

Integração da Tecnologia BIM no Projeto de Estruturas de Betão

Bruno Ferreira¹

João Lima²

João Rio³

João Poças Martins⁴

RESUMO

A modelação, instrumentação e monitorização de estruturas têm vindo a ganhar uma importância crescente na área da construção civil. No entanto, a informação dela resultante nem sempre é devidamente organizada, armazenada e utilizada, impossibilitando a troca eficaz de informação entre os diversos agentes envolvidos. Pretende-se por isso perceber como são integrados os dados referentes a estruturas de betão nos novos sistemas de gestão de informação como os *Building Information Model*, BIM, que assentam na ideia de integrar toda a informação relacionada com um edifício ou projeto em um ou mais modelos digitais, interoperáveis entre si. Essa informação pode dizer respeito à fase de projeto, associada à construção da obra ou durante a sua vida útil.

As ferramentas para este tipo de modelação têm-se desenvolvido rapidamente, não havendo muitas vezes, por parte da comunidade de profissionais ligados às estruturas de betão, uma ideia concreta de como esse tema é tratado neste domínio. O objetivo deste estudo passa por explorar o modelo padrão da indústria da construção, que utiliza uma linguagem comum *standard* para essa indústria, conhecida como *Industry Foundation Classes*, IFC.

Para o efeito é levado a cabo uma revisão da última versão do IFC em busca das classes do modelo de base de dados relacionadas com a modelação estrutural. De seguida é modelada a estrutura de um edifício corrente e testada a transferibilidade da informação entre várias ferramentas BIM, tais como: modelação global, modelação estrutural, dimensionamento local e de visualização.

Palavras-chave: Tecnologias da Informação; Modelação; BIM; IFC; Estruturas de Betão.

1. INTRODUÇÃO

No domínio de atividade onde a engenharia civil se insere, a implementação de tecnologias de informação (TI) no processo produtivo, em particular a utilização de modelos de informação da construção (BIM), constitui uma verdadeira mudança de paradigma numa indústria que historicamente tem sido resistente à mudança. Tal mudança resultará numa alteração significativa nas atividades de conceção, projeto, construção, exploração e gestão de edificações, introduzindo na construção conceitos de gestão integrada ao longo do ciclo de vida também conhecido por *Product Lifecycle Management* (PLM), [1].

É importante salientar que o conceito BIM não se refere apenas a uma evolução tecnológica suportada por um qualquer *software* mas é fundamentalmente uma alteração profunda no processo produtivo de toda a indústria da construção, nomeadamente: 1) ao nível da conceção inicial do projeto, com a possibilidade de desenvolverem múltiplos cenários a partir de variações paramétricas da conceção

¹ DEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. brunofvferreira@gmail.com

² EPOCA, Gestão, Estudos e Projetos Lda., Porto, Portugal. joao_lima@netcabo.pt

³ LABEST, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. joao.rio@fe.up.pt

⁴ GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. jppm@fe.up.pt

global, simulando de forma antecipada a influência de variáveis como a organização espacial, o desempenho energético, a morfologia estrutural, o custo, entre outros; 2) ao nível da interação e colaboração entre os diversos intervenientes do processo, com a possibilidade de implementação de plataformas de trabalho colaborativo quer dentro de uma dada especialidade do projeto, quer de uma forma interdisciplinar; 3) ao nível da forma como a própria construção se processa, nomeadamente no que diz respeito à preparação e fabrico de subcomponentes da construção geral; 4) ao nível da exploração e gestão da obra construída com a utilização de modelos virtuais onde são registadas todas as ocorrências relevantes ao longo do ciclo de vida do edifício ou estrutura, [2].

A recente publicação no Reino Unido de um plano estratégico para o sector da construção, [3], que estabelece, entre outros, o objetivo de implementação total do processo BIM na contratação pública até 2016, vem re-centrar a discussão, sobre a necessidade e/ou oportunidade de se prosseguir com a implementação sistemática de processos de conceção, produção e exploração suportados na tecnologia que os BIM oferecem.

A ausência de uma linguagem comum acarreta reintrodução de dados, falta de interação entre *softwares*, pouco entendimento entre agentes da construção e uma utilização ineficaz das tecnologias da informação, [5]. A resposta a estes problemas passa pela padronização da informação na indústria da construção. Dentro deste âmbito destaca-se o *Industry Foundation Classes* (IFC), [4], que procura criar uma linguagem comum e compatível com as diferentes aplicações, de forma a padronizar o processo construtivo e a explorar ao máximo as vantagens de utilização dos *softwares* BIM, [2].

2. PROJETOS DE ESTRUTURAS

Os engenheiros projetistas estão, desde há vários anos, familiarizados com a utilização de modelos computacionais para a análise e dimensionamento das estruturas. Os modelos que têm vindo a ser correntemente desenvolvidos têm como objetivo a análise, dimensionamento e pormenorização, partindo de uma conceção geral previamente definida. Neste processo de análise e dimensionamento distinguem-se dois tipos principais de abordagem ao processo de modelação, nomeadamente a modelação global e a modelação local, [6], [7].

O modelo global, será assim um modelo sem elevado grau de refinamento, aproximando a geometria das estruturas apenas com rigor suficiente para o tipo de análise a desenvolver, tendo como objetivos principais a identificação do caminho de repartição de cargas, a avaliação da resposta global às ações verticais e horizontais, a quantificação dos esforços em elementos de fundações e, em alguns casos, a verificação do faseamento construtivo no comportamento global.

Por outro lado, um modelo local procura refinar a análise numa zona específica da estrutura, por exemplo em zonas de descontinuidade, ou simular de forma isolada e com maior detalhe elementos estruturais com comportamento complexo, recorrendo a ferramentas de análise especificamente concebidas e desenvolvidas para o efeito.

Tem vindo a ser prática corrente na elaboração dos projetos a utilização conjunta de múltiplos modelos globais e locais na análise das estruturas. Estes vários modelos são desenvolvidos com um objetivo muito específico dentro do processo global de análise e dimensionamento, com recurso a ferramentas distintas. De uma forma geral, a biblioteca de programas disponível num gabinete de projetos apresenta pouca ou nenhuma interoperacionalidade entre si, resultando num processo informal de gestão do fluxo de informação. A forma mais comum de apresentação do projeto ainda é o formato CAD 2D, em que as peças desenhadas desenvolvidas são geradas de raiz sem qualquer interligação com os modelos 3D de cálculo que as suportam. Aumenta assim a necessidade de sincronização entre as diferentes plataformas, que se processa com forte dependência da componente humana, [8].

O aumento da complexidade dos projetos conduz ao aumento da importância da gestão da informação, nomeadamente no que diz respeito à atualização da informação entre os diferentes modelos e plataformas utilizadas. Por outro lado, a figura de um cliente final mais exigente conduz a um aumento de rigor no cumprimento de custos e prazos. A este propósito refira-se o enquadramento legal vertido no Código dos Contratos Públicos (CCP), [9], que exige maior responsabilização dos projetistas pelos trabalhos de suprimento de erros e omissões face à anterior legislação, impondo a responsabilização dos projetistas com a possibilidade de o dono de obra acionar o direito de indemnização por erros e omissões até ao triplo dos honorários contratualmente estabelecidos. Assim, os conceitos de gestão e modelos de informação para a construção assumem um papel nuclear no sucesso do projeto e na superação dos desafios que resultam.

Conceptualmente o BIM vem oferecer aos engenheiros projetistas um processo de organização e partilha de informação suportado numa base de dados global com informação estruturada num formato normalizado, onde consta toda a informação considerada necessária para definir uma estrutura. Num modelo BIM, cada elemento constituinte da estrutura é assemelhado a um objeto que contém todas as propriedades relevantes que o definem e caracterizam. O modelo é assim a congregação de todos os objetos associados à estrutura modelada. Este modelo permite ainda a visualização da geometria num ambiente 3D, a geração automática de peças desenhadas em suportes 2D, a extração de listas de quantidades, aferição de custos, verificação da segurança de elementos estruturais, entre outros.

No âmbito do projeto de estruturas existem 3 campos principais para a implementação de um processo BIM designadamente, a coordenação interdisciplinar, a análise e dimensionamento de estruturas e a documentação do projeto, ver Fig. 1.

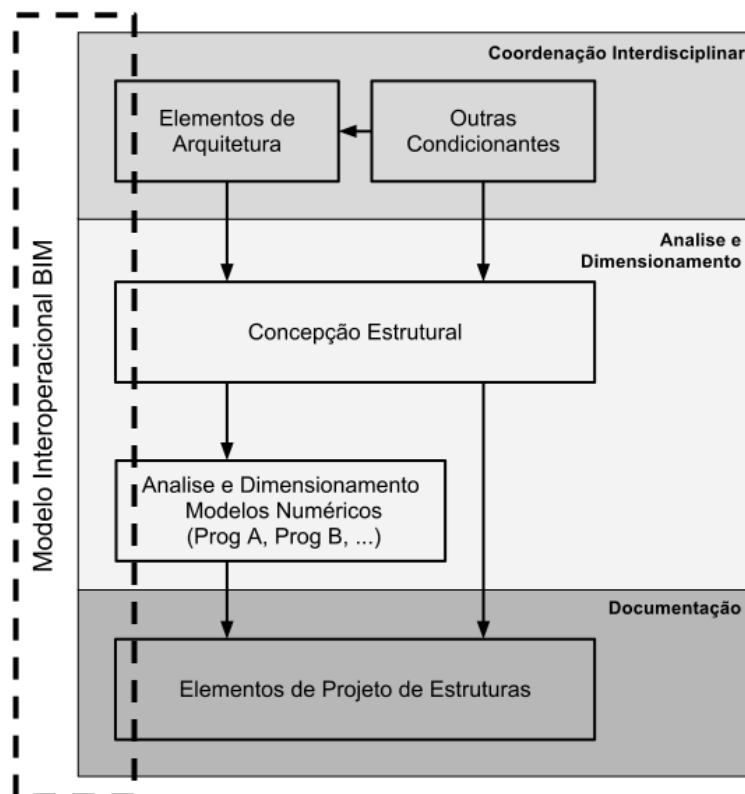


Figura 1. Esquema de integração de modelos BIM no projeto de estruturas.

Ao nível da coordenação interdisciplinar a adoção de um processo BIM permite um ganho de eficiência face às práticas correntes por duas vias: (1) desenvolvimento e utilização de famílias de software comercial que contenham funções colaborativas que permitam, por exemplo, a partilha de

modelos de trabalho atendendo a um conjunto de permissões dadas a cada interveniente e; (2) o desenvolvimento e utilização de plataformas abertas para a troca de modelos (projetos) completos, em que cada interveniente contribui para a construção de um modelo global que incorpora um conjunto alargado de informação.

A documentação do projeto é porventura o domínio de aplicação do processo BIM onde os benefícios imediatos a obter pelos projetistas são mais evidentes. A facilidade com que é possível gerar peças desenhadas a partir do modelo tridimensional é uma função de base das ferramentas BIM mais populares. Neste contexto importa avaliar não só a qualidade relativa entre os elementos tradicionais e os obtidos automaticamente mas também a própria necessidade de desenvolver este tipo de peças desenhadas de acordo com as regras de representação tradicionais. Estas peças desenhadas são meras vistas parciais de um modelo global, que contém um conjunto muito mais alargado de informação. A produção automática de peças escritas e desenhadas de projeto é um exemplo de um benefício resultante da automação de processos, categoria que inclui as vantagens mais evidentes da aplicação de TI, [10], na construção uma vez que não implicando necessariamente uma transformação significativa dos métodos de trabalho atuais, conduz a um aumento significativo da fiabilidade do processo e da produtividade.

A análise e dimensionamento a partir de modelos BIM será uma das áreas de desenvolvimento em que o contributo dos engenheiros civis é mais necessário. A ideia de uma plataforma comum que permite gerir e transferir os dados entre diferentes aplicações de forma unificada afigura-se como conceptualmente interessante mas está ainda longe de estar concretizado. Com efeito o modelo IFC atual revela carências evidentes nesta área pelo que a validação crítica do modelo de dados existente é uma condição necessária, ainda que não suficiente, ao sucesso futuro dos BIM enquanto veículo de transferência de informação em formato aberto.

3. MODELO IFC

Um dos desafios dos sistemas de gestão de informação, e em particular daqueles voltados para a área da construção, é a padronização da informação. Para colmatar esta lacuna, várias iniciativas foram surgindo na indústria da construção para criar um *standard* para a representação e organização de produtos da construção, das quais se destaca o *Industry Foundation Classes*, IFC, já que atingiu o estado de formato padrão *ad-hoc*. O modelo IFC é uma linguagem em formato aberto, compatível com várias aplicações BIM, permitindo uma padronização do processo construtivo, [2]. A utilização dos BIM na indústria da construção, têm o potencial para mudar paradigmas de comunicação entre a equipa de projeto e a de construção, [13].

Uma vez que o IFC é um formato de troca de dados aberto que captura informação da construção, pode ser usado por aplicações comerciais e não comerciais de construção para troca de dados entre eles, [14], [15]. O modelo IFC representa os componentes de construção tangíveis, tais como portas, paredes, tetos, janelas, etc. em geral; e pilares, vigas, lajes, fundações, etc. em particular; assim como entidades mais abstratas, como horários, espaços, atividades, custos de construção, organização, etc. Essas entidades têm uma série de atributos tais como identificação única, nome, geometria, materiais, acabamentos, inter-relacionamentos e assim por diante, [15]. O modelo IFC, [18], usa a linguagem de definição de dados EXPRESS dada em ISO 10303-11,[16], [17], um subconjunto da linguagem STEP, [14]. A arquitetura do modelo IFC fornece uma estrutura para o desenvolvimento de componentes modulares. Existem quatro camadas conceituais dentro da arquitetura do modelo, utilizando uma referência hierárquica restrita, ver Fig. 2.

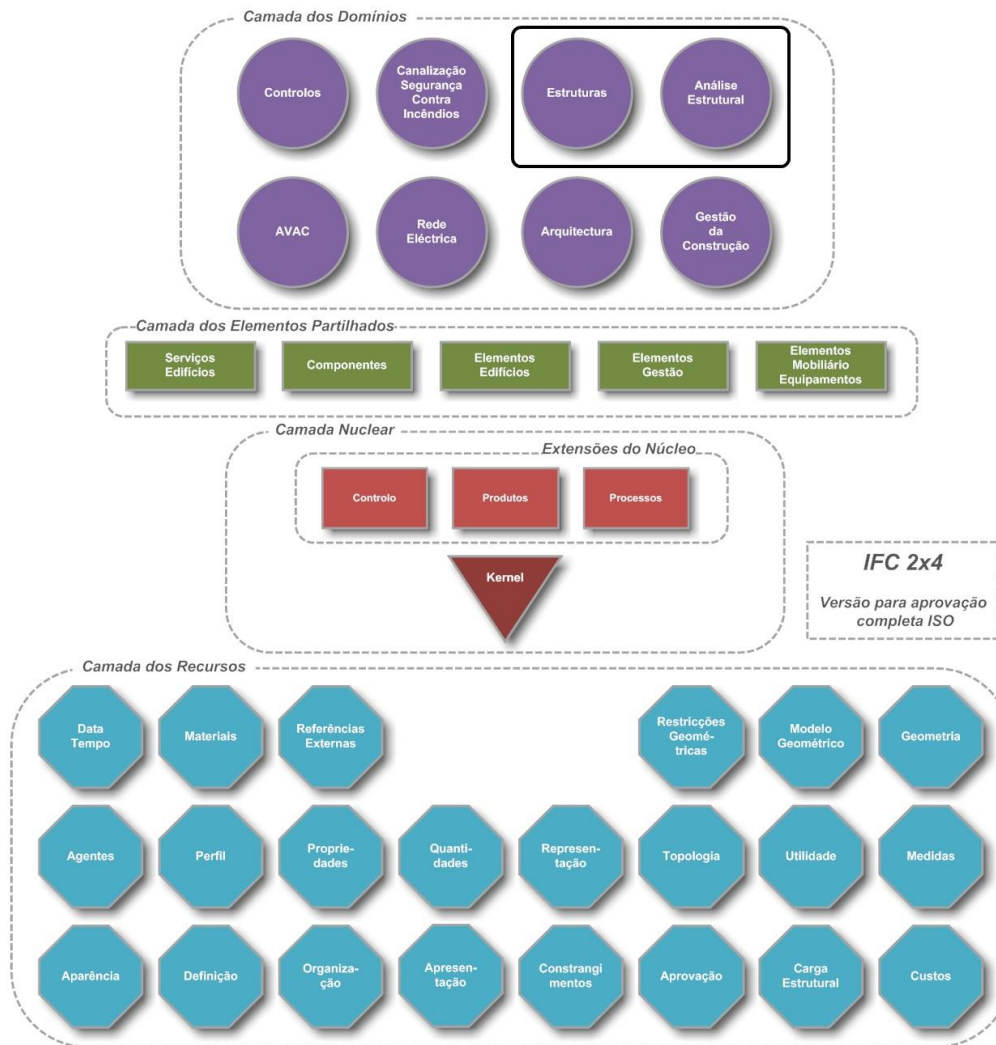


Figura 2. Estrutura de base de dados do modelo IF, versão 2x4, [4].

Dentro de cada camada é definido um conjunto de esquemas modelo. A primeira camada conceptual, na base, fornece classes de recursos usadas por classes em níveis mais elevados. A segunda camada oferece um modelo nuclear de projeto. Este núcleo contém as extensões do núcleo e o *Kernel*. A terceira camada conceptual fornece um conjunto de módulos que definem noções ou objetos comuns em vários tipos de aplicativos ou áreas da indústria da construção. Esta é a camada de interoperabilidade. Finalmente, a quarta camada do IFC, no topo, é a Camada dos Domínios. Esta proporciona um conjunto de módulos adaptados para a área específica da indústria da construção ou tipo de aplicação. Além disso, essa camada contém adaptadores modelo especializados para domínios/modelos de aplicativos que não estão incluídos na arquitetura do modelo IFC. A arquitetura do modelo opera com um princípio de escadas ou níveis. Em qualquer camada, uma classe pode fazer referência a outra classe na mesma camada ou numa camada inferior, mas não pode fazer referência a uma classe de uma camada superior. As referências feitas na mesma camada devem ser concebidas com muito cuidado a fim de manter a modularidade na conceção do modelo, [2].

4. CLASSES ESTRUTURAIS NO MODELO IFC

Dentro do modelo IFC foram identificadas as principais classes referentes a elementos estruturais do tipo lajes, vigas, pilares e muros, definidas nomeadamente como *IfcSlab*, *IfcBeam*, *IfcColumn*, e *IfcWall*. Todas estas classes possuem características semelhantes, no entanto cada uma delas tem as suas definições próprias específicas, baseadas na ISO 6707-1:2004(E) sob orientação da *BuildingSmart*, anteriormente conhecida como *International Alliance for Interoperability* (IAI). Todas

estas classes são parte da uma classe mais elevada *IfcBuildingElements*, têm mais que uma classe ou subclasse no modelo IFC, que dizem respeito a se são elementos standards, ou seja, com geometrias regulares, ou se são elementos com geometrias não regulares. Todas elas permitem ainda definir a sua relação com outros elementos estruturais e não estruturais, ver Fig. 3.

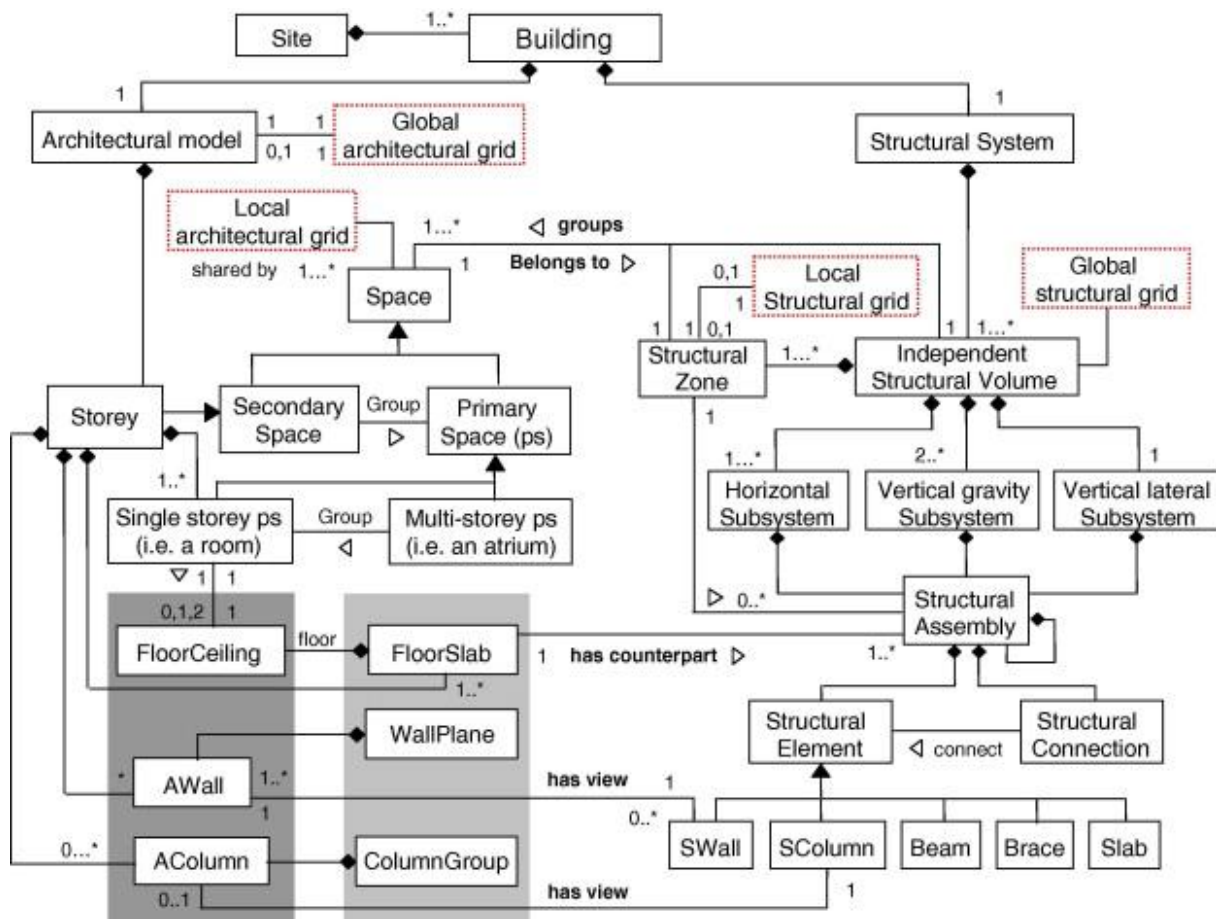


Figura 3. Esquema com relação entre vários elementos estruturais num edifício, obtido de [8].

A título de exemplo discute-se o caso das lajes, que estão definidas na classe *IfcSlab*. Este objeto é definido como uma componente da construção, que delimita espaços acima e abaixo de si mesma, assim como é ele próprio um elemento construtivo. A laje pode fornecer um suporte inferior se for de piso ou um limite superior da construção se for de cobertura. Deve notar-se que associados ao elemento laje surgem acabamentos superiores tipo enchimento e revestimentos, e acabamentos inferiores, tipo teto suspenso, que são considerados como revestimentos, fazendo assim parte do objeto principal. Ainda relacionado com a classe *Ifcslab* existem as aberturas e vãos, representadas pela classe *IfcOpeningElement*, relação essa que é formalizada por um objeto de ligação com o nome *IfcRelVoidsElement*. O IFC oferece três entidades para ocorrências de lajes:

- *IfcSlabStandardCase* usado para todas as ocorrências de lajes, que são prismáticas e onde o parâmetro espessura pode ser completamente descrita pela *IfcMaterialLayerSetUsage*. Essas placas são sempre representadas geometricamente por uma geometria *SweptSolid*, se uma representação geométrica 3D lhe é atribuída. Além disso, eles têm que ter uma *IfcMaterialLayerSetUsage* correspondente atribuída.
- *IfcSlabElementedCase* usado para ocorrências de lajes que são agregadas a partir de elementos subordinados, seguindo regras específicas de decomposição expressas pelo uso obrigatório de relacionamento *IfcRelAggregates*.
- *IfcSlab* usado para todas as outras ocorrências de lajes, em particular para lajes com geometria não regular, com mudança de espessura, com superfícies não planas, ou outros casos.

Sendo que por sua vez, cada tipo de objecto laje pode ser de vários tipos, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Enumeração dos Tipos de laje no modelo IFC 2x4.

<i>Tipo</i>	<i>Descrição</i>
<i>Floor</i>	Representa uma laje comum, seleccionada por defeito
<i>Roof</i>	Representa uma laje de cobertura, horizontal ou inclinada
<i>Landing</i>	Representa um laje patamar, por exemplo em escadas ou rampas de acesso
<i>BaseSlab</i>	Representa uma laje térrea, logo parte das fundações

Todas estas entidades (*IfcBeam*, *IfcColumn*, *IfcSlab* e *IfcWall*) têm classes de informação nelas definidas de forma a predeterminar como guardar essa informação e facilitar a sua troca entre os vários agentes. Estas classes de informação são as seguintes:

- a) *Type Use Definition*;
- b) *Material Use Definition*;
- c) *Property Set Use Definition*;
- d) *Quantity Use Definition*;
- e) *Containment Use Definition*;
- f) *Geometry Use Definition*.

A classe *Type* define a ocorrência de cada elemento estrutural e a informação sobre o tipo de elemento de uma lista de tipos pré-definidos. A propriedade *Material* adquire as informações correspondentes aos materiais constituintes do elemento, sendo que para elementos do mesmo tipo se pode definir materiais comuns para cada tipo. A classe *Property Set* permite a criação de conjuntos de propriedades extensíveis ou dinâmicas, no sentido que podem guardar informação arbitrada pelo modelador, podendo ser personalizadas de modo a permitir um melhor manuseamento dos diferentes tipos de informação, como melhor se adequar. Para a classe *Quantity* define as quantidades relativas de cada elemento estrutural e permite também que sejam anexados outros valores de medições, como por exemplo no caso de ser utilizado um método de medição diferente. A classe *Containment* faz referência ao confinamento hierárquico espacial, e à agregação dentro de uma assemblagem, do elemento. Por exemplo diz em que piso se situa esse elemento. Por último surge a classe *Geometry* que faz referência à geometria. É aqui que estão guardadas as informações referentes à representação geométrica, sendo que esta pode ser múltipla. Esta propriedade possui um sistema de coordenadas locais que é referenciado por todas as representações geométricas. Se o posicionamento relativo não é usado, o posicionamento absoluto é definido dentro do sistema de coordenadas global. Esta propriedade possui ainda os dados relativos a representação geométrica, da superfície e do corpo do elemento.

Apresenta-se a seguir, na Fig. 4, um exemplo de um pilar de betão, modelado num software de modelação genérico, em que um pilar de betão está seleccionado, e as classes do objeto estão dadas no próprio menu.

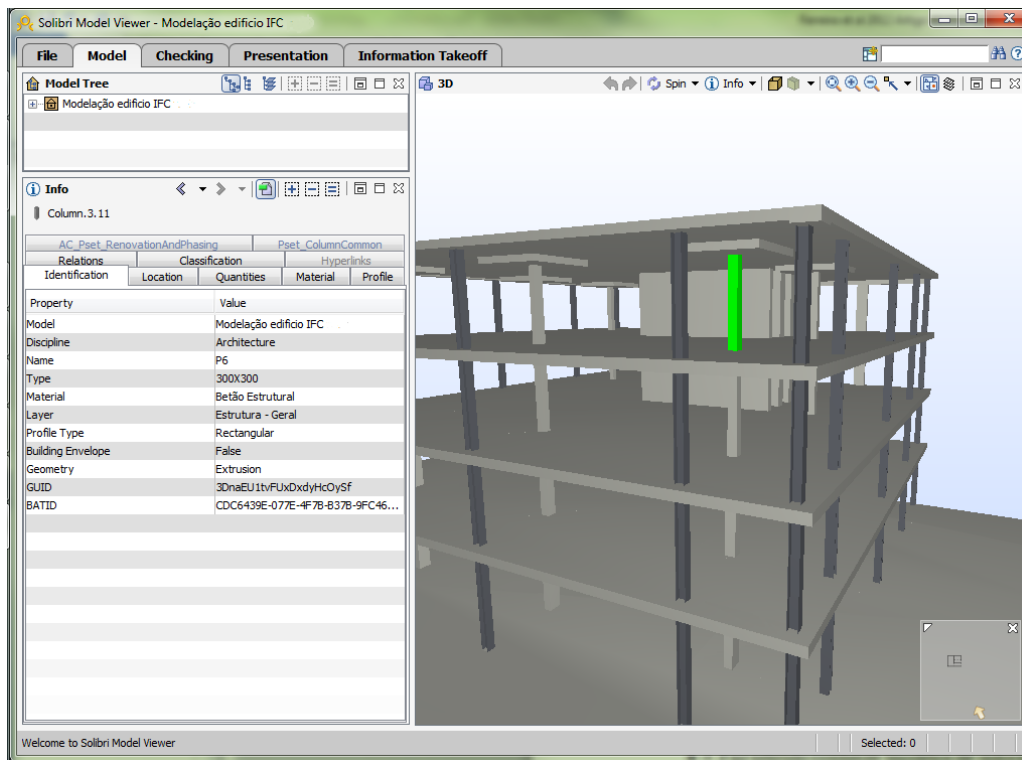


Figura 4. Vista de modelo BIM/IFC com informação sobre objeto pilar de betão.

CONCLUSÕES

São aparentes as vantagens de utilizar um modelo interoperacional na conceção estrutural e preparação de projeto de estruturas, em coordenação com os outros agentes de projeto e da própria obra. Principalmente se se considerar o caráter obrigatório que começa a surgir em alguns países desenvolvidos.

Na utilização de tecnologia BIM, se for realmente valorizado o seu carácter interoperacional, faz sentido conhecer modelos de informação standard e abertos que serão necessariamente mais transferíveis. Sendo assim os agentes devem também conhecer os aspectos relevantes dos modelos de informação, nomeadamente das classes que dizem respeito às estruturas em geral e às estruturas de betão em particular.

Os softwares existentes implementam já, com vários graus de sucesso, a tecnologia de modelo de informação IFC, sendo que a sua interoperabilidade ainda não é suficiente. No entanto, permite já alguma transferência de informação entre modelos gerais e modelos estruturais. O próprio modelo IFC tem lacunas que não permitem, para já, incluir alguma da informação essencial ao projecto de estruturas, nomeadamente características materiais. Note-se que um modelo permite a inclusão de propriedades adicionais à estrutura original do IFC, sendo que este desvio à norma constitui uma barreira à interoperabilidade pretendida. Assim, considera-se que o modelo IFC, no seu estado actual, não pode assumir por si só o papel de agente de interoperabilidade entre sistemas de informação na área das estruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação para a Ciência e Tecnologia, FCT, pelo apoio financeiro às unidade de investigação assim como pelo apoio particular sob a forma de um contrato Ciência 2008.

REFÊRENCIAS

- [1] Grieves, M. (2005). *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*. McGraw-Hill, p. 288. ISBN: 978-0071452304.
- [2] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. (2009) *BIM Handbook, A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. 2nd ed. 650 p, Wiley, Hoboken, New Jersey.
- [3] UK Cabinet Office (2011). *Government Construction Strategy*.
- [4] GEQUALTEC (2012). *Industry Foundation Classes. WIQI*. [Online]. Available: <http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=IFC>. [Accessed: 05-Jun-2012].
- [5] Mufti, A.; Bakht, B.; Tadros, G.; Horosko, A. T.; Sparks, G. (2007). Civionics A New Paradigm in Design, Evaluation, and Risk Analysis of Civil Structures. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 18, N. 8, pp. 757-763. DOI: 10.1177/1045389x06074572.
- [6] Williams, A. (2009). *Structural Analysis: In Theory and Practice*. Elsevier, 2009, 599 p. ISBN: 978-1-85617-550-0.
- [7] Rombach, G. A. (2004). *Finite element design of concrete structures*. Thomas Telford, p. 300. ISBN: 0 7277 3274 9
- [8] Mora, R.; Bédard, C.; Rivard, H. (2008). A geometric modelling framework for conceptual structural design from early digital architectural models. *Advanced Engineering Informatics*, Vol 22, N. 2, pp. 254-270. DOI: 10.1016/j.aei.2007.03.003.
- [9] Código dos Contratos Públicos - Decreto-Lei n.º 18/2008 de 29 de Janeiro.
- [10] Marsh, L.; Flanagan, R. (2000). Measuring the costs and benefits of information technology in construction. *Engineering Construction and Architectural Management*, Vol. 7, N. 4, pp. 423–435. DOI: 10.1046/j.1365-232x.2000.00177.x
- [11] Martini, K.; Powell, G. H. (1990). Geometric modelling requirements for structural design. *Engineering with Computers*, Vol. 6, N. 2, pp. 93-102. DOI: 10.1007/BF01200241.
- [12] Grzybek, H. (2010). Inclusion of Temporal Databases with Industry Foundation Classes - a basis for adaptable intelligent buildings. in *ICISO 2010 Proceedings of the Twelfth International Conference on Informatics and Semiotics in Organisations*. pp. 24-31.
- [13] Smith, D. K.; Tardif, M. (2009). *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. p. 216, Wiley, New Jersey. ISBN: 978-0-470-25003-7.
- [14] ISO; TC184 *ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 1: Overview and fundamental principles*. ISO, 1994.
- [15] Khemlani, L. *The IFC Building Model: A Look Under the Hood* (2004). [Online]. Available: <http://www.aecbytes.com/feature/2004/IFCmodel.html>.
- [16] TC184; ISO *ISO 19393-11 2004 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*. ISO, 2004.
- [17] BuildingSmart *buildingSMART International Limited - Industry Foundation Classes* (2011) [Online Documentation]. Available in <http://www.iai-tech.org/>.
- [18] ISO, TC184, and BuildingSMART, *ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform)*. ISO, 2008, p. 205.