



Gustavo Henrique Auad Freire

**Interoperabilidade no processo BIM utilizando
Industry Foundation Classes (IFC) para
Modelagem de Estruturas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio

Orientador : Prof. Luiz Fernando Martha
Co-Orientador: Prof. Elisa Dominguez Sotelino

Rio de Janeiro
Julho de 2015



Gustavo Henrique Auad Freire

**Interoperabilidade no processo BIM utilizando
Industry Foundation Classes (IFC) para
Modelagem de Estruturas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Fernando Martha

Orientador

Departamento de Engenharia Civil — PUC-Rio

Prof. Elisa Dominguez Sotelino

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Civil — PUC-Rio

Prof. André Maués Brabo Pereira

Universidade Federal Fluminense

Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 8 de Julho de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Gustavo Henrique Auad Freire

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade da Amazônia (Belém, Pará, Brasil), trabalhou na construtora Freire Mello LTDA na área de execução e gestão de obra civil. Trabalhou também na empresa Porte Engenharia LTDA em obra de edificação residencial, participando ativamente da gestão, planejamento e controle da execução da obra. Possui responsabilidade técnica na execução da construção de prédio comercial situado na cidade de Belém/PA. cursou parcialmente especialização em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente está cursando Mestrado em Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro na área de concentração em Estruturas.

Ficha Catalográfica

Freire, Gustavo Henrique Auad

Interoperabilidade no processo BIM utilizando Industry Foundation Classes (IFC) para Modelagem de Estruturas / Gustavo Henrique Auad Freire; orientador: Luiz Fernando Martha; co-orientador: Elisa Dominguez Sotelino. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

v., 141 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Tese. 2. BIM. 3. Interoperabilidade. 4. IFC. I. Martha, Luiz Fernando. II. Sotelino, Elisa Dominguez. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 510

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela concessão da vida, por suas bênçãos e por toda a sua bondade.

Ao meu orientador e co-orientadora, Luiz Fernando Martha e Elisa Sotelino, pelo apoio, paciência e compreensão a mim dedicados durante a realização deste trabalho.

Aos professores que participaram da banca avaliadora.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, pela entrega e dedicação na missão de repassar o conhecimento.

Aos meus pais, Antônio Freire e Rosângela Auad, pelo amor que sempre me deram, pela educação que me proporcionaram e por sempre me apoiarem e me guiarem na melhor direção para o cumprimento dos meus objetivos e realização de sonhos.

Ao meu irmão, Igor Freire, por ser um eterno companheiro, pelo seu conhecimento e por estar sempre disponível a ajudar, concedendo suporte técnico na utilização da linguagem \LaTeX para a elaboração do presente trabalho.

À toda a minha família, pelo amor e confiança em mim depositados, constituindo base sólida para a construção da minha personalidade e educação.

À minha namorada, Marcella Strufaldi, pelo apoio e carinho de sempre, me trazendo serenidade em momentos difíceis.

Aos colegas do curso por demonstrarem companheirismo e amizade ao enfrentarem as mesmas dificuldades que eu.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Freire, Gustavo Henrique Auad; Martha, Luiz Fernando; Sotelino, Elisa Dominguez. **Interoperabilidade no processo BIM utilizando Industry Foundation Classes (IFC) para Modelagem de Estruturas**. Rio de Janeiro, 2015. 141p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente difusão e aplicação dos processos BIM (Building Information Modeling) na indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) vem agrupando atores das mais variadas disciplinas e lugares em um mesmo projeto. A velocidade com que as informações são passadas atualmente, torna necessária a busca pela maior eficiência na prática do BIM. O fluxo de trabalho necessita ser melhorado para atender à demanda do mercado em prazos cada vez mais curtos. Um dos grandes obstáculos que surge nos processos BIM é a falta de flexibilidade na utilização dos softwares, ocorrendo muitos problemas de incompatibilidade de informações dentro de um projeto. A interoperabilidade passa a ser um assunto mundialmente discutido e buscado. Foi criado um formato neutro para intercâmbio de informações nas indústrias AEC, o Industry Foundation Classes (IFC). A dificuldade ocorre na criação, adoção e implementação de um formato que consiga representar de maneira correta os mais variados elementos relacionados às diferentes disciplinas envolvidas no projeto. Este trabalho tem como objetivo a avaliação da interoperabilidade nos processos BIM utilizando um modelo físico-estrutural de concreto armado e o IFC como formato neutro de troca de informação. Analisa de forma relativa a eficiência com que as informações são trocadas entre as diferentes ferramentas computacionais utilizadas, com ênfase na Análise Estrutural.

Palavras-chave

BIM; Interoperabilidade; IFC;

Abstract

Freire, Gustavo Henrique Auad; Martha, Luiz Fernando (Advisor); Sotelino, Elisa Dominguez (Co-Advisor). **Interoperability in the BIM process utilizing Industry Foundation Classes (IFC) for Structural Modeling**. Rio de Janeiro, 2015. 141p. MSc. Thesis — Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing diffusion and application of BIM (Building Information Modeling) processes in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry has been gathering different actors in a variety of disciplines and from different places in the same project. The speed with which information is passed today demands the search for greater efficiency in the BIM practice. The workflow needs to be improved to meet market demand in increasingly short deadlines. One of the major obstacles that arise in the BIM process is the lack of flexibility in the use of programs, occurring many information incompatibility issues within a project. Interoperability becomes a subject discussed around the world and pursued. A neutral format was created to exchange information in the AEC industry, the Industry Foundation Classes (IFC). The difficulty occurs in the creation, adoption and implementation of a format that can represent correctly the various elements related to the different disciplines involved in the project. This work aims to evaluate the interoperability in BIM processes using a reinforced concrete physical-structural model using the IFC as a neutral format for information exchange. Analyzes the efficiency with which information is exchanged between different computer tools, emphasizing the Structural Analysis.

Keywords

BIM; Interoperability; IFC;

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Hipóteses	19
1.4	Escopo	19
2	Trabalhos Relacionados	20
2.1	ANDRADE E RUSCHEL (2009)	20
2.2	JEONG (2009)	20
2.3	MULLER (2011)	22
2.4	CARVALHO (2013)	23
2.5	FERNANDES (2013)	25
2.6	PINHO (2013)	26
2.7	Conclusão do Capítulo	26
3	Revisão Conceitual	29
3.1	Building Information Modeling - BIM	29
3.2	Interoperabilidade	34
4	Avaliação de Interoperabilidade utilizando o IFC	53
4.1	Metodologia aplicada	53
4.2	Modelo de estrutura de concreto armado com cargas modelado no Autodesk Revit 2015.	55
4.3	Validação do Modelo	58
4.4	Modelo Padrão IFC - Plataformas BIM de Modelagem	68
4.5	Modelo Padrão IFC - Ferramentas BIM de Análise Estrutural	94
5	Análise dos Resultados	121
5.1	Resultados: Plataformas BIM de Modelagem	123
5.2	Resultados: Ferramentas BIM de Análise Estrutural	127
6	Conclusão e Sugestão para Trabalhos Futuros	135
6.1	Conclusão	135
6.2	Sugestão para Trabalhos Futuros	137

Lista de figuras

2.1	Intercâmbio de informação detalhado, retirado de Jeong et al. (2009).	21
2.2	Método experimental e processo para testar o suporte de tradutores de intercâmbio, retirado de Jeong et al. (2009).	22
2.3	Resumo dos experimentos de interoperabilidade, retirado de Muller (2011).	23
2.4	Resumo dos experimentos de interoperabilidade do estudo, retirado de Carvalho (2013).	24
2.5	Modelo estrutural relativo ao trabalho desenvolvido para o primeiro caso de estudo, retirado de Fernandes (2013).	25
2.6	Render 3D do balneário que se apresenta como o segundo caso de estudo, retirado de Fernandes (2013).	25
2.7	Resumo dos resultados obtidos a partir dos testes de interoperabilidade, retirado de Pinho (2013).	27
3.1	Trabalho colaborativo entre os atores em um processo integrado BIM.	30
3.2	Esquema de IPD em processos BIM na indústria AEC, adaptado de Addor et al. (2010).	32
3.3	A “Curva de Macleamy”, adaptado de Eastman et al. (2008).	33
3.4	A organização da buildingSMART	38
3.5	Definição da árvore de subtipos de <i>IfcRoot</i> . Retirada de Liebich et al. (2004).	40
3.6	Definição de <i>IfcObject</i> . Retirada de Liebich et al. (2004).	41
3.7	Tipos de entidade derivados de <i>IfcObject</i> . Retirada de Liebich et al. (2004).	42
3.8	Definição dos subtipos de <i>IfcRelationship</i> . Retirada de Liebich et al. (2004).	43
3.9	Definição dos subtipos do <i>IfcPropertyDefinition</i> . Retirada de Liebich et al. (2004).	45
3.10	Definições e configurações	47
3.11	Arquitetura técnica básica do IDM, adaptado de Wix e Karlshoej (2010)	49
3.12	Partes funcionais em um requisito de intercâmbio de informações, adaptado de Wix e Karlshoej (2010)	50
3.13	Fluxo de registro de necessidades para implementação em ferramentas de software e certificação das ferramentas, adaptado de Buildingsmart (2011).	50
3.14	Pirâmide com os três conceitos básicos do OPEN BIM, adaptado de Buildingsmart (2015a).	51
4.1	Metodologia Aplicada.	53
4.2	Modelo físico-estrutural criado no ambiente <i>Autodesk Revit 15</i> .	56
4.3	Modelo analítico da estrutura no ambiente Revit.	57
4.4	<i>Add-in</i> instalado com maiores opções para exportação em IFC.	57
4.5	Configuração do arquivo IFC a ser exportado.	58

4.6	Janela de configuração do arquivo IFC a ser exportado.	58
4.7	Validação da geometria global do modelo.	60
4.8	Propriedades da viga posicionada na borda do prédio.	61
4.9	Propriedades da viga posicionada na borda do prédio.	61
4.10	Propriedades das vigas internas.	62
4.11	Vista de corte transversal mostrando claramente a formação de um "dente" nas vigas de borda.	62
4.12	Vista de corte transversal com a definição de novo contorno para a laje, sem o <i>overlap</i> de geometrias .	63
4.13	Perfil da viga selecionada devidamente interpretado pelo <i>Solibri Model Viewer</i> .	64
4.14	<i>IfcLabel</i> da viga selecionada.	64
4.15	Entidade <i>IfcBeam</i> correspondente à viga selecionada, dentro do esquema IFC gerado pelo <i>Revit</i> .	65
4.16	Árvore de subtipos do <i>IfcBeam</i> em análise no modelo A.	66
4.17	Árvore de subtipos do <i>IfcBeam</i> em análise no modelo B.	67
4.18	Árvore de subtipos do <i>IfcBeam</i> em análise no modelo B.	68
4.19	Tradutor selecionado.	70
4.20	Planta baixa do térreo, com todos os elementos devidamente posicionados.	70
4.21	Visão geral do modelo 3D importado.	71
4.22	Geometria e propriedades físicas do elemento de rampa foram mantidas.	71
4.23	Geometria e propriedades físicas da escada foram mantidas.	72
4.24	Vista de elevação com cotas dos níveis devidamente preservadas.	72
4.25	Geometria e propriedades físicas das vigas foram mantidas.	73
4.26	Geometria e propriedades físicas dos pilares foram mantidas.	73
4.27	Geometria e propriedades físicas das lajes foram mantidas.	74
4.28	Janela de propriedades da parede estrutural selecionada.	74
4.29	Janela de propriedades da sapata de fundação selecionada.	75
4.30	Conversão de objetos IFC em elementos nativos do <i>Tekla</i> .	76
4.31	Modelo já convertido e consolidado como nativo no ambiente do <i>Tekla</i> .	77
4.32	Janela de propriedades da viga selecionada.	77
4.33	Propriedades da seção da viga selecionada.	78
4.34	Janela de propriedades do pilar selecionado no modelo.	78
4.35	Janela de propriedades da laje selecionada.	79
4.36	Janela de propriedades da parede estrutural selecionada.	79
4.37	Janela de propriedades da rampa.	80
4.38	Janela de propriedades dos blocos de fundação.	80
4.39	Vista 3D das escadas.	81
4.40	Janela de opções de importação IFC	82
4.41	Biblioteca de normas disponíveis.	83
4.42	Relatório de Importação do IFC gerado pelo <i>Scia Engineer</i> .	83
4.43	Visualização 3D do modelo IFC importado.	84
4.44	Modelo Analítico 3D gerado no <i>Nemetschek Scia Engineer</i> .	85
4.45	Presença de nós inconsistentes.	85
4.46	Propriedades da viga CS16 selecionada.	87

4.47	Propriedades da viga CS9 selecionada.	87
4.48	Propriedades do pilar CS3 selecionado.	88
4.49	Propriedades do pilar CS4 selecionado.	88
4.50	Propriedades da laje selecionada.	89
4.51	Propriedades da parede estrutural selecionada.	89
4.52	Propriedades da rampa.	90
4.53	Entidade a qual a rampa está associada no modelo IFC.	90
4.54	Propriedades da rampa.	91
4.55	Propriedades da escada.	92
4.56	Propriedades da sapata selecionada.	92
4.57	Visão geral do modelo de elementos finitos gerado no Robot a partir do IFC.	95
4.58	Modelo 3D extrudado no Robot.	95
4.59	Inconsistência nos nós do modelo.	96
4.60	Viga com informação perdida da seção.	97
4.61	Viga com informação perdida da seção.	97
4.62	Propriedades da seção do pilar selecionado.	98
4.63	Pilares corretamente rotacionados.	98
4.64	Janela de propriedades da laje selecionada.	99
4.65	Existência da abertura em laje.	99
4.66	Escada inconsistente.	100
4.67	Paredes Estruturais	100
4.68	Apoio incoerente e sapatas modeladas no Revit não estão sendo consideradas como apoios.	101
4.69	Modelo Analítico 3D gerado a partir de <i>link</i> direto entre <i>Revit</i> e <i>Robot</i> .	102
4.70	Modelo 3D extrudado gerado a partir de <i>link</i> direto entre <i>Revit</i> e <i>Robot</i> .	102
4.71	Preservação dos casos de carga e carregamentos criados no Revit.	103
4.72	Modelo analítico 3D no ambiente SAP2000	104
4.73	Modelo extrudado 3D no ambiente SAP2000	104
4.74	Propriedades da viga de cintamento selecionada.	105
4.75	Propriedades da viga selecionada.	105
4.76	Propriedades das lajes foram mantidas, com exceção das aberturas.	106
4.77	Propriedades dos pilares foram mantidas.	106
4.78	Janela de propriedades da parede estrutural selecionada.	107
4.79	Parte da escada selecionada referente ao patamar.	107
4.80	Modelo bastante inconsistente, com apenas alguns elementos de viga presentes.	108
4.81	Modelo extrudado.	109
4.82	Janela de propriedades da viga.	109
4.83	Modelo importado para o ETABS.	110
4.84	Inconsistência nos encontros dos nós do modelo analítico no ETABS.	111
4.85	Modelo Analítico 3D com seções dos elementos de viga e viga-coluna sendo representados.	112
4.86	Modelo importado para o ETABS (extrudado)	112
4.87	Modelo 3D a ser inserido, antes de qualquer possível alteração.	113
4.88	Configuração das distâncias entre os pisos existentes no modelo.	114

4.89	Configuração das cargas nos pavimentos.	114
4.90	Configuração das considerações dos pilares no modelo.	115
4.91	Configuração das considerações das lajes no modelo.	116
4.92	Configuração das considerações da fundação no modelo.	116
4.93	Configuração das cargas advindas das paredes encontradas no modelo <i>IFC</i> a ser importado.	117
4.94	Modelo 3D gerado após concluída a “Introdução Automática IFC”	117
4.95	Propriedades do pilar selecionado.	118
4.96	Propriedades da laje selecionada e existência de aberturas.	119
4.97	Cargas lineares correspondentes ao peso próprio das paredes aplicadas nas lajes.	119
5.1	Eficiência de intercâmbio de informações para cada tipo de elemento analisado em cada caso especificado.	126
5.2	Eficiência média por tipo de elemento utilizado.	126
5.3	Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 1, 2 e 3.	127
5.4	Eficiência de intercâmbio de informações para cada tipo de elemento analisado em cada caso especificado.	130
5.5	Eficiência média por tipo de elemento utilizado.	131
5.6	Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 4, 5, 6 e 7.	132
5.7	Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 4, 5, 6 e 7, desconsiderando rampa e escadas.	133

Lista de tabelas

3.1	Relações às quais o objeto pode estar associado.	41
3.2	Conceituação das terminologias utilizadas nos subtipos de <i>IfcObject</i>	42
3.3	Conceituação das terminologias utilizadas nos subtipos de <i>IfcRelationship</i>	44
4.1	Softwares utilizados na avaliação de interoperabilidade.	55
4.2	Atributos explícitos da entidade <i>IfcBeam</i>	65
4.3	Atributos explícitos da entidade <i>IfcExtrudedAreaSolid</i>	66
4.4	Atributos explícitos da entidade <i>IfcArbitraryClosedProfileDef</i>	67
4.5	Casos de interoperabilidade avaliados para Plataformas BIM.	69
4.6	Tabela das seções transversais extraídas do modelo IFC	86
4.7	Atributos explícitos da entidade <i>IfcRampFlight</i>	91
4.8	Softwares que apresentaram alteração no material atribuído aos elementos relacionados.	93
4.9	Casos de interoperabilidade avaliados para Ferramentas BIM.	94
4.10	Casos onde houve perda de elementos.	120
4.11	Elementos rotacionados e ferramentas computacionais correspondentes.	120
5.1	Percentual de elementos em conformidade para atribuição de conceitos.	121
5.2	Critérios adotados para avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC.	122
5.3	Avaliação da consistência das vigas para cada caso utilizando o IFC.	123
5.4	Avaliação da consistência dos pilares para cada caso utilizando o IFC.	124
5.5	Avaliação da consistência das lajes para cada caso utilizando o IFC.	124
5.6	Avaliação da consistência da rampa para cada caso utilizando o IFC.	124
5.7	Avaliação da consistência das escadas para cada caso utilizando o IFC.	125
5.8	Avaliação da consistência da fundação para cada caso utilizando o IFC.	125
5.9	Avaliação da consistência das paredes estruturais para cada caso utilizando o IFC.	125
5.10	Avaliação da consistência das vigas para cada caso utilizando o IFC.	128
5.11	Avaliação da consistência dos pilares para cada caso utilizando o IFC.	128
5.12	Avaliação da consistência das lajes para cada caso utilizando o IFC.	129
5.13	Avaliação da consistência da rampa para cada caso utilizando o IFC.	129
5.14	Avaliação da consistência das escadas para cada caso utilizando o IFC.	129
5.15	Avaliação da consistência da fundação para cada caso utilizando o IFC.	129
5.16	Avaliação da consistência das paredes estruturais para cada caso utilizando o IFC.	130

- 5.17 Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade para os casos 4, 5, 6 e 7, incluindo todos os elementos analisados. 132
- 5.18 Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade para os casos 4, 5, 6 e 7, excluindo rampa, escadas e fundação. 133

Lista de Siglas

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAFM	Computer Aided Facility Management
CIS/2	CIMsteel Integration Standard Version 2
CMMS	Computerized Maintenance Management System
DXF	Drawing Exchange Format
FM	Facility Management
GUID	Global Unique ID
IAI	International Alliance for Interoperability
IDM	Information Delivery Manuals
IFC	Industry Foundation Classes
IFD	International Framework for Dictionaries
IGES	Initial Graphic Exchange Specification
IPD	Integrated Project Delivery
MEF	Método de Elementos Finitos
MVD	Model View Definition
NIST	National Institute of Standards and Technology
NURBS	Non Uniform Rational Basis Spline
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TI	Tecnologia da Informação
XML	Extensible Markup Language

*Never tell people how to do things. Tell them
what to do and they will surprise you with
their ingenuity.*

George S. Patton, WWII U.S. Army General.