da qualidade do modelo IFC exportado e importado pelos dois aplicativos estudados partiu-se inicialmente para uma análise baseada na entidade e no atributo dos arquivos IFC, comparando-se o seu GUID (PAZLAR; TURK, 2008). Porém, pela invalidade da completez da análise, em virtude de não possuírem o mesmo padrão de entidade e relação, decidiu-se efetuar a análise

comparativa principalmente por meio da confrontação manual, baseada na identificação de não conformidades visuais.

Assim, o primeiro passo consistiu em “construir” o edifício nos aplicativos ArchiCAD e Revit Architecture. Em seguida os modelos construídos nos dois aplicativos foram salvos no formato IFC2x (versão 3). O passo seguinte consistiu em abrir os modelos no formato IFC nos aplicativos ArchiCAD e Revit Architecture. Cada modelo também foi importado por programas de visualização IFC. Os modelos IFC importados pelos aplicativos alvo foram então analisados, a partir da confrontação com os modelos originais, desenvolvidos dentro de cada aplicativo (Figura 5). O objetivo foi buscar não conformidades durante o processo de transferência por meio do IFC.

Para quantificar a qualidade dos modelos importados utilizou-se um processo adaptado por Kiviniemi (2007) que consistiu em verificar a capacidade dos aplicativos de importar os principais componentes de construção (paredes, colunas, lajes, coberturas, portas, janelas, paredes cortinas, corrimãos, escada e peças sanitárias).

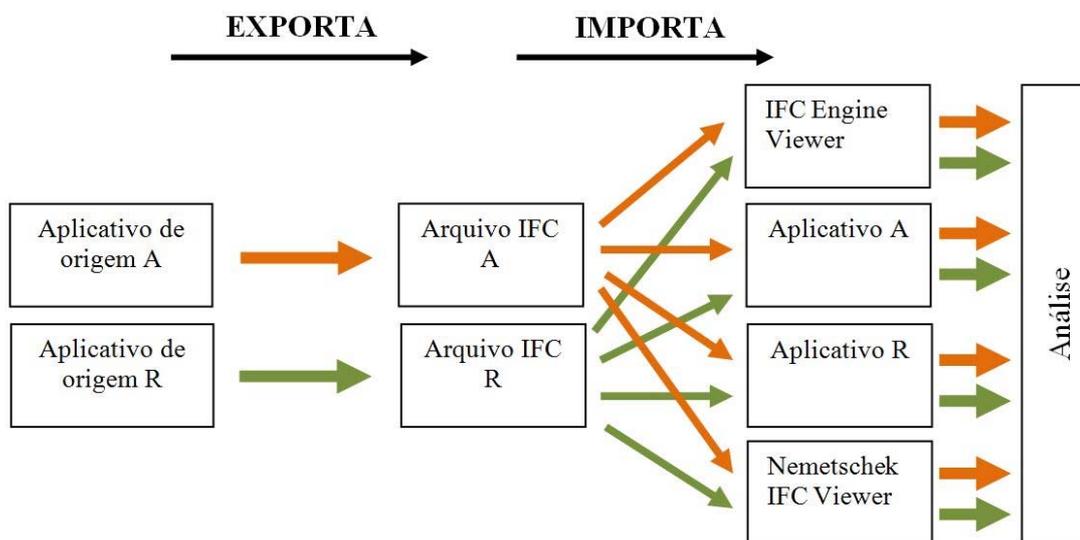


Figura 5: Processo usado para geração de modelos do edifício a partir de arquivos IFC, exportados de modelos produzidos no ArchiCAD (A) e Revit (R).

Fonte: autor

Na primeira etapa dos testes foram importados os arquivos IFC gerados no ArchiCAD 11 e Revit Architecture 2008 para cada um desses aplicativos. Nesta

etapa foram identificados, para cada componente importado, se permaneceram preservadas a geometria, a disposição (localização do componente em planta) e as seguintes propriedades: materiais (nome dos materiais), código (para identificação do componente) e custo (na avaliação de custo não foram considerados paredes, colunas, lajes e coberturas).

Para quantificar o sucesso da importação foi utilizado o seguinte procedimento: verificou-se em cada componente importado se os mesmos mantinham as características originais e comparou-se o número de componentes que mantiveram as propriedades originais com o número total de componentes. Chegou-se assim a um percentual que varia de 0% a 100%. Na última situação o componente mantém todas as mesmas propriedades do modelo original.

No caso, por exemplo, das paredes, tinha-se um total de 57 unidades. Caso todas as paredes fossem importadas corretamente o resultado seria 100%. Falhas, mesmo que pequenas, foram registradas como erros na tradução. Para quantificação da escada e outros componentes unitários desmembrou-se nas suas “partes” (para a escada as partes são: estrutura, piso/ espelho, balaústre e corrimão) e mediu-se a quantidade de partes preservadas.

Na segunda etapa dos testes os arquivos IFC foram importados por softwares de visualização geométrica (IFC Engine Viewer – Visualizador 1; Nemetschek IFC Viewer – Visualizador 2). O objetivo destes testes foi de comparar a eficiência dos tradutores de importação de arquivos IFC usados pelos aplicativos estudados. Para simplificar os testes e uniformizar as análises foram usadas apenas as propriedades referentes à geometria dos edifícios.

Após a finalização das duas primeiras etapas se repetiu o processo com os aplicativos ArchiCAD 12 e Revit Architecture 2010. O objetivo foi de verificar melhorias no mecanismo de leitura e tradução do IFC presente nas versões mais avançadas destes aplicativos. Nesta fase também foram feitas análises do perfil das entidades e das relações nos modelos IFC.

Na última etapa, comparou-se os resultados das análises nas duas versões dos aplicativos. Nesta fase foram feitas algumas especulações sobre a melhoria dos aplicativos BIM, nas versões estudadas.

É importante destacar que o processo de exportação, por meio de arquivos IFC, foi feito de forma simples e direta, conforme disponível nos aplicativos estudados (salvavam-se os aplicativos no formato IFC, sem alterar as configurações padrões). Logo, não foram configuradas entidades e instalados plug-ins para melhorar a capacidade de exportação dos modelos IFC destes aplicativos estudados.

## **5. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **5.1 ARCHICAD 11 E REVIT ARCHITECTURE 2008**

Após os testes com os aplicativos ArchiCAD 11 e Revit Architecture 2008 a primeira conclusão é que efetivamente existem perdas na transferência de dados entre estes, quando se usa o formato IFC2x (versão 3) de protocolo (Tabela 1). Para todos os processos de transferência de dados usados ocorrem perdas em informações do modelo. Constata-se que existem perdas de dados referentes à geometria, à disposição dos objetos em plantas e às propriedades dos objetos analisados. Para o Revit, por exemplo, apenas cerca de 30% dos dados referentes às características de materiais permanecem indicados nos modelos após serem importados dos arquivos no formato IFC.

A geometria e a disposição dos objetos, em geral, são os mais importantes indicadores da espacialidade. Estes apresentam pequenos erros, cerca de 10%, o que não inviabiliza o bom entendimento do modelo do edifício. Porém, analisando a qualidade das propriedades dos materiais e custos verificou-se que existe uma perda de informação de cerca de 20% no ArchiCAD 11 e 60% no Revit 2008. Estas perdas são significativas e podem inviabilizar o uso desses arquivos em aplicativos de análises de custos e de eficiência energética.

Na Tabela 2 os arquivos IFC foram importados para softwares de visualização. O que se observa nesta tabela é que enquanto os arquivos IFC gerados no ArchiCAD 11 apresentam a visualização da sua geometria completa, alguns objetos do Revit 2008 apresentaram problemas na visualização. De uma maneira geral, a maioria dos objetos apresenta uma boa visualização quando são importados para os programas de visualização IFC (com exceção do corrimão e da escada no visualizador 2 no Revit 2008).

NÍVEL DE QUALIDADE DA IMPORTAÇÃO DE ARQUIVOS IFC GERADOS NO ARCHICAD E REVIT											
IFC2X3 GERADO NO ARCHICAD 11											
Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo ArchiCAD 11 (em %)						Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo Revit 2008 (em %)					
	Material	Disposição <sup>1</sup>	Código	Custo	Geo.		Material	Disposição <sup>1</sup>	Código	Custo	Geo.
Parede	100	95	97	X	95 <sup>2</sup>	Parede	100	100	100	X	100
Coluna	100	100	100	X	100	Coluna	100	100	100	X	100
Laje	100	100	100	X	100	Laje	100	100	100	X	100
Cobertura	100	100	100	X	100	Cobertura	100	100	100	X	100
Porta	100	70	100	100	100	Porta	0	66	100 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	100
Janela	0	0	0	0	0	Janela	0	0	100 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	100
Parede cortina	100	100	100	100	100	Parede cortina	0	100	100 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	100
Corrimão	100	100	100	100	100	Corrimão	0	100	100 <sup>3</sup>	0	50 <sup>4</sup>
Escada	100	100	0	100	100	Escada	25 <sup>5</sup>	100	100 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	100
Peças sanitárias	100	100	0	100	60	Peças sanitárias	100	100	100 <sup>3</sup>	100	100
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>69</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>TOTAL</b>	<b>52</b>	<b>86</b>	<b>100</b>	<b>84</b>	<b>95</b>
IFC2 X3 GERADO NO REVIT 2008											
Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo Revit 2008 (em %)						Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo ArchiCAD 11 (em %)					
	Material	Disposição	Código	Custo	Geo.		Material	Disposição	Código	Custo	Geo.
Parede	89	100	89	X	100	Parede	79	100	79	X	100
Coluna	0	100	0	X	100	Coluna	100	100	100	X	100
Laje	100	100	100	X	100	Laje	100	100	100	X	100
Cobertura	100	100	100	X	100	Cobertura	100	100	100	X	100
Porta	0	100	0	0	100	Porta	0	17 <sup>1</sup>	100	0	78
Janela	0	54	0	0	77	Janela	0	38	0	0	50 <sup>7</sup>
Parede cortina	0	60 <sup>6</sup>	0	0	60 <sup>6</sup>	Parede cortina	0	100	0	0	100
Corrimão	0	100	0	0	100	Corrimão	0	100	0	0	100
Escada	0	100	0	0	100	Escada	0	75	0	0	75 <sup>8</sup>
Peças sanitárias	0	80	0	0	60	Peças sanitárias	0	80	0	0	60
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>89</b>	<b>29</b>	<b>0</b>	<b>89</b>	<b>TOTAL</b>	<b>38%</b>	<b>81%</b>	<b>48%</b>	<b>0</b>	<b>86</b>

Obs.: <sup>1</sup> – as situações mais comuns ocorridas foram: o giro da porta desenhada em planta. Ao invés de abrir para dentro abria para fora, a porta/janela estava incorretamente desenhada; <sup>2</sup> – 5% das paredes apresentam pequenas falhas, mas são visíveis em 3D; <sup>3</sup> – códigos aparecem, porém correspondem a outras propriedades do objeto; <sup>4</sup> – as peças principais (balaustre e peitonil) aparecem, porém os cabos de aço na lateral não apareceram; <sup>5</sup> – materiais da estrutura foram especificados, porém, os pisos/ espelhos, balaustre e corrimãos não foram especificados; <sup>6</sup> – 40% das paredes cortinas aparecem elevadas alguns metros sobre a edificação; <sup>7</sup> – para as janelas não construídas em 3D, foram feitas apenas as aberturas dos vãos; <sup>8</sup> – o corrimão da escada não foi construído em 3D.

Tabela 1 – Resultado da certificação de elementos construtivos

NÍVEL DE QUALIDADE DE ARQUIVOS IFC IMPORTADOS POR VISUALIZADORES					
IFC2X3 GERADO NO ARCHICAD 11			IFC2 X3 GERADO NO REVIT 2008		
	Geometria (em %)			Geometria (em %)	
	Visualizador 1	Visualizador 2		Visualizador 1	Visualizador 2
Parede	100	100	Parede	100	77
Coluna	100	100	Coluna	100	100
Laje	100	100	Laje	100	100
Cobertura	100	100	Cobertura	100	100
Porta	100	100	Porta	100	100
Janela	100	100	Janela	87	100
Parede cortina	100	100	Parede cortina	100	100
Corrimão	100	100	Corrimão	100	0
Escada	100	100	Escada	100	25
Peças sanitárias	100	100	Peças sanitárias	80	80
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>89</b>	<b>78</b>

Tabela 2 – Resultado da certificação de elementos construtivos

Um aspecto interessante de observar é que os erros na importação do modelo geométrico do edifício no ArchiCAD 11, no Revit Architecture 2008 ou nos visualizadores, ocorrem de forma diferenciada em cada aplicativo testado (Figura 6). Assim, um mesmo arquivo IFC que apresenta erros na construção da janela, quando importado pelo ArchiCAD 11, no Revit Architecture 2008 e nos visualizadores, não apresenta tais erros, mais sim outros erros.

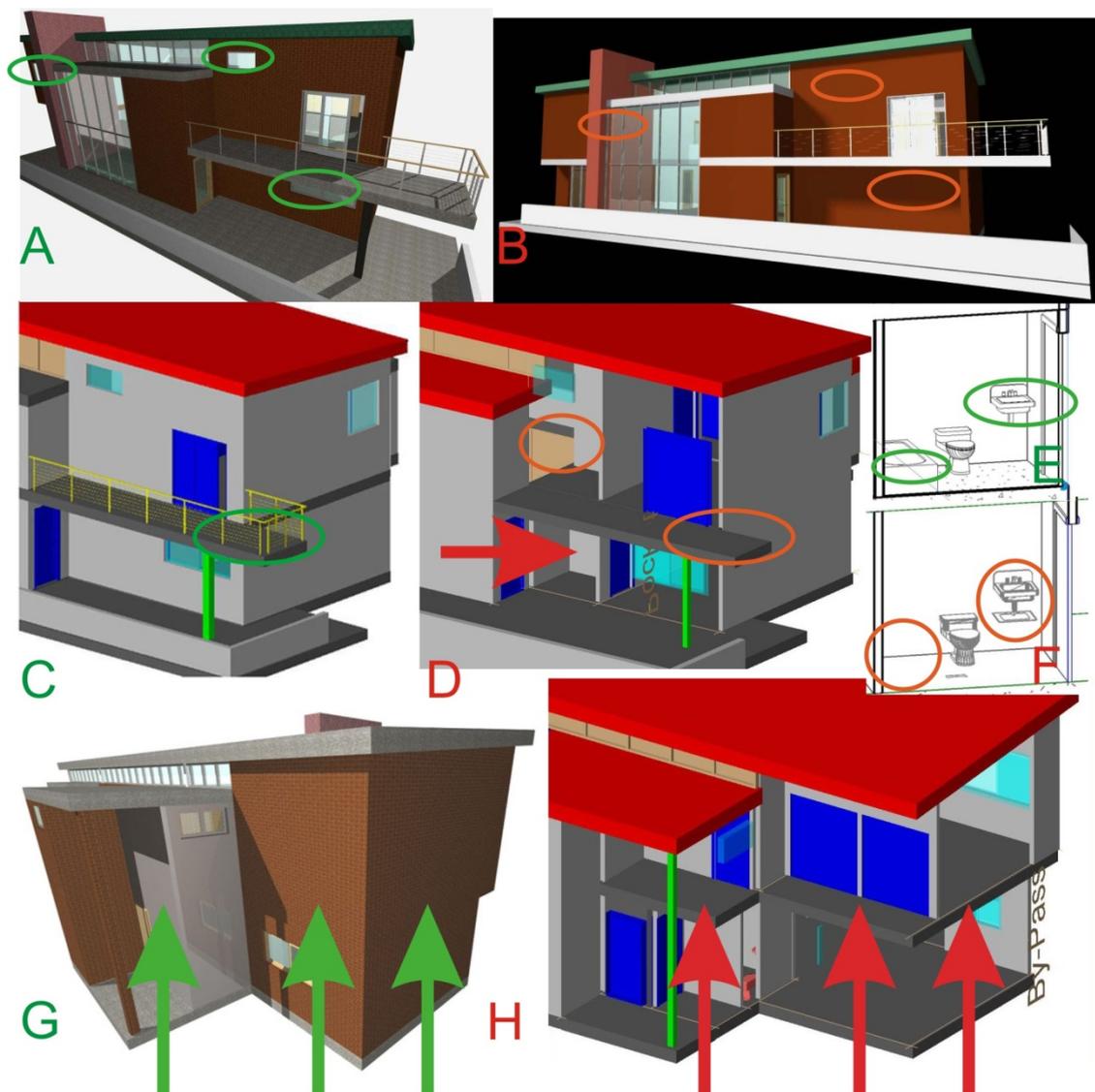


Figura 6: Erros de importação do modelo geométrico: (A) modelo completo/(B) ausência de janelas; (C) modelo completo/(D) ausência paredes e corrimão; (E) modelo completo/(F) ausência banheiro, erro lavatório; (G) modelo completo/(H) ausência de paredes.

Fonte: autor

Estas constatações explicitadas acima levam a conjecturar que os problemas detectados na leitura da geometria do edifício, pelos aplicativos tradutores de IFC, são conjunturais da estrutura dos importadores. Caso fossem problemas na geração de dados dos arquivos IFC, os erros permaneceriam comuns, quando importados pelos softwares testados.

## **5.2 ARCHICAD 12 E REVIT ARCHITECTURE 2010**

Nesta etapa da pesquisa se repetiram as mesmas análises e se utilizaram dos mesmos procedimentos, porém com as versões mais recentes dos aplicativos estudados na etapa anterior (ArchiCAD 12 e Revit Architecture 2010). Os primeiros resultados mostram que, apesar de permanecerem algumas perdas na transferência de dados entre aplicativos, alguns componentes tiveram melhorias significativas na importação de informações, principalmente, no requisito geometria. Neste requisito, por exemplo, o modelo IFC exportado pelo ArchiCAD teve uma precisão de 100%, quando importado pelos dois aplicativos estudados (Tabela 3).

Quando os arquivos IFC foram importados pelos aplicativos de visualização, o que se constatou é que 100% da geometria permaneceram inalteradas no visualizador 1 e só apenas 1% de não conformidades aconteceu no visualizador 2, durante a avaliação do Revit Architecture (Tabela 4).

Diferente do ocorrido nos testes da versão anterior, o que se observou desta vez é que os erros da geometria identificados quando o modelo IFC (Revit) foi importado pelo Revit Architecture e pelo visualizador 2 foram quase os mesmos (Figura 7), o que mostra haver uma dificuldade de tradução de certos objetos por este aplicativo. Todavia, os testes efetuados ainda são iniciais, limitados, e não são suficientes para identificar a origem do erro (e nem é essa a intenção deste trabalho).

NÍVEL DE QUALIDADE DA IMPORTAÇÃO DE ARQUIVOS IFC GERADOS NO ARCHICAD E REVIT											
IFC2X3 GERADO NO ARCHICAD 12											
	Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo ArchiCAD 12 (em %)					Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo Revit 2010 (em %)					
	Material	Disposição	Código	Custo	Geo.	Material	Disposição	Código	Custo	Geo.	
Parede	100	100	100	X	100	Parede	0	100	0	X	100
Coluna	100	100	100	X	100	Coluna	0	100	0	X	100
Laje	33	100	100	X	100	Laje	0	100	0	X	100
Cobertura	100	100	100	X	100	Cobertura	100	100	100	X	100
Porta	100	100 <sup>5</sup>	100	100	100	Porta	100	100 <sup>5</sup>	100	100	100
Janela	100	100	100	100	100	Janela	100	0	100	100	100
Parede cortina	100	100 <sup>1</sup>	100	100	100	Parede cortina	0	100	0	0	100
Corrimão	100	100	100	100	100	Corrimão	100	100	100	100	100
Escada	100	100	100	100	100	Escada	100	100	100	100	100
Peças sanitárias	100	100 <sup>1</sup>	100	100	100	Peças sanitárias	100	90	100	100	100
<b>TOTAL</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>89</b>	<b>60</b>	<b>84</b>	<b>100</b>
IFC2 X3 GERADO NO REVIT 2010											
	Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo ArchiCAD 12 (em %)					Modelo gerado por arquivo IFC importado pelo Revit 2010 (em %)					
	Material	Disposição	Código	Custo	Geo.	Material	Disposição	Código	Custo	Geo.	
Parede	100	100 <sup>4</sup>	100	X	95 <sup>2</sup>	Parede	0	89 <sup>10</sup>	0	X	98
Coluna	100	100	100	X	100	Coluna	0	100	0	X	100
Laje	0	100	0	X	100	Laje	100	100	0	X	100
Cobertura	100	100	100	X	100	Cobertura	100	100	0	X	100
Porta	100	94 <sup>5,6</sup>	100	100 <sup>7</sup>	94 <sup>3</sup>	Porta	0	84	0	0	84
Janela	100	34 <sup>5</sup>	100	100 <sup>7</sup>	50 <sup>3</sup>	Janela	0	60 <sup>11</sup>	0	0	30 <sup>5</sup>
Parede cortina	100 <sup>3</sup>	100 <sup>1</sup>	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>	100	Parede cortina	0	100	0	0	100
Corrimão	100	100	100	100 <sup>3</sup>	100	Corrimão	0	100	0	0	100
Escada	0	100	0	0	100	Escada	0	100	0	0	100
Peças sanitárias	100	100 <sup>1</sup>	100	100 <sup>7</sup>	100	Peças sanitárias	0	100 <sup>9</sup>	0	0	100 <sup>9</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>93</b>	<b>70</b>	<b>67</b>	<b>94</b>	<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>94</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>92</b>

Obs.: Seguem as mesmas observações da tabela 1. <sup>1</sup> – Paredes cortinas e peças sanitárias aparecem tracejadas no pav. superior. <sup>2</sup> – 5% das paredes não aparecem. <sup>3</sup> – para as portas e janelas não construídas foram feitas as aberturas nos vãos. <sup>4</sup> – Embora apresente erros na geometria a representação e disposição em planta está correta. <sup>5</sup> – As aberturas são visíveis, mas as janelas/portas não são desenhadas. <sup>6</sup> – portas representadas fechadas em planta. <sup>7</sup> – O valor não incorpora os centavos. <sup>8</sup> – a parede cortina é lida como vários painéis separados e as propriedades do componente original desaparecem. <sup>9</sup> – A geometria aparece, mas, com ele são agregadas outras informações que não existiam (linhas e planos externos ao objeto). <sup>10</sup> – Estão dispostas no local correto, porém apresentam uma representação diferente das demais de mesma propriedade. <sup>11</sup> – As aberturas são visíveis, mas as janelas são desenhadas parcialmente.

Tabela 3 – Resultado da certificação de elementos construtivos

NÍVEL DE QUALIDADE DE ARQUIVOS IFC IMPORTADOS POR VISUALIZADORES					
IFC2X3 GERADO NO ARCHICAD 12			IFC2 X3 GERADO NO REVIT 2010		
	Geometria			Geometria	
	Visualizador 1	Visualizador 2		Visualizador 1	Visualizador 2
Parede	100%	100%	Parede	100%	95%
Coluna	100%	100%	Coluna	100%	100%
Laje	100%	100%	Laje	100%	100%
Cobertura	100%	100%	Cobertura	100%	100%
Porta	100%	100%	Porta	100%	100%
Janela	100%	100%	Janela	100%	100%
Parede cortina	100%	100%	Parede cortina	100%	100%
Corrimão	100%	100%	Corrimão	100%	100%
Escada	100%	100%	Escada	100%	100%
Peças sanitárias	100%	100%	Peças sanitárias	100%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>99%</b>

Tabela 4 – Resultado da certificação de elementos construtivos

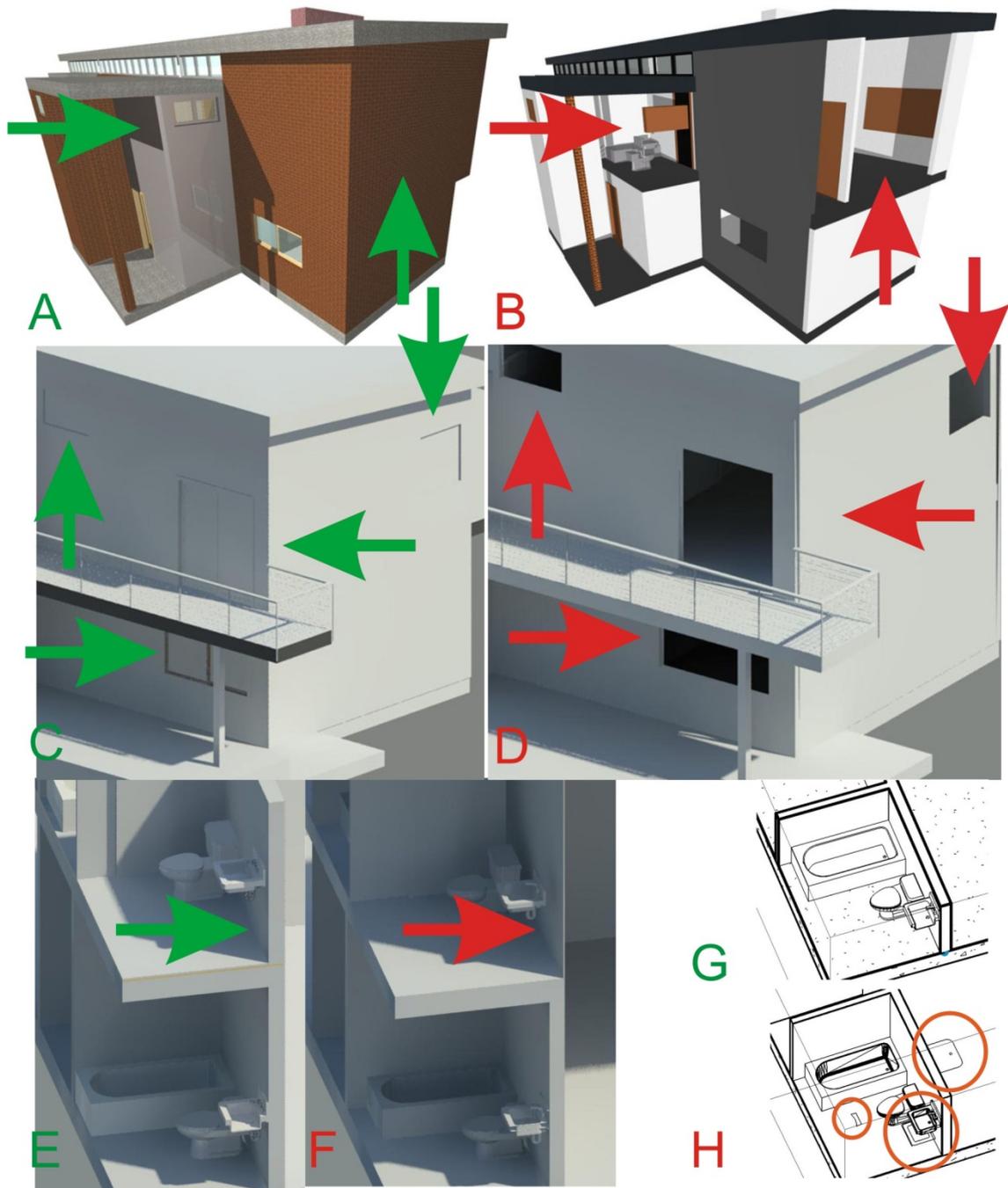


Figura 7: Erros de importação do modelo geométrico: (A) modelo completo/ (B) ausência de paredes externas; (C) modelo completo/ (D) ausência de janelas e porta externas (ver vazio na imagem); (E) parede banheiro completa/ (F) falha na construção da parede banheiro; (G) representação completa das peças sanitárias; (H) irregularidade nas representações das peças sanitárias.

Fonte: autor

Nesta fase da pesquisa procurou-se também analisar algumas propriedades das informações contidas nos arquivos IFC exportados pelo ArchiCAD 12 e pelo Revit Architecture 2010. Assim, foram identificadas algumas propriedades dos arquivos,

como, por exemplo, dimensão, número de linhas geradas nos arquivos IFC, quantitativos de entidades IFC (*ifcobject*) e relações IFC (*ifcrelations*). Desta forma, procurou-se especular sobre o perfil dos arquivos IFC gerados (Tabelas 5 e 6).

ARCHICAD 12 (Graphisoft)		REVIT ARCHITECTURE 2010 (Autodesk)	
Tamanho arquivo criado	1.555 KB	Tamanho arquivo criado	7.164 KB
Tamanho arquivo IFC	4.640 KB	Tamanho arquivo IFC	3.384 KB
Relação IFC/Nativo	298%	Relação IFC/Nativo	47%
Número de linhas de comando	357.800	Número de linhas arquivo	65.199

Tabela 5 – Características dos arquivos IFC do modelo de edifício (ArchiCAD e Revit)

Entidades IFC				Relações IFC			
Revit 2010		ArchiCAD 12		Revit 2010		ArchiCAD 12	
IfcProject	1	IfcProject	1	IfcFillsElement	27	IfcFillsElement	27
IfcSite	1	IfcSite	1	IfcRelAggregates	13	IfcRelAggregates	3
IfcBuilding	1	IfcBuilding	1	IfcRelAssociatesMaterial	57	IfcRelAssociatesMaterial	95
IfcBuildingStorey	5	IfcBuildingStorey	5	IfcRelConnectsPathElements	98	IfcRelConnectsPathElements	64
IfcWall	3		/	IfcRelContainedInSpatialStructure	5	IfcRelContainedInSpatialStructure	5
IfcWallStandardCase	42	IfcWallStandardCase	64	IfcRelDefinesByProperties	988	IfcRelDefinesByProperties	12
IfcOpeningElement	28	IfcOpeningElement	28	IfcRelDefinesByType	96	IfcRelDefinesByType	17
IfcColumn	2	IfcColumn	2	IfcVoidsElement	28	IfcVoidsElement	28
IfcSlab_Roof	4	IfcSlab_Roof	1				
IfcSlab_Floor	5	IfcSlab_Floor	8				
IfcSlab_Landing	1		/				
IfcRoof	4		/				
IfcDoor	18	IfcDoor	18				
IfcWindow	9	IfcWindow	9				
IfcRailing	3	IfcRailing	3				
IfcStair	1		1				
IfcStairFlight	2		/				
IfcBuildingElementProxy	11		11				
IfcCurtainWall	5		5				
IfcPlate	43		/				
IfcMember	135		/				
IfcAnnotation	6		/				
<b>TOTAL</b>	<b>330</b>	<b>TOTAL</b>	<b>158</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1312</b>	<b>TOTAL</b>	<b>251</b>

Tabela 6 – Comparativo dos quantitativos de entidades e relações IFC (ArchiCAD/ Revit)

Os resultados apresentados acima mostram, em primeira instância, que existe uma variação significativa entre o tamanho do arquivo original e o arquivo IFC. No caso do ArchiCAD houve um aumento de aproximadamente 300% no tamanho do arquivo IFC. Para o Revit Architecture ocorre uma diminuição de cerca de 50% do tamanho do arquivo IFC comparado ao formato original (Tabela 5).

Quando se faz uma análise mais detalhada sobre a qualidade dos dados dos arquivos IFC gerados por estes aplicativos (Tabela 6) o que se pode especular é que existe uma disjunção na forma como esses aplicativos mapeiam os dados de entrada e saída, haja vista haver uma diferença significativa entre algumas

propriedades de objetos apresentados em cada um destes aplicativos. Embora estas variações não afetem, de forma contundente, a semântica do modelo de dados, constata-se, com estes resultados, que existem variações na maneira como aplicativos BIM mapeiam os dados e na forma como estruturam internamente estes dados.

A análise do perfil das relações IFC mostra uma diferença significativa entre o número de relações IFC produzidas no Revit Architecture e ArchiCAD (Tabela 6). Esta diferença, que aparentemente não foi percebida no modelo do edifício, pode indicar uma maior capacidade do Revit Architecture em estabelecer relações topológicas. Embora as relações não tenham sido testadas nesta pesquisa, estas podem representar um rico instrumento de trabalho para os arquitetos, por meio da definição de regras projetuais, que podem estar associadas aos diferentes componentes e podem incorporar conhecimentos de projeto.

### **5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DA EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES ARCHICAD E REVIT NO USO DO IFC**

Mesmo com todos os problemas abordados e identificados nos testes para verificação de não conformidades nos fluxos de informações do modelo arquitetônico do edifício, por meio de arquivos IFC, o que se observa é que existe uma preocupação expressa em publicações internacionais para melhoria da qualidade do IFC. Da mesma forma, as análises empreendidas neste trabalho mostram uma evolução, mesmo que singela, nos modelos IFC produzidos pelos aplicativos estudados e expressas nas versões mais recentes destes aplicativos.

A Figura 8 mostra que a versão 12 do ArchiCAD apresentou uma melhoria significativa no uso do recurso da interoperabilidade, comparada à versão anterior, o que demonstra um amadurecimento deste aplicativo no uso do recurso da interoperabilidade. Da mesma forma, os resultados produzidos pelo Revit Architecture, embora pouco singelos, mostram também uma evolução na qualidade da geometria. Mesmo assim, observa-se que ainda muito precisa ser feito para melhorar a qualidade da troca de propriedades dos objetos, de forma que este seja seguro e viável para o uso em projeto, de maneira extensiva.

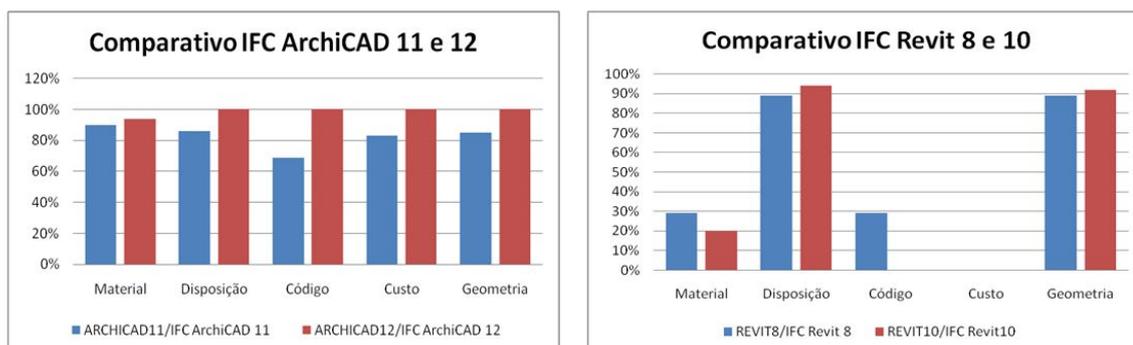


Figura 8: Comparativo de arquivos produzidos e lidos no ArchiCAD 11/12 e no Revit 2008 /10.

Fonte: autor

## 6. DISCUSSÃO À LUZ DE EXEMPLOS BEM SUCEDIDOS: O CASO DO OPS E IFC

As análises efetuadas indicam que é necessária a melhoria na robustez dos modelos de arquivos e tradutores IFC. Todavia, Kiviniemi *et al.* (2008), mostram que o principal motivo pelo qual o IFC ainda não é usado como forma de troca de dados entre os agentes da construção civil é devido à fragmentação da indústria da AEC, dificultando criar um consenso sobre o uso do IFC nas trocas de dados.

Para Eastman *et al.* (2008) a dificuldade na consolidação de um modelo universal de troca de dados, que seja confiável e eficiente, está associado a: questões ligadas à competitividade entre empresas; perda de compreensão das conseqüências positivas em utilizar um modelo único de informação do edifício; baixa qualidade da interface IFC; e, desinteresse dos integrantes da indústria AEC em mudar o processo de trabalho.

Num caminho oposto ao descrito acima, algumas empresas têm desenvolvido sistemas de compartilhamento de dados gerados nos modelos BIM e que podem ser usados em diversos aplicativos. A empresa norte-americana ONUMA Inc., por exemplo, produz um sistema de compartilhamento de modelos BIM denominado ONUMA planning System (OPS), acessível pela internet (COELHO; NOVAES, 2008). O modelo de servidor OPS pode funcionar como um repositório central para hospedar todos os diferentes projetos e informações de um edifício (WONG, 2008). A partir de um sistema central de informações é possível modelar e analisar

projetos utilizando-se, para isso, diferentes softwares compatíveis com o padrão gbXML/ IFC.

Assim, o modelo OPS é capaz de gerenciar diferentes aplicativos computacionais (Figura 9). Definem-se os principais requerimentos de projeto no OPS e então se exporta para outros softwares BIM para serem efetuadas as atividades necessárias ao desenvolvimento do modelo. Nestes casos, dados e geometrias podem ser exportados do modelo OPS para outros aplicativos, usando-se o formato IFC, permitindo, dessa forma, boa compatibilidade com ferramentas BIM (ONUMA PLANNING SYSTEM, 2008).

Modelos como o OPS possibilitam uma maior precisão e eficiência no fluxo de informações entre diferentes profissionais de projeto, além de permitir a consolidação de ambientes eficientes de colaboração (como o Asite). O desenvolvimento de sistemas como o OPS é uma saída inteligente para problemas de interoperabilidade e uso de formatos IFC, permitindo colaborar e trocar informações em todo o ciclo de vida do edifício, o que representa o principal ganho em usar o BIM.

Como exemplo clássico da eficiência do sistema OPS a ONUMA Inc. desenvolve, desde 2007, os *BIMStorms* (para Wong (2008) poderia ser chamado do “*Woodstock*” do BIM). O *BIMStorm* consiste numa experiência de projeto integrado num espaço virtual, baseado numa plataforma de colaboração BIM, acessível pela internet (ONUMA, 2008). Nestes eventos participam equipes de diferentes países e experiências profissionais que juntos projetam, em poucas horas, vários edifícios para uma determinada localidade (em cada evento escolhe-se uma cidade com uma área de intervenção). As equipes incluem projetistas especializados em projetos e análises de edifícios, e, empregados do governo com experiência em legislação.

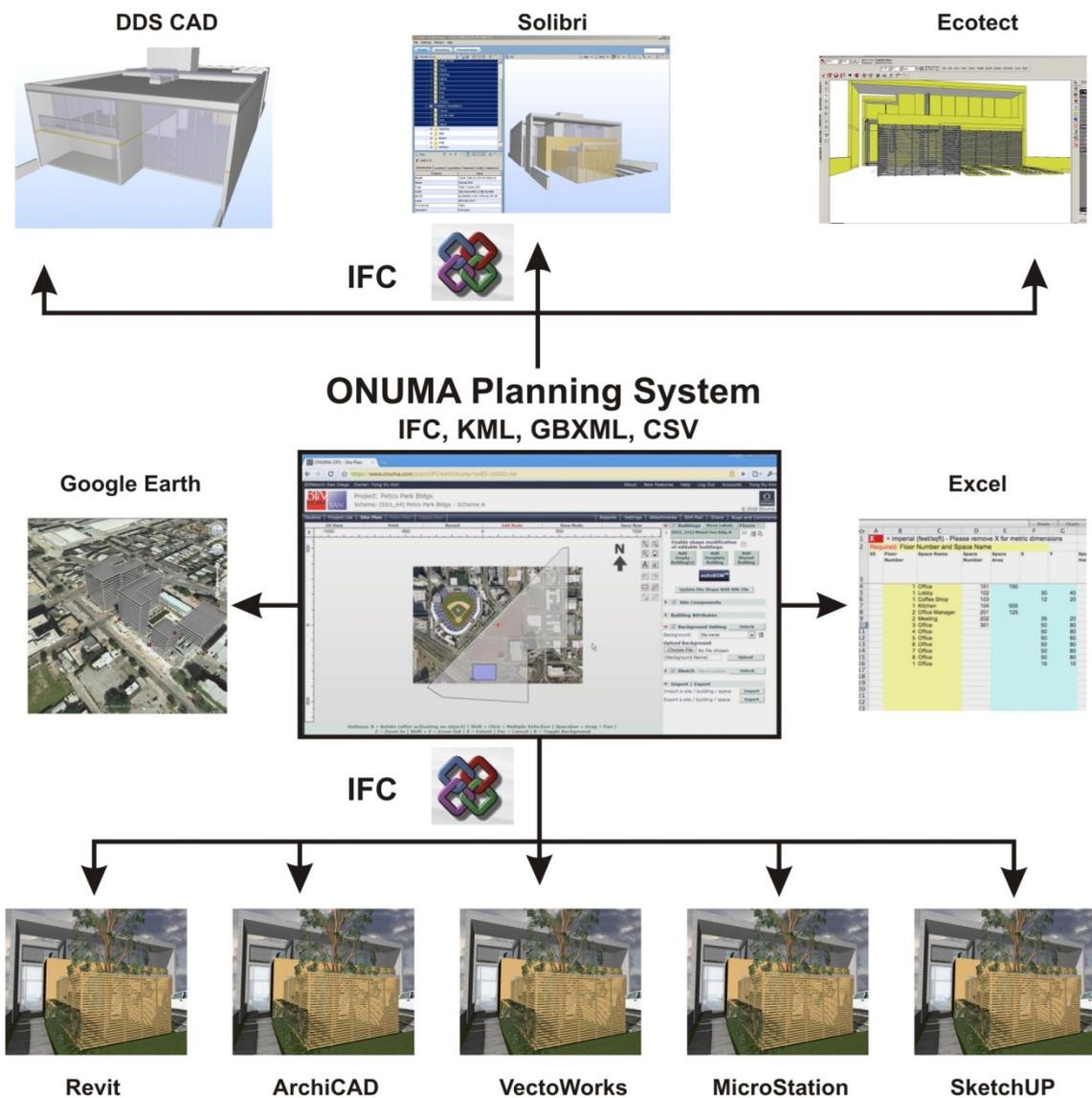


Figura 9: Modelo OPS de interoperabilidade e compartilhamento  
 Fonte: Adaptado de ONUMA PLANNING SYSTEM (2008)

O modelo de servidor OPS funciona, segundo Wong (2008), como um repositório central que hospeda os projetos e as entradas de dados. Assim, cada equipe multidisciplinar troca informações da geometria do modelo, das análises de eficiência energética, das análises de custos e construtibilidade, etc. Em função dessa rica variedade de análises Wong (2008) mostra que foi possível incorporar aos modelos soluções sustentáveis como tetos verdes e fachadas com painéis solares. Além do mais, com o sistema OPS é possível obter informações de projeto como a existência de zonas sísmicas, o tipo de solo, o código de edificações, perfil de acessos ao terreno e sistemas de transporte local.

O uso do sistema OPS serve como um repositório central baseado num padrão de informações global, aberto e interoperável, reduzindo-se às perdas e sobreposições de dados e possibilitando um ambiente de colaboração internacional e integração em tempo real entre as diferentes equipes de projeto.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho, por meio de uma análise do uso do IFC para troca de dados de informações da edificação, detectou falhas no processo de transferência de informações do modelo do edifício. A partir das análises efetuadas chegou-se às seguintes conclusões:

- Existe uma perda na qualidade geométrica dos modelos de edifícios quando são importados no formato IFC em aplicativos de autoria BIM para arquitetura. Nas versões mais recentes dos aplicativos pesquisados estas perdas são limitadas a poucos componentes de construção e não comprometem o entendimento do modelo geométrico do edifício;
- O IFC, como instrumento de troca de dados, ainda está limitado à simples geometria do edifício, incluindo algumas poucas informações complementares. Propriedades não geométricas dos componentes de construção usadas nos modelos, como código de identificação, material, disposição e custos apresentam perdas significativas, quando são exportados para IFC (particularmente aqueles gerados nos aplicativo Revit Architecture). Estas perdas, em algumas situações, são significativas e poderiam inviabilizar o uso do IFC no dia a dia dos escritórios de projeto, principalmente para o emprego em aplicativos de análises.
- Nas últimas duas versões dos aplicativos estudados (Archicad 12 e Revit Architecture 2010) ocorreram melhorias na qualidade dos arquivos IFC utilizados para troca, principalmente no arquivo IFC produzido pelo ArchiCAD.
- Como os testes não abordaram projetos com soluções geométricas complexas não é possível afirmar nesta pesquisa a qualidade do IFC2x3 para o uso em soluções de projetos que utilizem geometrias complexas.

- Embora se tenha constatado uma evolução significativa na qualidade de troca de informações em um dos aplicativos pesquisados o que se observa é que o progresso ainda é lento, mesmo sabendo-se da urgência no seu desenvolvimento, principalmente devido ao perigo do IFC tornar, num futuro próximo, um formato desacreditado pela indústria da AEC/FM.

Outros aspectos importantes observados durante a construção do modelo de edifício são:

- Não existe um padrão, entre aplicativos BIM, para descrição e classificação das propriedades dos componentes de construção. Cada aplicativo utiliza um padrão próprio de classificação de propriedades dos objetos, o que dificulta a interoperabilidade dessas propriedades entre diferentes aplicativos.
- Um esforço internacional no sentido de se criar padrões para objetos de bibliotecas da indústria da AEC/FM que sejam compatíveis com o IFC, que é o IFD, poderá melhorar os padrões de classificação das propriedades dos componentes, contribuindo para a interoperabilidade por meio do IFC (HAAGENRUD, 2007).
- Ferramentas BIM voltadas para a arquitetura e disponíveis no mercado apresentam uma capacidade limitada de representação das partes do edifício num modelo 3D, com informações de atributos associadas a esse modelo. Muitos dos componentes de construção são desenhados e visíveis apenas em detalhes bidimensionais. Para estes casos, alterações efetuadas nos modelos 3D não são ajustadas automaticamente nos detalhes 2D. Precisam ser alterados manualmente (EASTMAN *et al.*, 2008).
- Se, por um lado, o uso de modelos 3D associados a modelos 2D melhora a escalabilidade do projeto (reduzindo o tamanho do arquivo e facilitando o seu manuseio), por outro, reduz também a capacidade de atualizações automáticas no modelo, a eficiência na simulação das etapas de construção do projeto e na avaliação de custos do modelo.

Por fim, o que se observa das análises é que ao se usar arquivos e tradutores IFC para exportar ou importar dados do edifício é importante considerar que os mesmos ainda não são robustos o suficiente para transportar os dados com a

qualidade do modelo original. Dessa forma, perdas de dados ocorrerão durante a migração para outros aplicativos (KRYGIEL *et al.*, 2008). Como alternativa, o presente trabalho mostrou que o emprego de sistemas de planejamento de informações do edifício, como o OPS, por exemplo, viabiliza a redução de inconformidades dos modelos IFC. Além do mais, muda a visão do processo de trabalho de projeto, tornando a atividade mais integrada, colaborativa, e com fluxo de informações mais eficientes. Assim, com a difusão de sistemas integrados do edifício é possível aumentar a interoperabilidade e possibilitar um uso do BIM mais inteligente, aproximando-se de um modelo desejado de protótipo do edifício, segundo a visão de TOBIN (2008).

## REFERÊNCIAS

- AMOR, R.; MA, H. Preservation of Meaning in Mapped IFCs. *In*: MARTINEZ, M.; SCHERER, R. (Ed.) **eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**. London: Taylor & Francis Group plc, 2006. p. 233-236. Disponível em: <[http://www.cs.auckland.ac.nz/~trebor/papers/AMOR06 .pdf](http://www.cs.auckland.ac.nz/~trebor/papers/AMOR06.pdf)> Acesso em: 19 set. 2009.
- BACKAS, S. **SPADEx: short description of IFC Project. Final Report**, 2001. Disponível em: <[http://cic.vtt.fi/vera/Documents/spadex\\_final\\_report.pdf](http://cic.vtt.fi/vera/Documents/spadex_final_report.pdf).> Acesso em: 14 ago. 2009.
- BELL, H.; BJØRKHAUG, L. **A building SMART Ontology e Work and Business in Architecture, Engineering and Constructin**. ECPPM, 2006, 185p.
- COELHO, S.; NOVAES, C. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. *In*: Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 8., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EP-USP, 2008. p.1-10.
- EASTMAN, C. **Building Product Models: computer environments supporting design and construction**. Boca Raton: CRC Press, 1999, 411 p.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- FISCHER, M.; CAM K. **PM4D: Final Report**. CIFE Technical report 143. Stanford University, 2002. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/4D/download/c1.html>.> Acesso em: 3 jul. 2008.
- FU, C.; AOUAD, G.; LEE, A.; MASHALL-PONTING, A.; WU, S. IFC model viewer to support nD model application. **Automation in Construction**, v. 15, n. 2, March 2006. Disponível em <[www.elsevier.com/locate/autconp](http://www.elsevier.com/locate/autconp) .2006>. Acesso em: 14 set. 2008.
- HAAGENRUD, S.; HYVÄRINEN, J.; BELL, H.; BJØRKHAUG, L.; LIEBICH, T. **STAND-INN Deliverable D15 IFC and IFD feasibility for innovative sustainable housing**. EUROPA INNOVA, 2007, 89p. Disponível em: < [http://standards.eu-innova.org/Files/Report/STAND-INN\\_D15\\_IFC\\_and\\_IFD\\_feasibility\\_for\\_innovative\\_sustainable\\_housing.pdf](http://standards.eu-innova.org/Files/Report/STAND-INN_D15_IFC_and_IFD_feasibility_for_innovative_sustainable_housing.pdf)> Acesso em: 16 set. 2009.
- HANDLER, L. **Modeling Walls for Construction in Revit**. BIMx, 10 dez. de 2006.

Disponível em: < <http://bimx.blogspot.com/2006/10/modeling-walls-for-construction-in.html>>. Acesso em: 05 dez. 2008.

HYVÄRINEN, J.; PORKKA J.; PIENIMÄKI, M.; KORKIALA-TANTTU, L.; MÄKELÄINEN, T.; KIVINIEMI, A. **Report 1: Objectives and Ramifications of Product Model-based System in Finnish Infra-sector: Targets and forecasts based on Norwegian experience.** INFRA 2010, VTT, 2006.

INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY. **BuildingSMART: Projects,** 2009. Disponível em: <[http://www.buildingsmart.com/content/projects\\_0](http://www.buildingsmart.com/content/projects_0)> Acesso em: 7 set. 2009.

INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY. **BuildingSMART: Regional Alliances,** 2008a. Disponível em: <[http://www.buildingsmart.com/content/buildingsmart\\_regional\\_alliances](http://www.buildingsmart.com/content/buildingsmart_regional_alliances)> Acesso em: 14 mar. 2009.

INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY. **Model – Industry Foundation Classes (IFC).** Building Smart. 2008b. Disponível em: <<http://www.buildingsmart.com/bim>> Acesso em: 27 abr. 2009.

KHEMLANI, L. Top criteria for BIM solutions: AECbytes Survey Results. **AECbytes,** 10 out. 2007. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/feature/2007/BIMSurveyReport.html>>. Acesso em: 29 out. 2008.

KHEMLANI, L. The IFC Building Model: A Look Under the Hood. **AECbytes,** [S.I.], 30 Mar. 2004. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/feature/2004/IFCmodel.html>>. Acesso em: 16 de março de 2009.

KIVINIEMI, A. **Support for Building Elements in the IFC 2x3 Implementations based on 6th Certification Workshop Result in May 2007.** VTT, 2007. Disponível em: <[http://www.coinsweb.nl/downloads/IFC\\_2x3\\_Data\\_Exchange.doc](http://www.coinsweb.nl/downloads/IFC_2x3_Data_Exchange.doc)> Acesso em: 27 de nov. 2008.

KIVINIEMI, A.; TARANDI, V.; KARLSHØJ, J.; BELL, H.; KARUD, O. **Review of the Development and Implementation of IFC Compatible BIM.** ERABUILD FUNDING ORGANIZATIONS, 2008. Disponível em: < <http://www.ebst.dk/file/9498/ReviewoftheDevelopmentandImplementationofIFCcompatibleBIM.pdf>> Acesso em: 15 out. 2009.

KRYGIEL, E.; DEMCHAK, G.; DZAMBAZOVA, T. **Introducing Revit Architecture 2008: BIM for beginners.** Indianapolis: Sybex, 2007.

MA, H.; HA, E.; CHUNG, J.; AMOR, R. Testing Semantic Interoperability. *In: JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND DECISION MAKING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING,* 2006, Montreal. **Proceedings ...** Montreal: ASCE, ICCCB, DMUCE, CIB-W78, CIB-W102, 2006. p. 1216-1225.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **United States National Building Information Modeling Standard.** Version1 – Part1: Overview, Principles and Methodologies – Transforming the Building Supply Chain Through Open and Interoperable Information Exchanges. National BIM Standard, 2007. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/bim/nbims.php>> Acesso em: 22 mai. 2009.

ONUMA PLANNING SYSTEM (OPS). ONUMA, 16 fev. 2008. Disponível em : <<http://onuma.com/products/OnumaPlanningSystem.php>>. Acesso em: 25 out. 2008.

PAZLAR T.; TURK Z. Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard., Special Issue Case studies of BIM use, **ITcon,** vol. 13, 2008. p. 362-380. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2008/24>> Acesso em: 27 mai. 2008.

TOBIN, J. Proto-Building: To BIM is to Build. **AECbytes,** 28 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding.html>>. Acesso em 3 out. 2008.

WONG, K. The Summer of BIM (Tech Trends Column). **Cadalyst**, 1 abr. 2008.  
Disponível em: <[HTTP://aec.cadalyst.com/aec/article/articleDetail.jsp?id=507889&pageID=1&sk=&date=](http://aec.cadalyst.com/aec/article/articleDetail.jsp?id=507889&pageID=1&sk=&date=)> Acesso em: 28 nov. 2008.