

JULIA DE CARVALHO MACEDO

**Compreensão da estrutura do armazenamento de informações com o padrão IFC,
voltadas para a visualização 3D**

Guaratinguetá - SP

2016

JULIA DE CARVALHO MACEDO

**Compreensão da estrutura do armazenamento de informações com o padrão IFC,
voltadas para a visualização 3D**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dra. Márcia Regina de Freitas

Guaratinguetá - SP

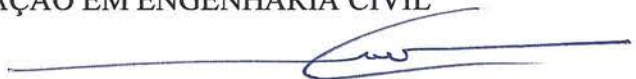
2016

M141c	Macedo, Julia de Carvalho Compreensão da estrutura do armazenamento de informações com o padrão IFC voltadas para a visualização 3D / Julia de Carvalho Macedo – Guaratinguetá, 2016. 94 f. : il. Bibliografia : f. 83-88 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof^a. Dr^a Márcia Regina de Freitas 1. Computação gráfica. 2. Projeto arquitetônico. 3. Organização da informação. I. Título CDU 681.3.065
-------	--

JULIA DE CARVALHO MACEDO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA SILVA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dra. MÁRCIA REGINA DE FREITAS
Orientadora/UNESP-FEG



Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA SILVA
UNESP-FEG



Prof. Ms. FERNANDA VIERNO DE MOURA
UNESP-FEG

Novembro 2016

Dedico este trabalho
a todos que amo.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço à Deus, que em todos os momentos me direcionou para caminhos que me permitiram chegar até aqui, que me deu forças nos momentos que necessitei e me proporcionou oportunidades únicas e inesquecíveis, durante toda minha vida e, especialmente, no decorrer dos anos de graduação.

Aos meus pais, Izabel e Mario, por todo amor a mim dedicado, por nunca medirem esforços para me oferecer uma educação de qualidade, me apoiarem em todas as decisões, demonstrando sempre que acreditavam em mim, tornarem mais fáceis todos os obstáculos existentes no percurso e me transmitirem valores que me tornaram quem sou hoje.

Sou grata à toda minha família, em especial, aos meus tios Ana e Quati, que sempre estiveram presentes e me ajudaram em muitos momentos que precisei. E ao meu irmão, Victor, por todo amor e pela convivência, que me trouxeram muita aprendizagem.

A todas meninas que moraram comigo, e aos amigos que fiz durante todos estes anos e compartilharam os incontáveis bons momentos que tive. Agradeço ao Christian, que esteve ao meu lado durante todos os anos de minha graduação, comemorou minhas vitórias e me ajudou a manter a calma nos momentos difíceis.

Aos meus amigos que me auxiliaram na execução deste trabalho, Anna, Bruno e Vinícius, que em todo momento estavam disponíveis para esclarecer dúvidas, me auxiliar na compreensão de tópicos, dos quais tive dificuldade, e compartilharam as preocupações e alegrias que este trabalho nos proporcionou.

A todos meus professores no decorrer dos cinco anos de faculdade, que buscavam sempre transmitir seus conhecimentos para que nos tornássemos bons profissionais, e foram importantes, cada um a seu modo, na minha vida acadêmica, agradeço, particularmente à professora Márcia Regina de Freitas, orientadora deste trabalho, por toda paciência, conselhos e suporte oferecidos, por enfatizar, em todos os momentos, a grande importância deste estudo, e mostrar que acreditava que faríamos um bom trabalho.

A empresa parceira neste trabalho, DOX Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Imobiliário LTDA, que desde o início se mostrou solícita para ajudar na realização deste estudo.

Agradeço àqueles que contribuíram na realização deste trabalho e não foram mencionados, todos foram fundamentais para que este estudo fosse concluído.

“Se você pode fazer dar certo,
não pare de sonhar.”

Gutti Mendonça, Federico Devitto e João Cortês.

MACEDO, J. C. **Compreensão da estrutura do armazenamento de informações com o padrão IFC, voltadas para a visualização 3D.** 2016. 94 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

O desenvolvimento da representação gráfica tem passado por evoluções significativas desde os primórdios de sua utilização, atualmente, sua transformação consiste na modelagem de informação 3D, que é um dos requisitos para a elaboração e execução de um projeto arquitetônico que segue os conceitos BIM (*Building Information Modeling* – Modelagem da Informação na Construção). O BIM permite que todas as informações de um modelo sejam gerenciadas através de uma comunicação mais acessível, completa e precisa e, para que isso seja colocado em prática, é indispensável que haja a interoperabilidade, ou seja, é necessário que toda a equipe envolvida troque impressões e informações livremente, garantindo uma melhor integração. A Interoperabilidade exige o intercâmbio de dados entre diferentes *softwares*, o que consiste na maior dificuldade entre os profissionais adeptos do BIM. O padrão aberto IFC (*Industry Foundation Classes*), suportado pela atual buildingSMART, tem se mostrado a principal opção para solucionar esta dificuldade. Este trabalho visa compreender a estrutura das informações armazenadas com o padrão IFC, sua hierarquia, a maneira como ocorre o relacionamento entre os elementos do modelo em IFC, além de explorar os parâmetros deste formato público de intercâmbio de dados voltado para a visualização 3D de projetos arquitetônicos. Para alcançar estes objetivos, utilizou-se um modelo fornecido pela empresa parceira neste trabalho (DOX - Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Imobiliário LTDA), o qual foi aberto com diferentes aplicativos adeptos do BIM e estudado com o auxílio das definições das entidades encontradas no *site* da buildingSMART. Com este estudo evidenciou-se a necessidade da compreensão do IFC pelo usuário, para melhor aproveitamento deste formato público de intercâmbio de dados.

PALAVRAS-CHAVE: BIM (*Building Information Modeling*). Interoperabilidade. IFC (*Industry Foundation Classes*). buildingSMART.

MACEDO, J. C. **Comprehension of the structure of the storage of information with standard IFC directed to the visualization 3D**. 2016. 94 f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The development of the graphical representation has passed through significant evolutions since the beginning of its use; actually, its transformation consists of the information modeling 3D that is one of the requirements for the elaboration and execution of a project that follows BIM (Building Information Modeling) concepts. The BIM allows that all the information of a modeling are managed through a more accessible, complete and precise communication. To put this in practice, it is indispensable that interoperability exist, which means, it is necessary that all the involved team exchanges impressions and information freely, ensuring better integration. The interoperability demands the interchange of data between different software, what consists of the biggest difficulty between the professionals using BIM. The open standard IFC (Industry Foundation Classes) supported for the current buildingSMART is the main option to solve this difficulty. The purpose of this study is to understand the information's structure stored with the standard IFC, its hierarchy, and the way as the relationship happens between the elements of the model in IFC, besides exploring the parameters of this public format of data-exchange come back the visualization 3D of the architectonics projects. To achieve this objective, a model was used supplied by the company partner in this study (DOX - Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Imobiliário LTDA), which was opened in different software uses of the BIM and studied with the aid of the entities' definitions found in the site of buildingSMART. This study evidenced the necessity of the user to understand the IFC for better exploitation of this public format data-exchange.

KEYWORDS: BIM (*Building Information Modeling*). Interoperability. IFC (*Industry Foundation Classes*). buildingSMART.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Primeiro sistema CAD desenvolvido - Sketchpad	19
Figura 2- Simbolismo em projetos 2D.....	20
Figura 3- Diferentes vistas do edifício.....	22
Figura 4- Realização de um corte no modelo tridimensional	22
Figura 5- Análise de insolação e sombreamento da edificação	23
Figura 6- Inserção do BIM no mundo	27
Figura 7- Desenvolvimento do IFC no decorrer dos anos	36
Figura 8- Estrutura de um ficheiro IFC	39
Figura 9- Organização de uma entidade	40
Figura 10- Estrutura do IFC 2x3	41
Figura 10.a -Camada de Recurso	42
Figura 10.b -Camada do Núcleo	43
Figura 10.c -Camada de Interoperabilidade	44
Figura 10.d -Camada de Domínio	44
Figura 11- Acesso ao Gestor IFC do Software ArchiCAD	50
Figura 12- Tabela de atributos da viga selecionada	51
Figura 13- Visualização da mísula em estudo.....	52
Figura 14- Enumeração do tipo de endereço	53
Figura 15- Enumeração do tipo de viga	54
Figura 16- Tipo Selecionado para referenciar o autor responsável pelo modelo	55
Figura 17- Tipo Selecionado para posicionamento de um objeto	55
Figura 18- Elemento do tipo fechado e aberto	56
Figura 19- Tipo Selecionado IfcShell.....	56
Figura 20- Especificação EXPRESS do IfcBeam	58
Figura 21- Gráfico de herança de dados do IfcBeam	59
Figura 21.a- Atributos e relações no gráfico de herança de dados	61

Figura 21.b- Indicação de como podem ser definidos os atributos	62
Figura 22- Especificação EXPRESS do IfcObjectPlacement	63
Figura 23- Gráfico de herança de dados do IfcObjectPlacement	63
Figura 24- Gráfico de herança de dados do IfcLocalPlacement.....	64
Figura 25- Representação da mísula separada do restante da viga	66
Figura 26- Representação da mísula pelas coordenadas armazenadas no IFC	66
Figura 27- Especificação EXPRESS do IfcRelDefines.....	67
Figura 28- Entidade IfcRoot e seus atributos	74
Figura 29- Entidade IfcOwnerHistory e seus atributos	74
Figura 30- Entidade IfcApplication e seus atributos	75
Figura 31- Entidade IfcPerson e seus atributos	75
Figura 32- Entidade IfcCartesianPoint e seus atributos	76
Figura 33- Entidade IfcDirection e seus atributos	76
Figura 34- Entidade IfcShapeRepresentation e seus atributos	76
Figura 35- Entidade IfcGeometricRepresentationContext	77
Figura 36- Entidade IfcPropertySingleValue e seus atributos - exemplo 1	77
Figura 37- Entidade IfcPropertySingleValue e seus atributos - exemplo 2	78
Figura 38- Entidade IfcBuildingStorey e seus atributos.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Classificação dos Softwares BIM de acordo com sua funcionalidade.....	45
Quadro 2 -	Propriedades da mística tiradas do NavisWorks.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	American Institute of Architects
BIM	Building Information Modeling
Brep	Boundary Representation
CAD	Computer Aided Design
CSG	Constructive Solid Geometric
IAI	Industry Alliance for Interoperability ou International Alliance for Interoperability
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IFD	International Framework for Dictionaries
ISO	International Organization for Standardization
LOD	Level Of Detail ou Level Of Development
MEP	Mechanical Electrical and Plumbing
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MVD	Model View Definition
PAS	Public Available Specification
RVT	Revit
STEP	STandard for the Exchange of Product Model Data

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3.	METODOLOGIA	17
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	DESENVOLVIMENTO DA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	18
4.1.1	A era antes do computador	18
4.1.2	Ferramentas CAD (Computer Aided Design)	19
4.1.3	Modelagem de informação 3D	21
4.2	BIM (Building INFORMATION MODELING)	23
4.2.1	Conceitos	23
4.2.2	Funcionalidades.....	24
4.2.3	As dimensões do BIM	27
4.2.3.1	BIM 3D.....	27
4.2.3.2	BIM 4D.....	28
4.2.3.3	BIM 5D.....	29
4.2.3.4	BIM 6D e 7D.....	29
4.2.4	Parametrização.....	30
4.2.5	Nuvem e renderização	31
4.2.6	Verificação automática de incompatibilidades (<i>clash detection</i>)	32
4.2.7	LOD (Level Of Detail ou Level Of Development).....	33
4.2.8	Interoperabilidade	34
4.2.9	IFC (Industry Foundation Classes).....	35
4.2.9.1	Desenvolvimento do IFC.....	35
4.2.9.2	Estruturas internas de ficheiros IFC	38

4.2.9.3	Estrutura de camadas do IFC.....	40
4.2.10	Softwares BIM.....	44
4.2.10.1	ArchiCAD.....	47
4.2.10.2	Revit Architecture	48
4.2.10.3	NavisWorks	48
4.2.10.4	IFC Quick Browser	49
4.2.10.5	CAD/TQS	49
5.	COMPREENSÃO DA ESTRUTURA DO IFC 2x3.....	50
5.1	DIFERENÇA ENTRE ENTIDADES, ENUMERAÇÕES, TIPOS DEFINIDOS, TIPOS SELECIONADOS, FUNÇÕES E REGRAS	52
5.1.1	Entidades	52
5.1.2	Enumerações	53
5.1.3	Tipos definidos	54
5.1.4	Tipos selecionados.....	54
5.1.5	Funções.....	56
5.1.6	Regras.....	56
5.2	HIERARQUIA DE UMA VIGA	57
5.3	GRÁFICO DE HERANÇA DE DADOS DE UMA VIGA.....	58
5.4	FLUXOGRAMA DOS ATRIBUTOS	64
5.5	FLUXOGRAMA DE RELAÇÕES	67
5.6	PROPRIEDADES DA MÍSULA VISTA COM O QUADRO DE PROPRIEDADES DO NAVISWORKS.....	68
5.7	ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES DE UMA VIGA NAS CAMADAS DO IFC	71
6.	CLASSIFICAÇÃO DAS ENTIDADES IFC	73
7.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
8.	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIA	83

APÊNDICE A – Hierarquia do IfcBeam	89
APÊNDICE B – Linha de atributos do IfcBeam	90
APÊNDICE C – Armazenamento dos atributos de uma viga em IFC.....	91
APÊNDICE D – Fluxograma de atributos do IfcBeam	92
APÊNDICE E – Armazenamento das relações de uma viga em IFC	93
APÊNDICE F – Fluxograma de relacionamento do IfcBeam	94

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está passando por um desenvolvimento radical, no qual objetiva-se aumentar a eficiência da produção com a redução de perdas e desperdícios, além da diminuição do tempo e custo destinados à realização de um empreendimento. Este aumento na produtividade só é possível com o melhoramento do planejamento da obra durante todas as fases do ciclo de vida da construção, o que exige um melhor gerenciamento de dados do projeto entre todos os profissionais envolvidos, garantindo a confiabilidade de informações que serão utilizadas em todas as disciplinas, (PINHEIRO; GODINI, 2015).

Neste contexto, o conceito *Building Information Modeling* - BIM, é indispensável para empresas ligadas à construção civil que estão inseridas no mercado permaneçam atuando, otimizando, cada vez mais, os produtos da indústria da Construção Civil. Para que um empreendimento tenha seus projetos e sua execução seguindo a tecnologia BIM, alguns requisitos devem ser, obrigatoriamente, utilizados: a modelagem de informação 3D, a utilização de objetos paramétricos na concepção de modelos, o armazenamento das informações do empreendimento em nuvem e, é necessário que um modelo BIM conte com colaboração, que segundo Young Jr, Jones e Bernstein (2007), permite que toda a equipe troque informações livremente, garantindo uma melhor integração e interoperabilidade. A interoperabilidade é entendida como a necessidade de trocar informações entre os diferentes softwares utilizados na elaboração dos projetos (EASTMAN *et al*, 2014). Nota-se assim, a importância da existência de um formato universal que visa o intercâmbio de dados entre aplicativos.

O *Industry Foundation Classes* - IFC é um modelo de dados extensível e não proprietário, que consiste na proposta da buildingSMART para solucionar as dificuldades na implantação da interoperabilidade na construção, e está caminhando para se tornar o modelo padrão de troca de informações (MANZIONE, 2016a).

Ao exportar um arquivo para o formato IFC, ainda ocorrem perdas de informações, problema que vem sendo solucionado pelo aprimoramento deste modelo de dados realizado pela buildingSMART. Em muitos casos essa perda de informações pode ser evitada se o usuário tiver conhecimento de como introduzir os dados faltantes no arquivo IFC. Para que seja possível este gerenciamento de dados de arquivos IFC é importante a compreensão de como informações do projeto são armazenadas neste modelo de dados.

Com o entendimento de um arquivo em formato IFC, pode-se ainda determinar algumas entidades que carregam informações de grande importância para o usuário, enquanto outras são fundamentais para que o software seja capaz de reconhecer e reproduzir elementos do projeto.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Ao perceber todas as vantagens que a utilização do padrão IFC pode proporcionar para a construção civil, este trabalho objetiva estudar e compreender a estrutura das informações armazenadas em IFC, relacionadas com a visualização 3D.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O principal foco deste estudo foi entender alguns aspectos específicos do armazenamento de dados do padrão IFC: sua hierarquia de dados, o relacionamento existente entre os elementos do projeto e explorar entidades voltadas para a visualização 3D, e através deste melhor entendimento, visou-se a criação de uma cartilha direcionada para profissionais da engenharia civil e arquitetura que estejam iniciando a utilização do padrão IFC.

Este trabalho objetivou também verificar as vantagens e desvantagens existentes, na utilização do padrão IFC em intercambiar informações de um projeto, entender o modo pelo qual a inteligência do software capta informações de um elemento do modelo e as utiliza no intercâmbio de dados, além de criar um fluxograma no qual aparecem todas entidades responsáveis por definir um elemento de um modelo estrutural.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, este trabalho contextualiza o leitor no atual desenvolvimento pelo qual a construção civil está passando. Para isso, a Revisão Bibliográfica, apresenta definições do conceito BIM (Building Information Modeling), sua importância para a Engenharia Civil e Arquitetura e as dificuldades que os profissionais da área estão encontrando na implantação deste conceito. A Revisão Bibliográfica aborda ainda os conceitos do padrão de intercâmbio de dados IFC (Industry Foundation Classes), seu desenvolvimento, estruturação em camadas e organização das informações no arquivo texto do IFC.

Para a realização deste trabalho, abriu-se o modelo estrutural, fornecido pela empresa parceira deste estudo (DOX - Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Imobiliário LTDA), com o software ArchiCAD. Em seguida, um elemento do modelo foi selecionado de maneira aleatória, para que seus dados, armazenados com o padrão IFC, fossem estudados detalhadamente.

Com a finalidade de observar, com mais clareza, a eficiência na troca de dados, foram utilizados outros diferentes aplicativos, além do software supracitado. O aplicativo TQS que foi responsável pela execução do modelo estrutural e, no decorrer do desenvolvimento o Revit, o NavisWorks e o IFC Quick Browser foram essenciais.

Neste estudo utilizou-se todas as definições de entidades existente no material publicado pela buildingSMART chamado “IFC 2X Edition 3 Technical Corrigendum 1”. Junto a estas definições pode-se analisar o arquivo texto do modelo estrutural, através do software IFC Quick Browser. Isto tornou possível a compreensão sobre quais entidades são responsáveis por armazenar os diferentes tipos de informações de um elemento do modelo, bem como entender o relacionamento entre as entidades do projeto estrutural fornecido.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DESENVOLVIMENTO DA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

4.1.1 A era antes do computador

No período medieval, segundo Kolarevic (2003), o responsável pela realização do projeto era o mesmo daquele incumbido de realizar a construção, estes eram chamados de construtores ou artesãos. O arquiteto passou a ser uma profissão separada, posteriormente. De acordo com Ousterhout (1999), uma dificuldade encontrada era que o papel não era utilizado na confecção do projeto. O pergaminho era destinado apenas para registros religiosos e o esquema da construção era representado, muitas vezes, diretamente no solo onde a construção se ergueria, com o auxílio de um esquadro em L, um nível e um barbante ou, em outros casos, a representação dava-se em pedras e tijolos.

Segundo Rego [2001], a partir do Renascimento, o desenho tem passado por transformações significativas. No século XV foi desenvolvida a perspectiva, significando para a arquitetura uma grande mudança, pois a nova técnica de representação gráfica passou a ser capaz de reproduzir o objeto arquitetônico muito próximo do que seria após sua execução. A perspectiva simula, para a visão humana, a percepção da tridimensionalidade no espaço bidimensional, permitindo a obtenção de informações geométricas, topológicas e dimensionais do objeto. Com o auxílio da geometria descritiva, pode-se aprimorar a precisão representativa, solucionando a questão da distorção sofrida pelos objetos quando representado por meio de perspectiva ou por desenhos planificados.

A revolução industrial foi responsável pelas primeiras normas técnicas de representação gráfica de projetos, pois, para a representação de máquinas, foi necessário um maior rigor, ademais os projetistas careciam de um meio comum para se comunicar graficamente. No âmbito arquitetônico, a representação segmentada do edifício dava-se através de vistas ortogonais (plantas, cortes, elevações) que proporcionava a representação fiel das dimensões e topologia dos elementos, entretanto, prejudicava a percepção da volumetria do desenho. (MOREIRA, 2008).

Penttilla (2006) afirma que, ainda antes da era do computador, as representações gráficas passaram a contar com as ferramentas de desenho tradicional, como régua, compassos, curvas francesas, canetas unidas a linhas e, em alguns casos, modelos de argila ou outros tipos de maquetes. De acordo com Kolarevic (2003), contudo, os projetos que continham maior

complexidade eram realizados lentamente com um custo muito elevado, pois eram muito trabalhosos.

4.1.2 Ferramentas CAD (Computer Aided Design)

A transformação subsequente da representação gráfica deu-se, segundo Moreira (2008), pelas tecnologias da computação com o desenvolvimento de ferramentas CAD (*Computer Aided Design* ou desenho assistido por computador), que viabilizaram o aumento da qualidade do desenho, eliminação de tarefas repetitivas, auxílio nas correções, o que reduziu consideravelmente o tempo de elaboração de um projeto. Segundo Sutherland (2003), o primeiro sistema CAD desenvolvido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) foi o Sketchpad: *A Man-Machine Graphical Communications System*, Figura 1, incentivando o desenvolvimento de outras ferramentas CAD, que veio a ser efetivamente consolidado na década de 1990.

Figura 1- Primeiro sistema CAD desenvolvido - Sketchpad



Fonte: (McGrane, 2010).

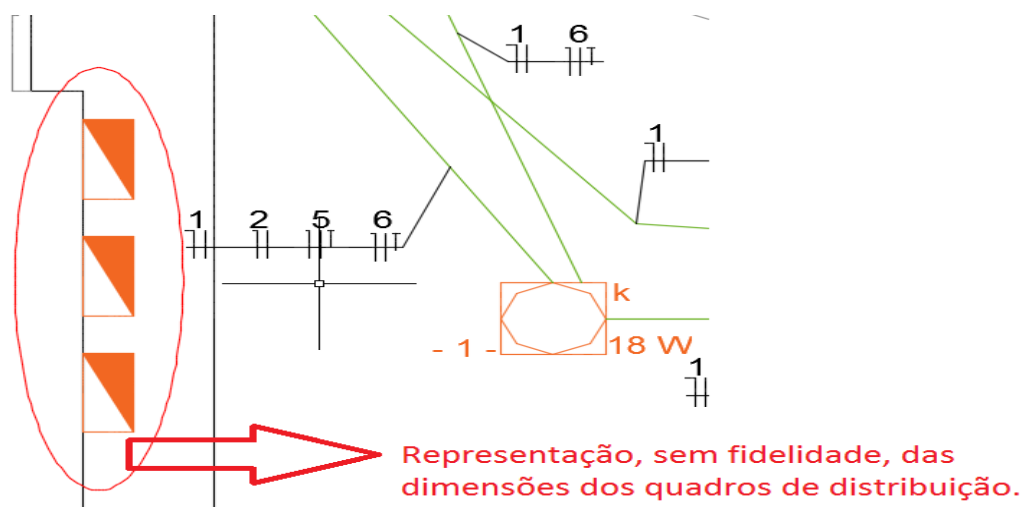
Entretanto, a tecnologia CAD ainda apresentava obstáculos, pois era constituída de uma prancheta eletrônica, na qual o projetista editava formas geométricas e não era capaz de fornecer uma comunicação eficiente entre todos os participantes e os processos envolvidos na produção (AIRES FILHO & SCHEER, 2008).

Segundo Penttilla (2006), o espaço de tempo que determinou o avanço do CAD 2D para o 3D foi curto. De acordo com Ferreira e Santos (2007), a concepção tridimensional é mais demorada e complexa em relação ao projeto em duas dimensões, contudo, modelos tridimensionais ainda são considerados mais vantajosos, pois ao utilizá-los se ganha tempo na fase de documentação e detalhamento. Aires Filho e Scheer (2008), entretanto, definem o CAD 3D apenas como uma ferramenta de elaboração de maquete eletrônica, pois, neste caso, o projetista edita sólidos geométricos e não se preocupa com outros dados dos objetos, como o material do qual o elemento construtivo é constituído.

Entretanto, de acordo com Lawson (2002), a representação tridimensional elaborada com computador interfere negativamente no processo de criação e, por este motivo, deve ser utilizada apenas no relato da proposta final, com a finalidade de oferecer uma descrição mais completa da edificação representada.

Exemplificando uma vantagem da representação tridimensional em relação a projetos em 2D, pode-se mencionar o simbolismo, em que os quadros de distribuição são representados por símbolos que não levam em consideração a dimensão e forma do objeto real (Figura 2). Essa falta de proporção entre o símbolo adotado e o quadro de distribuição pode ocasionar erros no posicionamento dos quadros, o que não ocorre em projetos tridimensionais, os quais permitem, ainda na fase do projeto, prever os espaços destinados aos quadros de distribuição e seu arranjo, antecipando interferências e possibilitando seu reposicionamento (BORJA; CASTRO, 2011).

Figura 2- Simbolismo em projetos 2D



Fonte: Autoria Própria.

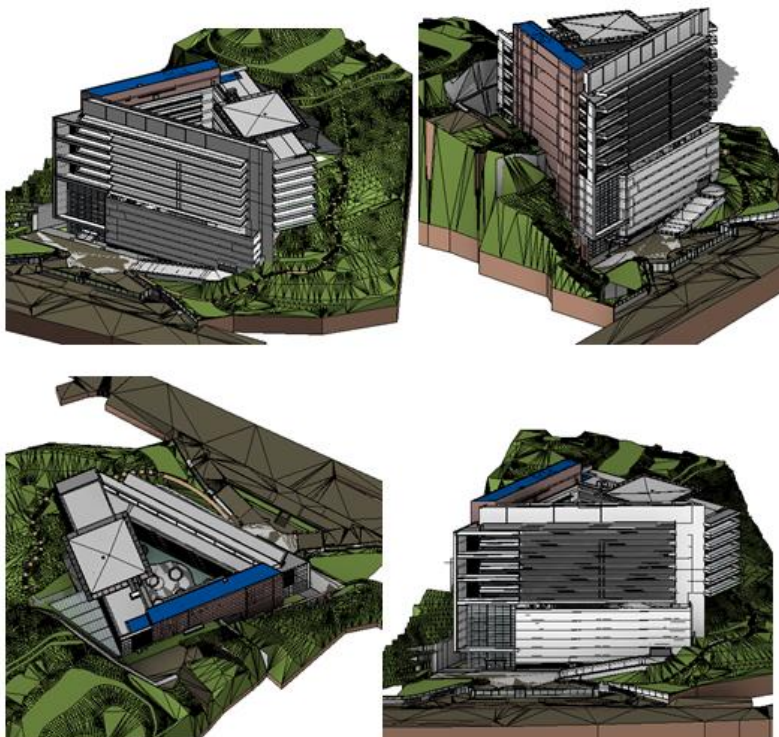
4.1.3 Modelagem de informação 3D

Atualmente vivencia-se o mais recente desenvolvimento da representação gráfica, a modelagem de informação 3D. Segundo Eastman *et al* (2014), graças ao progresso dos Softwares BIM (*Building Information Modeling*), permite-se a elaboração de um modelo digital de uma edificação, fornecendo ao projeto uma geometria precisa, além de outras informações relevantes para a construção do empreendimento. Este novo sistema de representação pode ser usado em diferentes fins como elaboração dos projetos arquitetônico, estrutural, elétrico entre outros, na manutenção do empreendimento ou até mesmo sua demolição. Este avanço tem promovido uma mudança radical no processo de elaboração de projetos e vem garantindo seu desenvolvimento integrado em todas áreas da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Também permite uma visualização precisa e de alta qualidade da proposta e, na atual representação, os objetos passaram a ser “inteligentes”, ou seja, são capazes de perceber, interpretar e reagir às características e alterações do espaço à sua volta.

De acordo Borja e Castro (2011), a modelagem 3D proporciona a integração de todo o conjunto, facilitando a compreensão dos elementos construtivos do empreendimento, profundidades e padrão de acabamento. Com a atual tecnologia pode-se extrair do modelo diversas imagens dependendo do ângulo e dos detalhes, os quais se deseja evidenciar como pode ser visto na Figura 3.

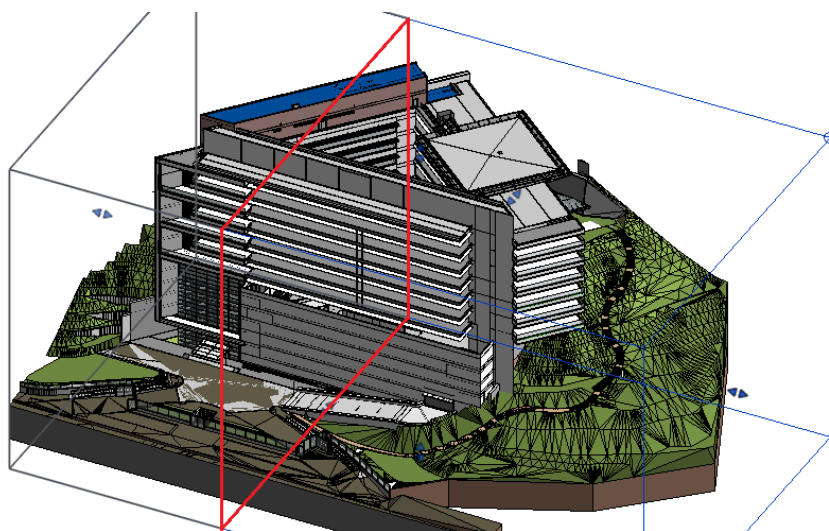
Ainda segundo Borja e Castro (2011), a criação de cortes diretamente do modelo, como na Figura 4, é mais uma importante funcionalidade que se mostra útil principalmente em projetos com maior nível de complexidade. As seções obtidas através do modelo 3D estarão sempre atualizadas, já que qualquer mudança realizada no projeto será automaticamente modificada no corte ou elevação.

Figura 3- Diferentes vistas do edifício



Fonte: Autoria Própria.

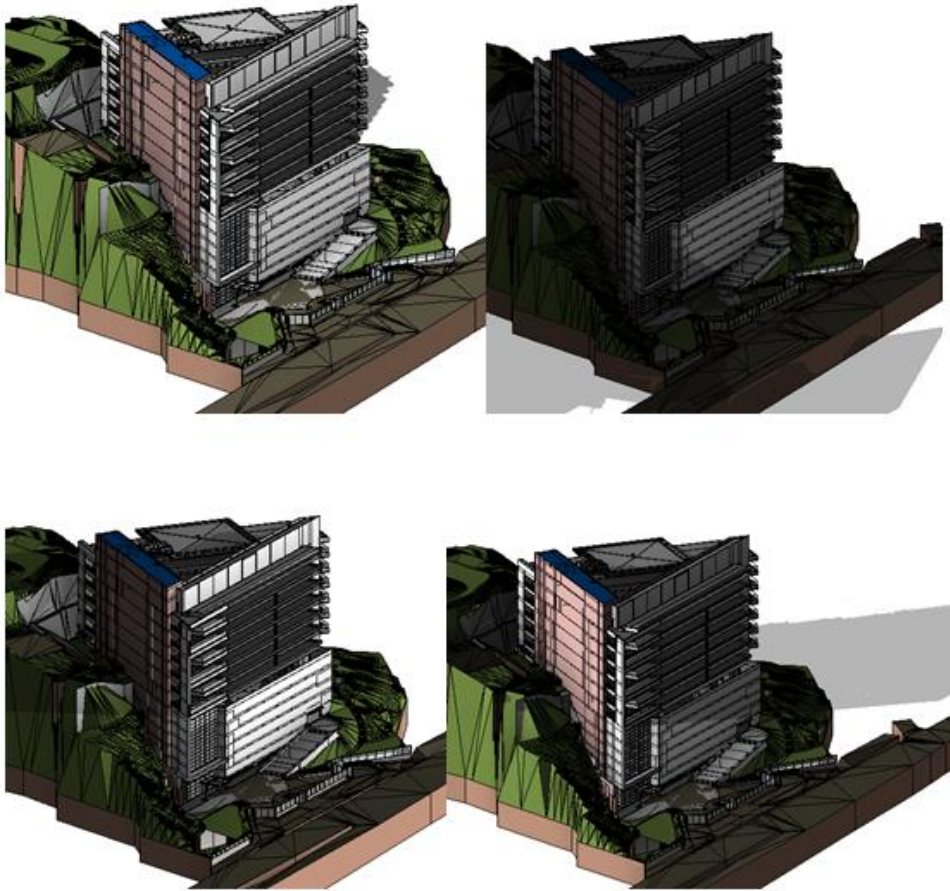
Figura 4- Realização de um corte no modelo tridimensional



Fonte: Autoria Própria.

Os autores supracitados afirmam ainda que a modelagem tridimensional oferece também ferramentas que auxiliam na análise de insolação e sombreamento da edificação, (Figura 5).

Figura 5- Análise de insolação e sombreamento da edificação



Fonte: Autoria Própria.

4.2 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

4.2.1 Conceitos

A construção civil, no Brasil, está atualmente passando por um novo ciclo de desenvolvimento. A tecnologia BIM, *Building Information Modeling*, que se traduz como Modelagem da Informação na Construção, está sendo inserida paulatinamente, permitindo que todas as informações de um projeto sejam gerenciadas através de uma comunicação mais acessível, completa e precisa. Após o armazenamento dos dados, o profissional vinculado a qualquer etapa da realização do projeto, seja ela a concepção, a execução, ou ainda a

manutenção da edificação, tem acesso às informações e podem usufruí-las em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento.

O BIM abrange, em um único modelo, todas as informações relevantes de um projeto, além de dados geométricos tridimensionais, os cortes, fachadas e plantas baixas, são armazenados dados quantitativos, custos, cronogramas executivos, especificações de materiais, gerenciamento de instalações referentes a toda a vida útil do empreendimento (MOREIRA, 2008).

Segundo Kassem e Amorim (2015), a introdução do BIM no mercado está provocando uma reorganização no setor da construção civil, pois fornece integridade e consistência da informação, interligando os diferentes especialistas responsáveis pelo empreendimento e resultando na reestruturação das fases de implementação do projeto, alterações dos agentes participantes, e em mudanças significativas nos produtos. Isto exige dos projetistas e gestores um novo conjunto de conhecimentos e habilidades. Consequentemente obtém-se mais produtividade e eficiência, resultando para os construtores, redução de erros e inconsistências, mais planejamento e diminuição de custos totais. Os proprietários conseguem custos de execução reduzidos, maior precisão em previsões como, por exemplo, do orçamento, do tempo de obra, além do aumento do tempo de usufruto do imóvel graças à maior qualidade do empreendimento. Os fornecedores de produtos e materiais, por sua vez, se beneficiam com uma comunicação mais fácil com seus clientes, logística mais veloz e um acompanhamento do ciclo de vida do imóvel mais aperfeiçoado resultando em menores custos (KASSEM; AMORIM, 2015).

De acordo com Pinheiro e Godini (2015), utilizar o processo BIM exige uma mudança de paradigma, no qual todos os especialistas integrados na execução do empreendimento precisam trabalhar sob uma mesma gerência, utilizando ferramentas compatíveis para garantir que informações que serão utilizadas em todas as disciplinas sejam intercambiadas com confiabilidade.

4.2.2 Funcionalidades

Segundo Catelani (2016), existem 10 principais funcionalidades do BIM que evidenciam a importância das empresas em adotarem esta inovação da construção civil, são elas:

- **A visualização em 3D do que está sendo projetado:**

A modelagem 3D possibilita a visualização precisa do projeto, mesmo quando este apresenta maior complexidade, proporcionando maior compreensão e eficácia no processo de comunicação e adequação, em qualquer fase do empreendimento.

- **O ensaio da obra no computador:**

É a possibilidade de se analisar uma construção virtualmente buscando encontrar as melhores opções de execução, antes do início da obra, viabilizando o estudo de todas as fases da realização de um empreendimento, definindo um sequenciamento das atividades com uma grande quantidade de informação.

- **Extração automática do quantitativo do projeto:**

A extração automática do quantitativo de um modelo permite a comparação entre o que foi planejado e o efetivamente realizado, facilitando e tornando mais ágil os processos de orçamentação.

- **Realização de simulações e ensaios virtuais:**

Análises e simulações como análises estruturais e energéticas, além de estudos térmicos, de insolação, ventilação, emissão de dióxido de carbono e verificações de sombreamento podem ser realizadas, possibilitando a determinação do desempenho de edifícios e de suas instalações.

- **Identificação automática de interferências (geométricas e funcionais);**

Esta funcionalidade pode ser chamada de “*clash detection*” e permite identificar e classificar interferências entre objetos que compõem o modelo. Um exemplo de interferência pode ser o choque entre duas tubulações ou mesmo o posicionamento, no projeto, de uma tubulação e um componente estrutural.

- **Geração de documentos mais consistentes e mais íntegros:**

Essa funcionalidade é de grande importância, pois caso haja alguma modificação no projeto, os objetos inteligentes, que possuem informações sobre si próprios e suas relações com outros elementos, são capazes de perceber, interpretar e reagir a essa alteração.

- **Capacitação das empresas para executar construções mais complexas:**

O BIM auxilia na realização de construções complexas cada vez mais recorrentes, permitindo o cumprimento de prazos desafiadores e a organização espacial em projetos que apresentam muitas formas curvas complexas.

- **A viabilização e a intensificação do uso da industrialização:**

Em modelos BIM é possível assegurar a precisão geométrica dos elementos graças a verificação automática com o auxílio de aplicativos, motivando investimentos na pré-fabricação de elementos da construção, pois reduz consideravelmente imprevistos e inconsistências.

- **Complementar o uso de outras tecnologias:**

De acordo com Catelani (2016), há uma significativa diminuição do custo de equipamentos que atuam integrados aos softwares BIM. Exemplificando, pode-se citar o equipamento *Laser Scanning* que, segundo Mateus *et al* (2008), utiliza a luz *laser* para verificar as coordenadas tridimensionais de elementos, automaticamente. O funcionamento deste equipamento consiste na emissão da luz *laser* que é refletida pelos objetos que serão estudados e recebida novamente pelo equipamento. De acordo com Manzione (2013), o *Laser Scanning* tem a capacidade de resgatar a forma de edifícios existentes, com exatidão. Os objetos digitalizados são obtidos com a sonda laser impulsionada por um software. O equipamento conta com câmaras que gravam a geometria dos elementos em três dimensões, isso ocorre de modo rápido e preciso.

Há ainda os *Drones* que são capazes de tirar fotografias com alto nível de precisão, que poderiam auxiliar, por exemplo, na verificação de estoque de materiais em um canteiro de obras.

- **Preparar as empresas para um cenário futuro:**

A construção civil brasileira é uma indústria tradicionalista, contudo a inserção do BIM em muitos países está ocorrendo rapidamente. No Governo do Reino Unido foi instituído o *BIM Mandate* e, qualquer obra financiada com dinheiro público deve ser, obrigatoriamente, desenvolvida com a plataforma BIM. Este mandato encoraja o poder público a assumir uma nova tecnologia envolvendo grandes mudanças que foram possíveis graças à conscientização dos benefícios para o setor público. Esta experiência britânica tem seguidores. Em uma matéria publicada no jornal *online* russo, Kanunnikova (2016) afirma que o BIM será obrigatório na Rússia a partir de 2019, já que com esta implantação pode-se reduzir os custos da construção em até 30%.

Neste contexto de evolução, percebe-se que as empresas que desejarem se manter atuando na indústria da construção deverão adotar a tecnologia BIM. Na Figura 6 pode-se verificar os países onde essa grande inovação da construção está sendo inserida de maneira mais notável.

Figura 6- Inserção do BIM no mundo



Fonte: (Catelani, 2016).

4.2.3 As dimensões do BIM

Desde o início da utilização dos conceitos BIM na construção civil, pode-se notar uma expansão de sua utilização. Neste contexto foram desenvolvidas as diferentes dimensões na construção que ultrapassam as três dimensões do espaço euclidiano. Cada uma das dimensões representa uma importante fase do empreendimento, pois é responsável por agregar informações e características para o modelo.

4.2.3.1 BIM 3D

A modelagem de informações vai além das representações gráficas em duas ou três dimensões, no qual uma coluna ou outro elemento é interpretado como um simples desenho geométrico, e suas características adicionais são indicadas como um texto adicional na legenda do projeto. Com o BIM, o projetista pode atribuir ao desenho propriedades, ou seja, parâmetros (tipo de material, dimensões, tipo de revestimento, resistência, entre outras características). Estes parâmetros são armazenados automaticamente em um banco de dados do software e, em fases subsequentes, consegue-se obter informações em diferentes formatos como, por exemplo, a tabela de quantitativo de materiais, que facilitaria imensamente a orçamentação (FARIA, 2007).

O BIM 3D é a consolidação dos projetos virtualmente, em um espaço tridimensional, com a inserção de todos os dados essenciais para sua definição e posicionamento no modelo (MATTOS, 2014).

Segundo Hamed (2015), o BIM 3D auxilia na colaboração multidisciplinar, permitindo que os envolvidos no projeto gerenciem, de forma mais eficaz, a modelagem e detecção de inconsistências espaciais e estruturais.

A modelagem 3D permite capturar e incorporar todas as informações do projeto na concepção, possibilita a obtenção de mais informações facilitando na tomada de decisões, oferece sincronia e exatidão eliminando erros e omissões no processo de documentação, viabiliza análises de diferentes opções para o empreendimento objetivando maximizar seu desempenho (RENDEIRO, 2013a).

4.2.3.2 *BIM 4D*

De acordo com Nakamura (2014), na quarta dimensão do BIM é acrescida a variável tempo, inserindo ao modelo, dados referentes ao cronograma, sucessão das fases da obra e suas implantações. Com o intuito de facilitar a tomada de decisão, existem estímulos para aproximar a tecnologia BIM ao canteiro de obras para que informações sobre avanços ou atrasos de atividades, obtidas no local da obra, possam preparar, automaticamente, os responsáveis pelo planejamento. Dessa forma, tornando possível reduzir impactos no cronograma e gerando previsões mais corretas em relação às datas limites de execução. A maior assertividade dos cronogramas e prazos deve-se ao aumento da confiabilidade das informações referentes ao modelo, além da possibilidade das equipes responsáveis pelo planejamento de analisar e estudar diferentes modos de execução para a obra em questão, com o objetivo de optar pela melhor estratégia de ação (NAKAMURA, 2014).

Para a inserção do BIM 4D as equipes de projeto e planejamento devem trabalhar de forma integrada, ou seja, elementos gráficos da edificação devem ser associados ao cronograma da obra, possibilitando ao gestor a visualização do andamento físico do empreendimento (MATTOS, 2014).

Entre os benefícios desta dimensão do BIM, pode-se citar o melhor controle sobre a detecção de conflitos ou sobre as dificuldades que aparecem durante a execução de um empreendimento, possibilitando que decisões que seriam tomadas posteriormente, sejam

antecipadas, além de advertir a equipe de construção sobre possíveis riscos (NAKAMURA, 2014).

4.2.3.3 *BIM 5D*

Nesta dimensão do BIM, soma-se o fator custo ao modelo tridimensional. Todos os objetos do projeto são quantificados e vinculados a dados referentes ao seu custo, englobando sua orçamentação e seus respectivos insumos de produção. O BIM 5D possibilita que o orçamento seja atualizado toda vez que o modelo sofrer alterações e provocar variações no quantitativo dos elementos, sendo que a precisão da extração do quantitativo e orçamentação de uma construção, depende do seu detalhamento e qualidades das informações dos projetos (MATTOS, 2014).

Para que o BIM 5D seja implantado de maneira correta é necessário ter acesso ao projeto e ao planejamento do empreendimento, possibilitando o relacionamento do custo com o tempo e a realização de simulações e análises do sequenciamento das atividades com o fluxo de caixa da obra. Dessa forma, permite avaliar as melhores opções financeiras para a realização do empreendimento, levando em consideração diversos cenários (SAKAMORI, 2015).

4.2.3.4 *BIM 6D e 7D*

Há divergências entre autores que definem o BIM 6D e 7D. Uns afirmam que a sexta dimensão trata-se da manutenção do edifício e a sétima diz respeito à eficiência energética, enquanto outros invertem essa designação.

Análise da eficiência energética

Com o auxílio de todas as informações geradas durante a fase do projeto, esta dimensão do BIM equivale a análises de eficiência energética, auxiliando na realização de estudos completos e precisos sobre o consumo de energia que será necessário, após o início da utilização do edifício, visando uma maior eficiência. Esta dimensão é responsável ainda por permitir a

realização de análises, objetivando a escolha de instalações de alto desempenho, e optar por sistemas que favoreçam a sustentabilidade (HAMED, 2015).

Manutenção após o início da utilização do edifício

De acordo com Hamed, (2015), esta dimensão do BIM preocupa-se com a utilização do empreendimento após a finalização da sua construção. Relaciona-se com a norma de desempenho NBR 15575:2013 (Edificações habitacionais - Desempenho) (ABNT, 2013). Consiste na gestão do ciclo de vida de edifícios através da utilização de informações como a representação gráfica do empreendimento, as posições dos objetos, suas especificações e características físicas e técnicas, além do preço e qualidade atual de todos os elementos, unidos a todas as informações iniciais existentes (PALAORO, 2016).

Para atender a esta dimensão do BIM deve-se considerar o *as-built* do edifício, que segundo Pinhal (2015), consiste no levantamento de todas as informações referentes a uma edificação, obtendo-se ao final, um documento que irá revelar a atual situação dos elementos, o posicionamento de instalações elétricas, estruturais, além de dados relacionados às demais disciplinas da construção. Cria-se, assim, um redocumento que contém as modificações ocorridas durante a execução da obra, permitindo que sejam realizadas manutenções e possíveis intervenções.

Neste quesito, a finalidade é manter dados e características dos componentes da edificação que exijam manutenção regular, da mesma forma, as modificações realizadas devem ser armazenadas em um cerne de informações chamado Gerenciador de Facilidades do Empreendimento, possibilitando a gerência da constância das vistorias, lista de medidas a serem tomadas regularmente ou emergencialmente. Este centro de informações pode estimar a duração da vida útil do empreendimento, prever futuros investimentos essenciais para sua manutenção, sendo capaz ainda de coordenar a demolição do edifício (PALAORO, 2016).

4.2.4 Parametrização

A concepção de parametrização é essencial para o conhecimento e aplicação do BIM, já que, conceitualmente, ferramentas de modelagem da informação da construção são modelos paramétricos baseadas em elementos com um conjunto predefinido de famílias e objetos

(EASTMAN *et al.*, 2014). Para compreender o significado do termo parametrização, Moreira (2008), explica o que é parâmetro de um objeto:

Ao utilizar softwares CAD as proporções de um objeto 3D podem ser fixadas ou definidas por meio de parâmetros, ou seja, os valores da coordenada que definem os vetores podem ser expressos não como constantes numéricas, mas como funções de uma ou mais variáveis, assim um sistema de equação é associado com a estrutura, as variáveis independentes são então os parâmetros do objeto. Quando os valores são definidos e atribuídos ao parâmetro, um tipo particular é especificado (MOREIRA, 2008 p. 94).

Os parâmetros de um objeto podem controlar diversas características, como suas coordenadas, sua cor, (através de valores numéricos de tom, brilho e saturação) e o número que corresponde à quantidade de repetições de um elemento. A modelagem paramétrica permite a criação dos seus próprios tipos de objeto, definindo-os com diferentes parâmetros que variam de acordo com a necessidade. Exemplificando, pode-se citar uma parede que pode ser reduzida, aumentada, unida a outros elementos, ou terem suas especificações técnicas alteradas, como seus materiais, sua aspereza, sua resistência ao fogo, etc. Pode-se concluir que a parametrização é responsável por gerar um imenso banco de dados para os projetistas (MOREIRA, 2008).

Batcheler e Howell (2005), afirmam que nos modelos paramétricos, os objetos são “inteligentes”, pois possuem dimensões e características variáveis, possibilitando a representação de uma geometria com maior complexidade e relações operacionais entre os objetos do edifício.

Segundo Moreira (2008), a parametrização permite a criação de famílias que é definida como um grupo de elementos que se distinguem somente em uma de suas propriedades como nas dimensões de seus componentes, e são responsáveis por agrupar os elementos de construção, de acordo com sua categoria, e usá-los quando houver necessidade. As famílias carregam diversas informações sobre o objeto e, graças à parametrização, há maior flexibilidade na concessão das características do elemento. Portas são elementos de construção que possuem suas famílias separadas por tipos: simples, duplas, de correr, sanfonadas, etc. (MOREIRA, 2008).

4.2.5 Nuvem e renderização

Entre as diversas áreas da construção civil, cada uma delas possui diferentes perspectivas e prioridades que devem ser consideradas na execução da obra. Para que um projeto seja concebido e executado de acordo com o conceito BIM é necessário que seja realizado o

armazenamento em nuvem das informações referentes a cada uma das disciplinas, para que cada uma tenha seus dados de entrada no início do processo.

De acordo com a AutoDesk 360 (2016), que oferece o serviço de armazenamento de informações em nuvem, os dados armazenados são centralizados e compartilhados entre os diferentes profissionais da construção, permitindo que uma grande variedade de análises seja realizada. Possibilita ainda que os planos de projetos sejam atualizados instantaneamente, podendo ser acessados de diferentes locais, e evita que informações sejam perdidas graças à recuperação de dados e gestão do ambiente tecnológico.

Em armazenamentos em nuvem, há ainda a possibilidade de realizar a renderização, que é a última etapa do processo de geração de uma imagem 3D. Segundo Costa (2011), através de modelos matemáticos, geram-se imagens otimizadas, plenas e realísticas do objeto 3D. Isso se dá com o auxílio de um *software* renderizador que age sobre a imagem através da aplicação de diferentes técnicas como: inserção de textura, demonstração de saliências em pequena escala sobre a superfície, aplicação de luzes, reflexões, sombras e transparências.

4.2.6 Verificação automática de incompatibilidades (*clash detection*)

Erros decorrentes na fase de execução de projetos são responsáveis por uma parcela significativa dos gastos direcionados à reparação das deficiências construtivas de um edifício. Diante das atuais exigências de mercado, uma verificação automática de compatibilidade entre projetos é determinante, e tem passado por algum desenvolvimento recentemente. Este fato pode ser verificado em iniciativas governamentais e não governamentais já concebidas, com destaque para o Corenet – Singapura, Projeto HITOS – Noruega, *DesignCheck* – Austrália, *SmartCodes* – Estados Unidos da América, entre outros, (MOÇO, 2015).

Utilizar uma ferramenta com a finalidade de analisar, automaticamente, a qualidade de projetos viabiliza que os profissionais possam efetuar, rapidamente, verificações parciais de conformidade durante o processo de elaboração dos projetos. Assim, a verificação automática deixa de se restringir a uma atividade administrativa, para se tornar um mecanismo que auxilia a tomada de decisões no decorrer da concepção do projeto. Outro aspecto que evidencia a importância em utilizar a verificação automática de incompatibilidade, método ainda inexplorado, é que um dos resultados é proporcionar, na fase de concepção do projeto, o surgimento de oportunidades para realizar alterações visando a otimização do produto final, e

nesse período inicial, os custos para a realização dessas mudanças são reduzidos (MOÇO, 2015).

Exemplificando as funcionalidades desta ferramenta, pode-se citar uma compatibilização entre o projeto elétrico e o arquitetônico, no qual se pode constatar interferências como a existência de um conduíte passando em um ponto onde está localizada uma porta ou uma janela. A informação deste conflito será arquivada em uma tabela que será enviada diretamente para os profissionais responsáveis, que poderão corrigi-lo adequadamente. Entretanto, os aplicativos utilizados na verificação de incompatibilidades indicam qualquer confronto, como um conduíte passando por uma parede, o que é o correto, e para separar os conflitos que necessitam de correção dos que não necessitam, deve-se criar regras de verificação.

4.2.7 LOD (Level Of Detail ou Level Of Development)

O conceito LOD pode significar *Level Of Detail* (nível de detalhamento) que representa a quantidade de detalhes incluídas nos elementos de um modelo BIM, ou mais atualmente *Level Of Development* (nível de desenvolvimento), que é uma ampliação do conceito inicial, e simboliza o nível de confiança que usuários podem ter nas informações incorporadas em um modelo BIM (CATELANI, 2016, p. 108).

A especificação LOD é uma referência que permite aos profissionais da AEC classificarem e articularem, com um alto nível de clareza, o conteúdo e o nível de confiabilidade de modelos BIM (KLORMAN *et al*, 2013).

Segundo Catelani (2016, p. 113), o LOD utiliza as definições básicas desenvolvidas pelo *American Institut of Archtects* - AIA, que organiza o grau de especificações de um modelo em cinco diferentes níveis de desenvolvimento:

- LOD 100: Consiste na proposta conceitual; o projeto com este nível de detalhamento traz informações referentes aos volumes totais do empreendimento. Auxilia nas análises da edificação como um todo e nas estimativas de consumos e macroplanejamento de uma obra.
- LOD 200: O modelo representará uma estrutura genérica com valores aproximados. Serve para geração de documentos habitualmente utilizados no processo de definições de métodos construtivos e de execução de um empreendimento; para que um orçamento seja realizado com maior precisão é necessário reunir mais detalhes integrados aos elementos do edifício e aos métodos e técnicas utilizados na construção.

- LOD 300: Os objetos constituintes do modelo determinam precisamente as quantidades, localização, orientação e forma dos objetos. O estudo de um modelo com este nível de detalhamento permite que seja elaborada uma estimativa de custos baseadas em especificações do modelo como as técnicas construtivas e outros dados particulares. O planejamento passa a ser realizado com base também na aparência dos objetos.
- LOD 400: Os objetos existentes no projeto carregam informações completas e precisas a respeito da fabricação e montagens dos elementos. O desempenho do modelo pode ser testado e comprovado para sistemas específicos; a orçamentação leva em consideração o custo de venda do empreendimento, atualizando os valores de objetos específicos, sempre que necessário. No planejamento adiciona-se as considerações relacionadas a métodos e sistemas construtivos.
- LOD 500: O nível final de aperfeiçoamento que constitui o edifício como ele foi realmente construído. Este modelo terá a função de auxiliar na gestão, manutenção e da operação da edificação.

4.2.8 Interoperabilidade

Atualmente procura-se na indústria da construção civil aprimorar a eficiência na concretização de uma obra e, para que isto seja possível, de acordo com Young Jr, Jones e Bernstein (2007), é primordial que todos os profissionais envolvidos troquem impressões e informações livremente e com uma melhor integração. Garante-se, dessa forma, maior exatidão e velocidade em todo o processo, evidenciando a importância da livre circulação de informações e compartilhamento dos dados.

Os autores Young Jr, Jones e Bernstein (2007, p. 5), enumeram os principais benefícios resultantes da interoperabilidade:

- Evita a reentrada de dados manualmente;
- Evita duplicações de funções;
- Evita a dependência contínua de troca de informações em papel;
- Aumenta a velocidade da entrega dos projetos;
- Reduz a vulnerabilidade de infraestrutura;
- Maior confiabilidade das informações durante todo o ciclo de vida do processo;
- Expansão de mercado para as companhias;

- Diminuição dos custos de comunicação;
- Possibilidade de oferecer melhores valores para os clientes.

Na indústria da AEC estão envolvidos profissionais de diversas áreas e existe uma necessidade de trocas de informações e dados entre todos os participantes de um projeto. Para adotar a tecnologia BIM é fundamental que exista a interoperabilidade, que segundo Eastman *et al* (2014), é a necessidade de passar dados entre aplicativos. Isto se justifica, já que, cada vez mais, cada tipo de atividade é mais bem suportado por seus softwares específicos, permitindo que todos os tipos de profissionais e aplicações computacionais, colaborem para a construção do empreendimento em questão, auxiliando a fluidez do trabalho.

A dificuldade de trocar informações, independente do aplicativo que os envolvidos no empreendimento utilizem, pode ser considerada o principal problema dos profissionais adeptos do BIM. Este obstáculo necessita passar por um desenvolvimento, já que aplicativos BIM ainda não possuem robustez na interoperabilidade, impossibilitando a cooperação entre eles (ALMEIDA, 2015).

Eastman *et al*, 2014 afirma que uma importante maneira de realizar o intercâmbio de dados entre dois softwares é o formato público de intercâmbio de informações de modelos, que abrangem a utilização de um padrão aberto para um projeto de construção civil, e o padrão IFC (*Industry Foundation Classes*) é uma das principais opções atuais. Este formato público é capaz de intercambiar características de objetos e demais elementos do modelo, sua geometria, além dos relacionamentos entre estes elementos, todos estes dados tem uma grande importância para análises e gerenciamentos de construção civil, (EASTMAN *et al*, 2014).

4.2.9 IFC (Industry Foundation Classes)

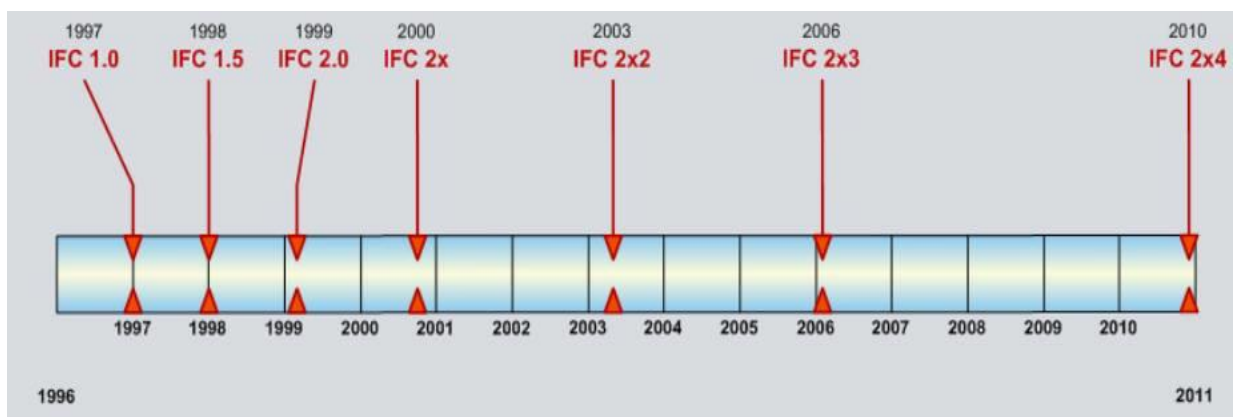
4.2.9.1 Desenvolvimento do IFC

Segundo Eastman *et al* (2014) até a década de 1980, somente era possível realizar intercâmbio de dados de maneira eficaz quando se tratava de formas e geometrias, entretanto passou a existir a necessidade de transmitir informações de um aplicativo computacional para outro, de objetos complexos que continham além da geometria, atributos e relações. Em consequência desta deficiência, fez-se um comitê técnico, na Suíça para a criação de um subcomitê de desenvolvimento de um padrão denominado STEP (*STandard for the Exchange of Product Model Data*), ISO-10303. Um de seus principais produtos foi a linguagem

EXPRESS, na qual os objetos podem ser usados como objetos conceituais ou abstratos, materiais, geometria, conjuntos, processos e relações entre outras coisas (EASTMAN *et al*, 2014).

O IFC é um modelo de dados de produto baseado no padrão STEP/ISO10300 e aprovado pela ISO/PAS 16739, foi concebido visando trocar dados entre projetos envolvendo todo o ciclo de vida de construções civis (EASTMAN *et al*, 2014). Trata-se de um padrão suportado pela IAI - *Industry Alliance for Interoperability*, que constituía um consórcio formado por algumas empresas que visavam a interoperabilidade de softwares na construção civil, algum tempo após a sua fundação seu nome passou a significar *International Alliance for Interoperability* e hoje é denominada buildingSMART (EASTMAN *et al*, 2014). Este modelo de dados está em constante desenvolvimento desde que foi criado, o que pode ser verificado na Figura 7. A versão 2x é elementar, pois a partir dela conservou-se a essência das especificações do padrão e as variações foram somente adições de capacidade em relação à versão anterior (PINHO, 2013).

Figura 7- Desenvolvimento do IFC no decorrer dos anos



Fonte: (Adaptado de Liebich, 2013).

De acordo com Pinho (2013), o IFC 4 se sobressai em relação ao IFC 2X3 devido à normalização deste novo esquema segundo uma norma mais atual (ISO 16739:2013), que inclui informações sobre a natureza do projeto como: itens físicos, espaciais, componentes usados nos estudos deste padrão, procedimentos, recursos e métodos, intervenientes e definições das circunstâncias específicas do modelo. O surgimento do novo esquema IFC, que pode também ser denominado IFC2x4, abrange uma área de serviço mais extensa como diversas novas aptidões que auxiliam para um progresso das definições (PINHO 2013). Graças ao uso e aprendizagem contínuos, foram implantadas alterações objetivando ampliar a coerência em

todo arquivo IFC, transformando-o em um padrão mais coeso e diminuindo a quantidade de parâmetros necessários para definição de um elemento (PINHO, 2013).

Atualmente, os padrões de modelos de dados e a linguagem IFC são publicados no *site* oficial da buildingSMART, associação sem fins lucrativos que objetiva proporcionar a interoperabilidade entre os aplicativos da construção civil, e suporta o desenvolvimento de padrões *Open BIM* para todo o ciclo de vida da organização.

O *Open BIM*, segundo Rendeiro (2013b), é destinado a projetos de modo universal, elaborados utilizando a cooperação, estes apresentam sua implantação e gerenciamento realizados por princípios e fluxos de serviço que favoreçam a troca de informação. Atualmente existe a certificação técnica *Open BIM*, gerada pela buildingSMART com o intuito de auxiliar os fornecedores de aplicativos da indústria da construção civil a aprimorar, ensaiar e atestar suas transferências de informações, visando um intercâmbio de dados de forma integrada com diversos softwares e soluções BIM abertas.

De acordo com o autor supracitado, a grande importância do *Open BIM* deve-se a cinco principais fatores listados a seguir:

- Possibilidade de sustentar um fluxo de serviço transparente coerente e acessível por diferentes profissionais da construção civil, possibilitando que todos os envolvidos no projeto possam ter acesso aos diferentes projetos e ter ciência de suas atualizações, independentemente das ferramentas de software que utilizem.
- Criação de uma linguagem universal para trabalhos largamente referenciados possibilitando que a indústria e governos elaborem projetos com transparência, garantindo a qualidade de informações e facilitando a avaliação de serviços.
- As informações de um projeto fornecidas pelo *Open BIM* são duradouras, podendo ser utilizadas, com segurança, em todo o ciclo de vida do empreendimento, evitando a reentrada de dados similares e erros.
- O *Open BIM* possibilita que fornecedores de softwares, sejam eles de pequeno ou grande porte, participem e concorram com soluções otimizadas independente de sistemas.
- Promove o incentivo da oferta de produtos *online* com pesquisas mais exatas de demanda por parte do usuário e proporcionando os dados dos produtos essencialmente para o BIM.

O IFC é um modelo de dados extensível, responsável por traduzir os dados referentes a um projeto de um software para outro, constitui na proposta da buildingSMART para solucionar

as dificuldades em implantar a interoperabilidade na indústria da construção, o IFC está caminhando para se tornar o modelo padrão de intercâmbio de dados (MANZIONE, 2016a). A *Industry Foundation Classes*, segundo Nascimento (2004), resume-se em um arquivo de dados, não proprietário, que objetiva uniformizar os sistemas orientados por objetos em um modelo aberto, possibilitando que diversos aplicativos capacitados em trabalhar com IFC, tornem-se aptos para os compartilhamentos necessários.

Pazlar e Turk (2008) afirmam que o padrão IFC garante o armazenamento e intercâmbio de informações de forma coordenada, permitindo a manutenção dos dados em diferentes ferramentas de projeto. Diferente do que acontecia em aplicativos antigos, que designava aos profissionais o encargo de interpretar informações.

De acordo com Manzione (2016a), qualquer implementação de intercâmbio de dados em IFC precisa atender aos requisitos de troca (*exchange requirements*), que são informações que necessariamente devem estar exibidas na troca de dados em algum dos documentos de um modelo para evitar a existência de incertezas.

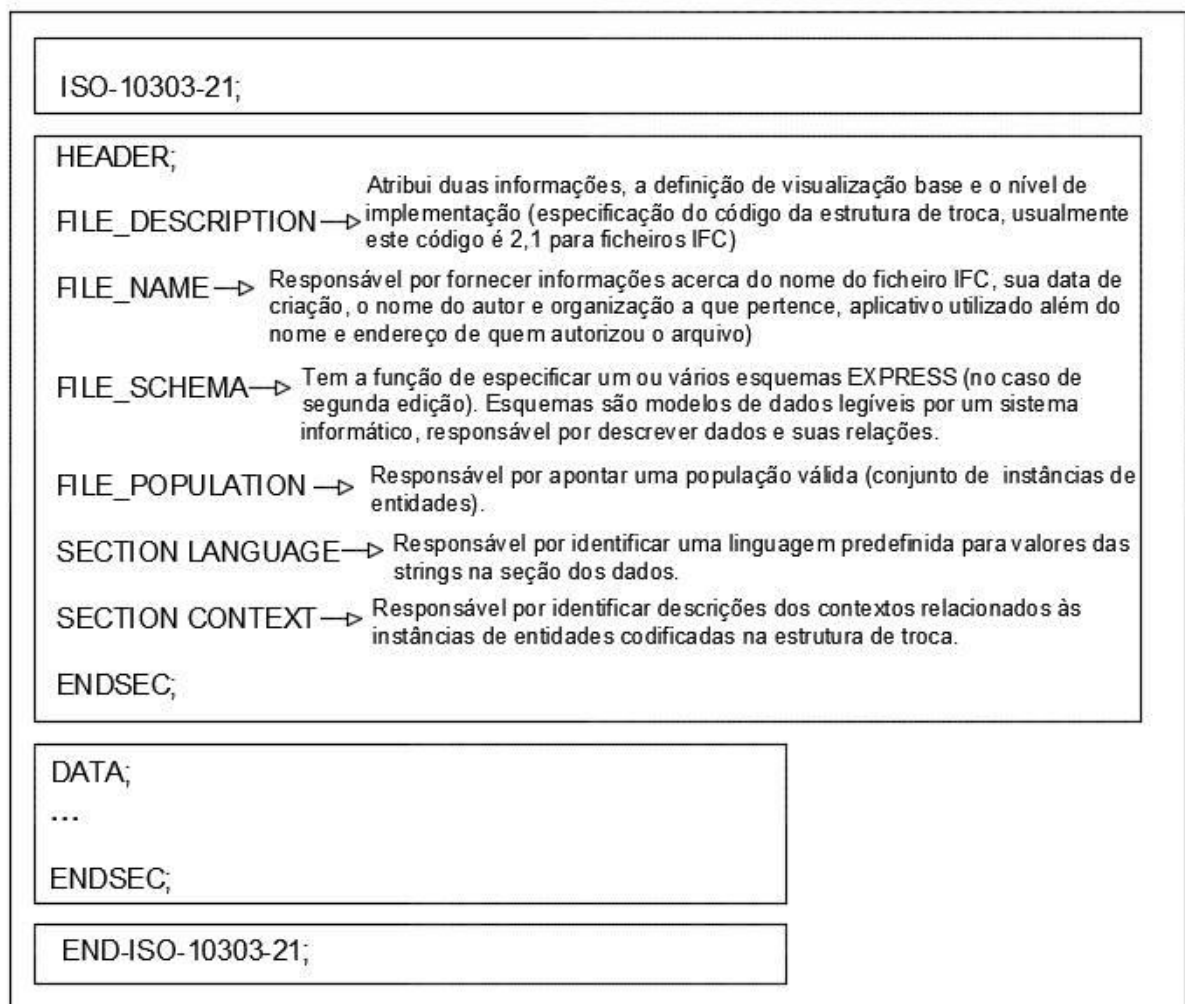
Neste contexto, Mehus (2016) ressalta que, além do IFC que é responsável por definir como os dados serão intercambiados, a buildingSMART desenvolve também o IFD (*International Framework for Dictionaries*), encarregado de estabelecer quais dados serão trocadas, com o objetivo de incluir os variados conceitos, definições e propriedades para que um modelo possa ser visualizado em qualquer software que trabalhe com o IFC. Há ainda o desenvolvimento do IDM (*Information Delivery Manual*), incumbido de determinar em que momento é interessante partilhar determinadas informações. Este último conceito caminha unido ao MVD (*Model View Definitions*) que, segundo Manzione (2016a), é capaz de discernir as informações em subconjuntos de informações, posicionando cada informação em seu domínio específico.

4.2.9.2 Estruturas internas de ficheiros IFC

De acordo com Pinho (2013), para compreender a construção de ficheiros IFC, ou STEP-*file* (arquivo STEP), que são os arquivos de texto que reúnem as informações e características de um modelo e viabilizam a interoperabilidade, é de grande importância o conhecimento básico de seus termos e estruturação básica. No início e no final de qualquer arquivo IFC deve-se referenciar a norma ISO 10303, que é responsável por destacar o formato de um arquivo STEP, na qual há somente uma definição de elementos do modelo em cada linha.

A estruturação de um arquivo que segue a norma supracitada divide-se em duas segmentações, a primeira delas é denominada HEADER, que é composta de uma estrutura fixa e pode conter seis subconjuntos de armazenamento de informação, dos quais três são obrigatórios “FILE_DESCRIPTION”, “FILE_NAME” e “FILE_SCHEMA”, e os demais subconjuntos podem aparecer em arquivos de segunda edição e são denominados “FILE_POPULATION”, “SECTION_LANGUAGE” e “SECTION_CONTEXT”, (PINHO, 2013). A segunda seção é designada DATA que traz dados dos modelos elaborados em diferentes softwares, respeitando um esquema EXPRESS, é neste segmento que as entidades são designadas ao ficheiro IFC (PINHO, 2013). A Figura 8 ilustra como cada uma dessas informações apresentam-se em um ficheiro IFC.

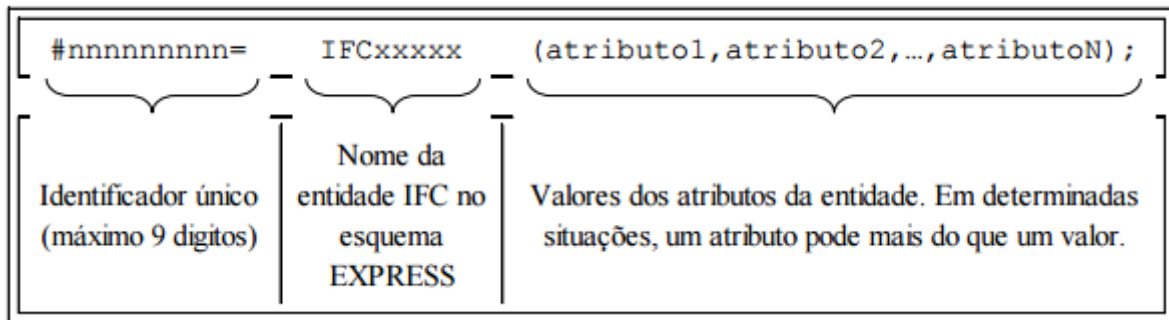
Figura 8- Estrutura de um ficheiro IFC



Fonte: (Adaptado de Nour, 2008).

Segundo Pinho (2013), em um ficheiro IFC cada entidade apresenta uma organização específica, na qual se pode verificar um identificador único, seu nome de acordo com o esquema EXPRESS, e seus atributos, como mostra a Figura 9.

Figura 9- Organização de uma entidade



Fonte: (Adaptado de Nour, 2008).

Pinho (2013) afirma que em um ficheiro IFC não existe um caminho obrigatório para o sequenciamento das entidades, sua ordem de apresentação dá-se de acordo com sua hierarquia dentro da estrutura de camada e suas vinculações de atributos.

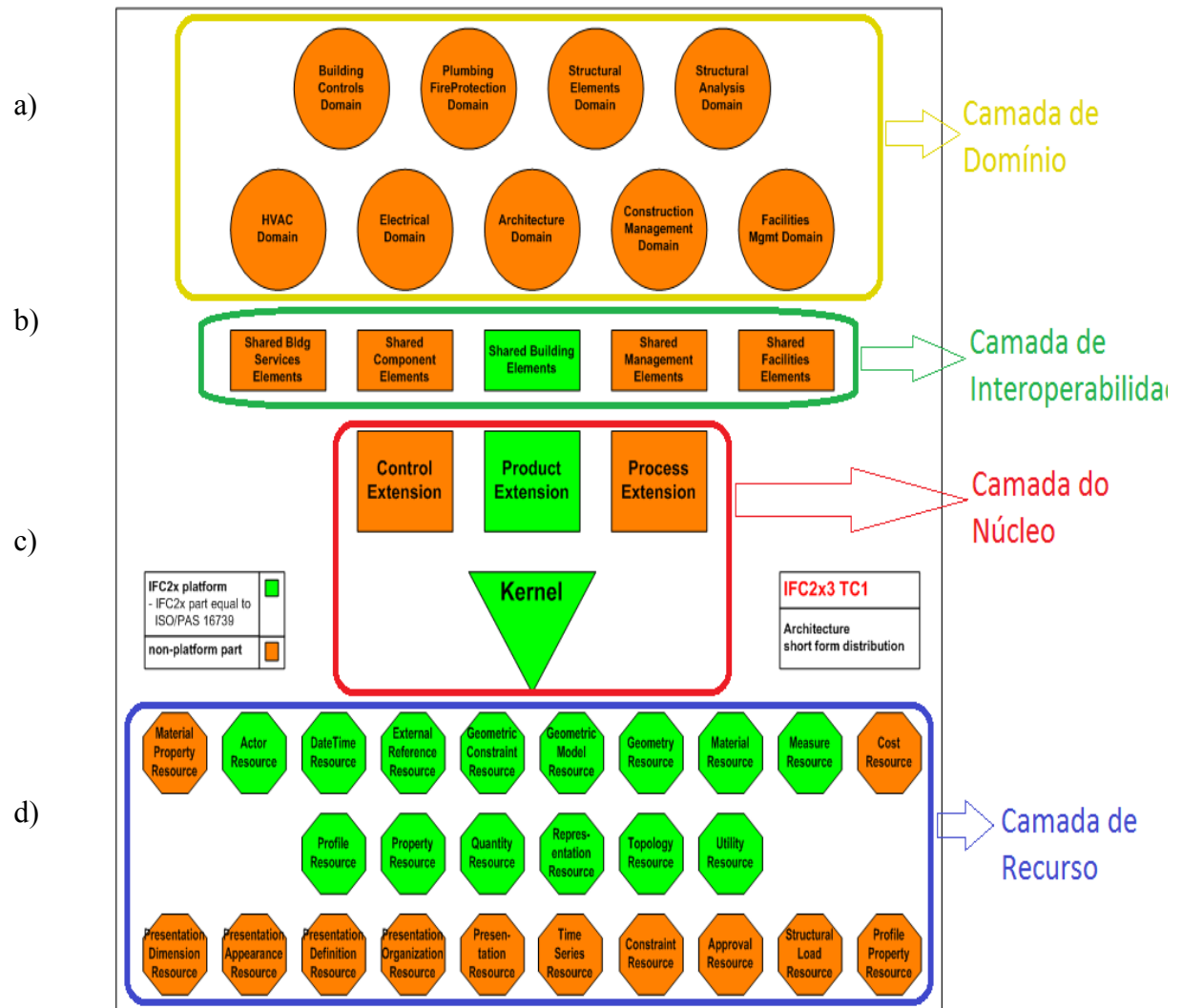
4.2.9.3 Estrutura de camadas do IFC

Segundo Liebich (1999, p. 3), o modelo IFC foi desenvolvido utilizando um conjunto de princípios, apresentados a seguir, que são responsáveis por sua organização e estrutura:

- Proporcionar uma estrutura modular para o desenvolvimento dos componentes do modelo;
- Fornecer uma série de informações entre diferentes disciplinas dentro da indústria da AEC;
- Facilitar a manutenção contínua e desenvolvimento do modelo;
- Permitir que todos os gerenciadores de informação tenham acesso a elas;
- Propiciar o fornecimento de uma melhor compatibilidade entre os modelos.

Todos os objetos na linguagem EXPRESS são denominados de entidades (ESTEAN *et al.*, 2014). A organização conceitual das entidades IFC respeita uma hierarquia e pode ser visualizada na Figura 10 (detalhada nas Figuras 10a, b, c, d).

Figura 10- Estrutura do IFC 2x3



Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Segundo Liebich, (1999), a camada inferior é a de recurso, onde estão as entidades base. Nesta existem 26 recursos; acima se encontra a camada do núcleo; a seguir situa-se a camada de interoperabilidade; e a superior é a camada de domínios. O modelo IFC opera respeitando um “princípio de escada”, ou seja, em qualquer camada pode-se referenciar uma entidade da mesma classe hierárquica ou da camada inferior, mas não pode fazer referência a uma entidade da camada superior (LIEBICH, 1999).

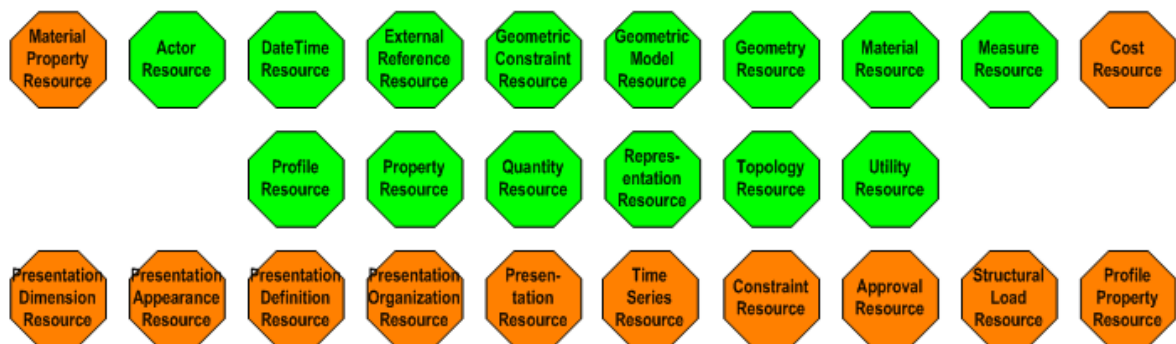
As explicações referentes a cada camada, de acordo com LIEBICH (1999), se encontram a seguir.

Camada de recurso

A camada de recurso (Figura 10.a) corresponde à camada inferior do IFC e pode ser utilizada ou referenciada pelas classes das camadas superiores. Os recursos podem ser caracterizados como entidades de uso geral, ou como as entidades do mais baixo nível, ou ainda como objetos que não dependem de nenhuma outra classe para sua existência (LIEBICH, 1999, p. 5).

Todos os recursos representam conceitos individuais, por exemplo, todas as informações referentes ao custo são coletadas dentro do esquema de custo “IfcCostResource”, e qualquer classe dentro do núcleo, interoperabilidade ou domínio que precisem usar o custo, referenciarão este recurso. Da mesma forma, todas as informações referentes à geometria estão reunidas dentro do “IfcGeometryResource”, ou seja, definições de entidades geométricas fundamentais são definidos neste recurso. Dados relativos à geometria podem ser utilizados em todas as camadas acima através do recurso representação, também fornecido na camada de recurso. Um objeto da interoperabilidade, por exemplo, pode utilizar várias entidades de geometria para sua representação, (LIEBICH, 1999 p. 5).

Figura 10.a - Camada de Recurso



Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Camada do Núcleo

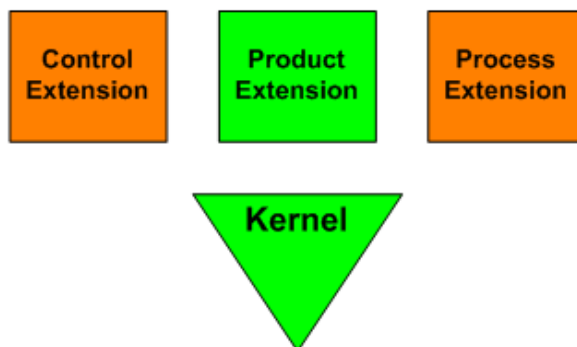
Segundo Liebich (1999 p.6), a camada de núcleo (Figura 10.b) proporciona a estrutura básica do modelo IFC e define os mais abstratos conceitos que serão utilizados em camadas mais altas. As metas do núcleo são: definição de conjuntos que usualmente aparecem repetidas vezes, dos quais os conceitos serão refinados e utilizados por várias entidades de

interoperabilidade e de domínio, além de proporcionar uma definição estável da base de objetos. O núcleo inclui dois níveis de abstração:

1 – O Kernel- Fornece todos os conceitos básicos necessários para o modelo. É o responsável por determinar a estrutura e decomposição das entidades, além de incluir conceitos fundamentais relativos à disposição de objetos, relacionamentos, definições de tipo, atributos e funções. O Kernel pode ser entendido como um tipo de referência que fornece a base para todas as extensões do modelo. As construções que formam o Kernel são genéricas, abstratas e obrigatórias para todas as implantações IFC, (LIEBICH, 1999 p. 6).

2- Core Extensions – Como o nome induz, este nível fornece extensões ou especializações dos conceitos definidos no Kernel. Extensões do núcleo é a primeira camada de refinamento para os conceitos abstratos definidos no Kernel, ademais, são definidos no Core Extensions, relações primárias e determinação de funções, (LIEBICH, 1999 p. 6).

Figura 10.b - Camada do Núcleo

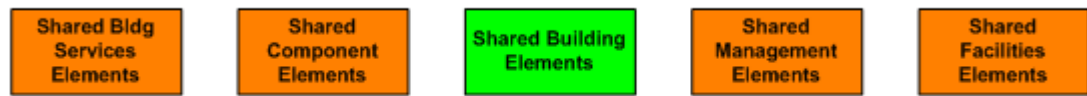


Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Camada de Interoperabilidade

O principal objetivo da camada de interoperabilidade (Figura 10.c) é o fornecimento de definições de objetos que podem ser compartilhados entre diferentes áreas da engenharia e intercambiados entre diferentes aplicativos que permitem a interoperabilidade. Exemplificando os elementos que são definidos nessa camada pode-se citar elementos de construção, como parede, viga, porta, ou elementos de gerenciamento como custo e cronogramas, (LIEBICH, 1999 p. 7).

Figura 10.c - Camada de Interoperabilidade

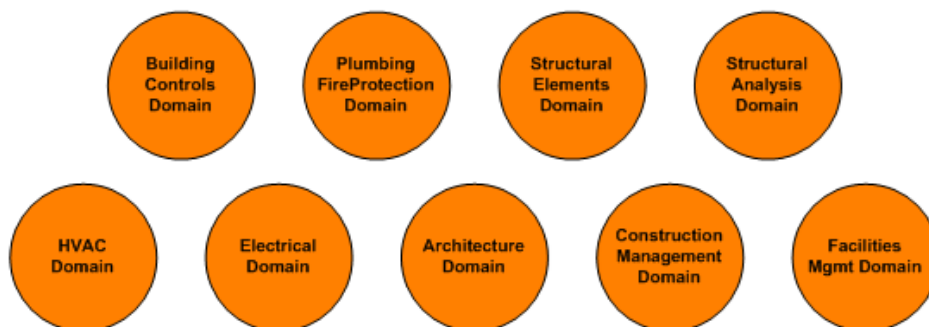


Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Camada de Domínio

A camada de domínio (Figura 10.d) tem a capacidade de fornecer mais detalhes de objetos que são necessários para domínios específicos da indústria de AEC, e possui como principal objetivo, prover definições de tipo específico que são adaptados para serem utilizados dentro da própria camada de domínio, (LIEBICH, 1999 p. 8). Um exemplo de definições realizadas nesta camada, no âmbito de estruturas, são as armaduras de uma viga.

Figura 10.d - Camada de Domínio



Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

4.2.10 Softwares BIM

Segundo Rosso (2011), um software para atender os conceitos BIM deve trabalhar com informações ligadas ao modelo em 3D da edificação, com o auxílio de uma base de dados que suporte todas as etapas do projeto. Além disso, o aplicativo deve permitir que ocorra a interoperabilidade, ou seja, permitir que um arquivo elaborado em um aplicativo possa ser lido em outro, possibilitando a comunicação entre softwares de modo transparente. Essa é uma das principais dificuldades encontradas pelos adeptos da tecnologia BIM, pois a maioria dos programas utiliza formatos próprios de armazenamento de informações.

Segundo Manzione (2016b), para que a elaboração de projetos e sua execução possam contar com a tecnologia BIM, durante todo seu ciclo de vida, é fundamental o uso do IFC. A buildingSMART listou 204 softwares que apresentam compatibilidade com o IFC e estes são divididos, de acordo com a sua funcionalidade, em: Arquitetônico, Análises de desempenho energético do edifício e simulação, Serviços do edifício, Gerenciamento da construção, Servidor de dados, Desenvolvimento de ferramentas, Gerenciamento de facilidades, Modelagem geral, Sistema de informação geográfica, Visualizador de modelo, Estrutural e outros. O Quadro 1 mostra os aplicativos utilizados neste trabalho, em negrito, e, estes são descritos na sequência do texto.

Quadro 1 - Classificação dos Softwares BIM de acordo com sua funcionalidade

Funcionalidade	Softwares
Arquitetônico	4M IDEA Architecture, AutoCAD Architecture, ViCADo.arc, NTItools Arkitekt (Revit plug-ins), cadwork wood, Vectorworks Architect, Digital Project, ArchiCAD , Allplan Architecture, VisualARQ, DDS-CAD Architect, Bentley speedikon V8i (SELECTseries4), Revit Architecture , IFC-to-RDF Web Service, SPIRIT, EliteCAD AR, AutoScheme, Renga Architecture, AECOSim Building Designer V8i, BricsCAD, ARCHLine.XP.
Análises de desempenho energético do edifício e simulação	IDA ICE, RIUSKA, Simergy, OpenStudio e IES-VE.

Serviços do edifício	PipeDesigner 3D, CADduct, CADiE Sähäkkä, 4M FineSANI, DDS-CAD MEP, AutoCAD MEP, Design Master HVAC, Design Master Plumbing, Design Master Electrical, DuctDesigner 3D, Benchmark, CADS Planner Electric, MagiCAD, Revit MEP, CADmep+, 4M FineELEC, 4M FineHVAC, Raumtool 3D, Plancal nova e AECOsim Building Designer V8i.
Gerenciamento da construção	GALA Construction Software, DProfiler, IFC Takeoff for Microsoft Excell, Synchro Professional, CostOS BIM Estimating, BIMProject evolution, DDS-CAD Construction, Navisworks , ISY Calcus, Vico Office Suite, CostX, SuperPlan, Tekla BIMsight, EcoDomus PM, AutoBid SheetMetal, SmartKalk, PriMus-IFC, Asta Powerproject BIM, Golden Takeoff (TAS), RIB iTWO e ArtrA.
Servidor de dados	Bimsync, Constructivity Model Server, EDMserver, BIM Collaboration Hub, cBIM Manager, BIMserver, ActiveFacility, IfcWebServer, ACTIVE3D Build Server, Business Collaborator CDE, Trimble Connect, ArchiBIM Server, CESABIM, GliderBIM, BIM Track, IFChub, Aconex, Adoddle
Desenvolvimento de ferramentas	bimsync Viewer API, ECCO Toolkit, IFCsvr ActiveX Component, simplebim.Developer, IFC Engine DLL, ifc-dotnet, IFC SDK, HOOPS Exchange, ST-Developer, IfcOpenShell, IFC Toolbox, IfcGears, BSPro, Open IFC Tools, bimsync REST API, xBIM Toolkit.
Gerenciamento de facilidades	FaMe, MORADA, ArtrA, ACTIVE3D Facility Server, TRIRIGA Facilities, EcoDomus FM, DaluxFM, Real Estate, openMAINT, performa Asset Management System, Bentley Facilities V8i.
Modelagem geral	Ziggurat, Constructivity Model Editor, ggRhinoIFC, SolidWorks Premium, FreeCAD, Solid Edge e SketchUp.
Sistema de informação geográfica	ArcGIS Desktop, FME e Bentley Map V8i.

Visualizador de modelo	Bimsync, Dalux Building View, Constructivity Model Viewer, IFC2SKP plugin, Nemetschek IFC Viewer, DDS-CAD BIM-Enhancer, IFC File Analyzer, DDS-CAD Viewer, Solibri Model Checker, BIMReview evolution, Dalux BIM Checker, FZK Viewer, IFC Quick Browser , simplebim, AutoVue 3D Professional Advanced, Tetra4D Converter, StruWalker, IFC Engine Viewer, Solibri Model Viewer, RxView, ArchiBIM Viewer, ArchiBIM Analyzer, performa Manager, performa Urbanscape, NaviTouch, BIM Vision, MicroStation V8i, MicroStation View V8i, MicroStation PowerDraft V8i, Bentley Navigator V8i e Revu.
Estrutural	SteelVis, Advance Concrete, NTItools Konstruksjon (Revit plug-ins), Tilt-Werks, AVEVA Boca Steel, Revit Structure, Advance Design, Allplan Engineering, Tekla Structures, Advance Steel, StruCad, SDS/2, RSTAB, CSiBridge, 4M STRAD, FEM-Design, AxisVM, STRAKON, InfoCAD, SPACE GASS, Bentley Structural Modeler v8i, SOFiSTiK Structural Desktop (SSD), ViCADo.ing, ScaleCAD, SAP2000, Scia Engineer, ETABS, RFEM, CAD/TQS , Tricalc, CYPECAD, SAFI 3D e AECOSim Building Designer V8i.
Outros	IFCCompressor, BIMTag, Space Layout Editor for Microsoft Visio, Onuma System, dRofus, Solibri Model Optimizer, BIMsurfer WebGL viewer, IFC Model Exchange for Microsoft Visio, IFC BIM Validation Service, ROOMEX, AEC3 BimServices, SmartPlant Interop Publisher, performa Codechecker, Causeway BIM Management, performa Integrity Checker, Flow / MassMotion e BIMseek.

Fonte: Autoria Própria.

4.2.10.1 ArchiCAD

É um software da empresa Grafisoft, Nemetschek Company. Este aplicativo tem a capacidade de reduzir a complexidade da modelagem e documentação de edifícios, independentemente do nível de detalhamento do projeto. Um diferencial deste programa é que

ele possui alta eficiência na avaliação do desempenho energético, possibilitando que os usuários examinem o consumo de energia do empreendimento com alta tecnologia. Este software possui uma volumosa biblioteca e permite que qualquer projetista, mesmo que não utilize o programa, abra um projeto elaborado em ArchiCAD, pois o arquivo pode ser exportado em IFC (ARCHICAD, 2016).

4.2.10.2 *Revit Architecture*

Software da empresa Autodesk, Inc. De acordo com Justi, (2007), este é um aplicativo integralizado de projeto arquitetônico, que apresenta potencial para produzir a documentação completa do processo em todas as suas fases. O Revit é uma ferramenta de modelagem capaz de associar informações aos objetos pertencentes ao modelo, Possui habilidade para desenvolver projetos arquitetônicos, não somente do edifício como também do terreno, com todas suas características, onde a obra será implantada (JUSTI, 2007). É o aplicativo mais difundido no mercado. O Revit tem a capacidade de desenvolver projetos específicos de estruturas e instalações - Revit Structure, Revit MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*), respectivamente. Este programa também possibilita a exportação de dados no formato IFC.

4.2.10.3 *NavisWorks*

Este software da empresa Autodesk, Inc. permite que profissionais da AEC unam seus projetos em um modelo de informação de construção único e sincronizado. A revisão do projeto com o auxílio deste aplicativo, permite que os participantes do processo compartilhem, combinem e aperfeiçoem modelos de projeto 3D, (AUTODESK, 2016).

De acordo com a Autodesk, 2016 a revisão do projeto, em sua totalidade, garante melhor controle sobre os resultados do projeto, organização de disciplinas, evitar a existência de interferências e planejamento de projetos, antes que o empreendimento se inicie.

As principais funcionalidades deste software são: quantificação, renderização, armazenamento de projetos em nuvens de pontos, *clash detection*, além de auxílio na determinação do cronograma e sequenciamento de atividades, (AUTODESK, 2016).

4.2.10.4 IFC Quick Browser

Software desenvolvido pela empresa GEM Team Solutions GbR. Segundo Ringley (2014), este aplicativo é utilizado para estudos de arquivos IFC e pode ser utilizado até mesmo para aqueles extremamente extensos. O IFC Quick Browser exibe o arquivo IFC em uma estrutura de árvore, facilitando o entendimento do armazenamento de informações no formato de arquivo IFC (RINGLEY, 2014).

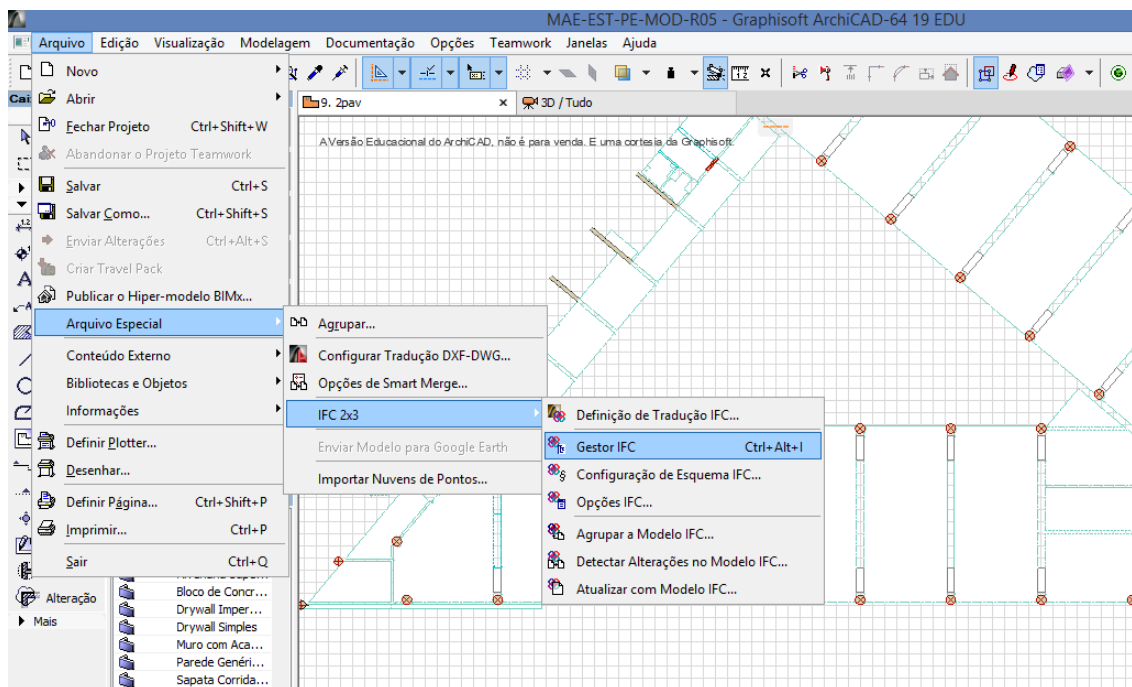
4.2.10.5 CAD/TQS

Este software é da empresa TQS Informática LTDA, utilizado em modelos de concreto armado e protendido, respeita totalmente a norma NBR 6118:2003 (Projeto de estruturas de concreto — Procedimento) (ABNT, 2003). Entre as diferentes funcionalidades deste software, pode-se citar a análise de esforços através de estudo de grelhas e pórticos, cálculo de estabilidade e quantificar e dimensionar as particularidades de pilares, lajes e vigas (TQS INFORMÁTICA LTDA, 2016).

5. COMPREENSÃO DA ESTRUTURA DO IFC 2x3.

Para compreensão da estrutura das informações IFC, sua hierarquia de dados, o relacionamento existente entre os elementos do projeto, além de explorar os parâmetros do IFC voltados para visualização do modelo 3D e entender a disposição das propriedades de um elemento (identidade, composição, localização, representação), utilizou-se um modelo de projeto estrutural fornecido, em formato IFC e RVT (formato de um projeto feito no software da AutoDesk, o Revit). Este modelo usado foi fornecido pela empresa DOX, Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Imobiliário LTDA, que teve parceria na realização deste trabalho. Esta parceria foi a responsável pela sugestão da utilização do esquema IFC 2x3, visto que muitos softwares usuais, incluindo o ArchiCAD, ainda não reconhecem o esquema mais atual IFC 2x4. O modelo em formato IFC foi aberto pelo software ArchiCAD, o pavimento térreo foi selecionado e, em seguida, o gestor IFC foi aberto como ilustra a Figura 11. O gestor IFC é uma importante funcionalidade existente no software ArchiCAD, que facilita o trabalho com arquivos no formato IFC.

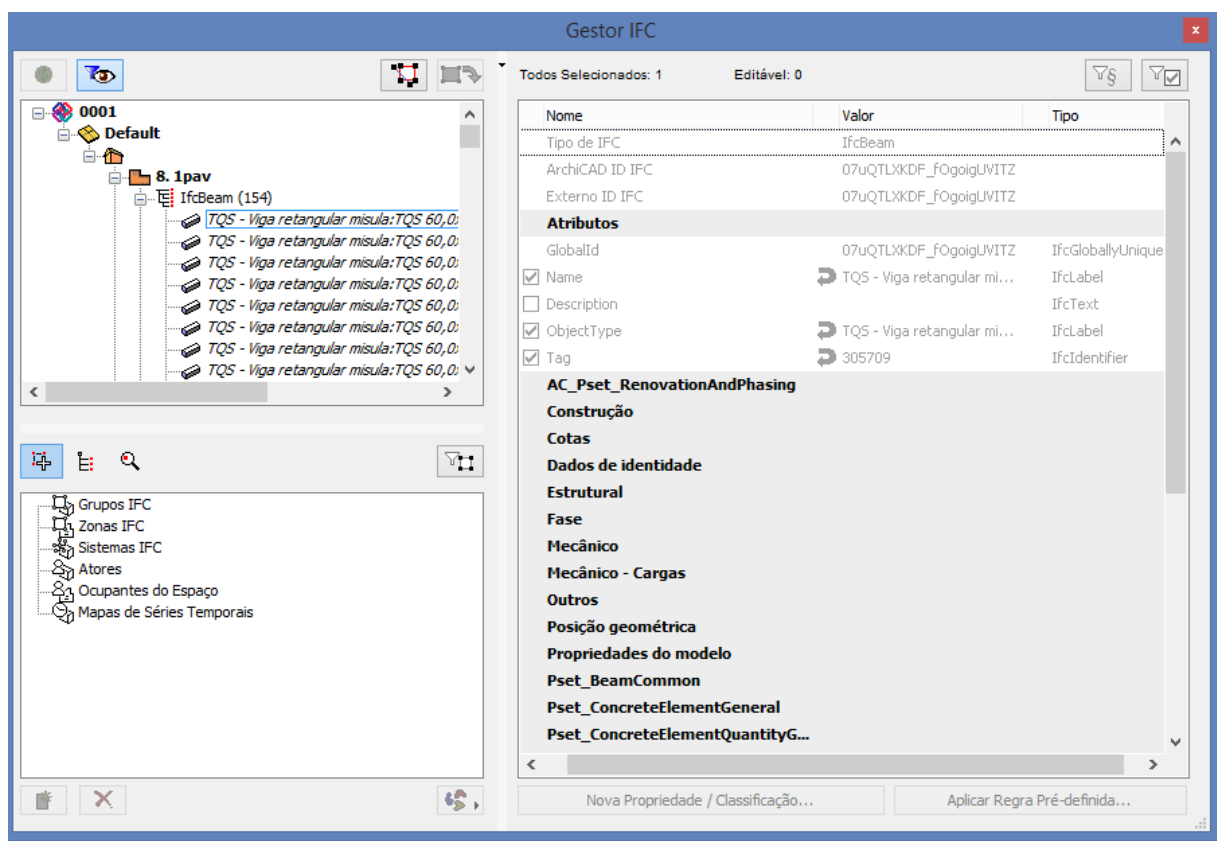
Figura 11- Acesso ao Gestor IFC do Software ArchiCAD



Fonte: Autoria Própria.

Este estudo da linguagem IFC foi realizado através da análise de dados de uma mísula, que é um tipo de peça resistente com base triangular com a função de servir de apoio a uma laje. Neste modelo a mísula foi tratada como viga, dessa forma, todo o estudo das atribuições e relações do elemento foi feito como se tratasse de uma viga. Ao abrir o Gestor IFC foi selecionada a mísula chamada “TQS Viga retangular mísula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0: 305709”. Em seguida foi exibida uma tabela com atributos da viga em questão, Figura 12.

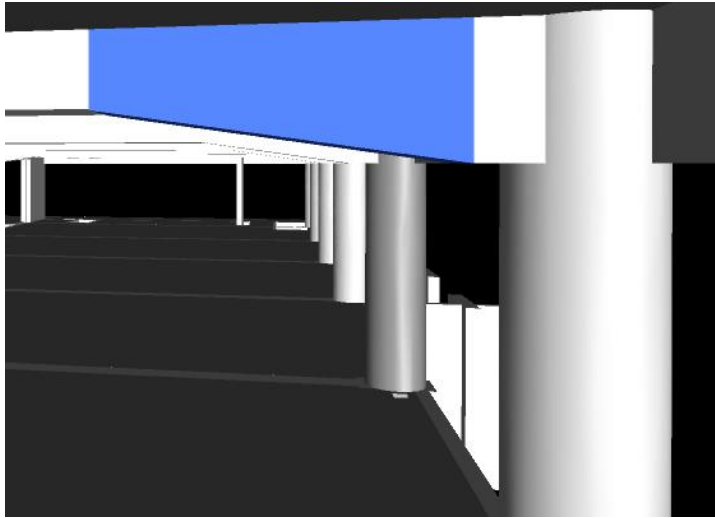
Figura 12- Tabela de atributos da viga selecionada



Fonte: Autoria Própria.

Para melhor visualização da viga foi aberto o projeto no Software NavisWorks, (Figura 13). A mísula foi encontrada neste aplicativo através de seu *Global ID*, identificador global de um elemento, atribuído pela inteligência do software, de forma que este nunca se repita.

Figura 13- Visualização da mísula em estudo



Fonte: Autoria Própria.

5.1 DIFERENÇA ENTRE ENTIDADES, ENUMERAÇÕES, TIPOS DEFINIDOS, TIPOS SELECIONADOS, FUNÇÕES E REGRAS

No *site* da buildingSMART existe um diagrama como o da Figura 10, exposta anteriormente na Revisão Bibliográfica. Ao clicar em qualquer ícone de cada camada pode-se visualizar todas as entidades, tipos, enumerações, regras e funções deste ícone.

5.1.1 Entidades

Entidades são todos os elementos que aparecem no ficheiro IFC, são elas as responsáveis pelo armazenamento dos dados de um modelo, ou seja, elas se encarregam de intercambiar informações de um projeto, que é o foco do padrão IFC. As enumerações e tipos selecionados são responsáveis por organizar as informações; os tipos definidos relacionam um elemento com sua variável, as funções são utilizadas para realizar verificações importantes e, as regras servem para evitar que alguns erros ocorram.

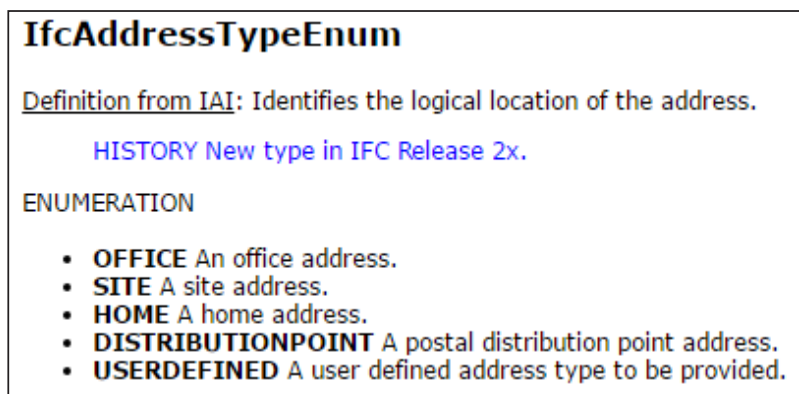
Em qualquer ícone das quatro camadas existem entidades, elas podem ser desde uma barra de reforço de um elemento do projeto estrutural (IfcReinforcingBar – camada de domínio), ou uma viga (IfcBeam – camada de interoperabilidade), ou um relacionamento entre dois elementos (IfcRelAssigns – camada do núcleo) ou até mesmo uma direção, que é determinada através de vetores, (IfcDirection – camada de recursos).

Muitos exemplos de entidades serão apresentados no decorrer deste trabalho. Os apêndices D e F ilustram diversas delas, que são utilizadas no armazenamento de dados referentes à identificação, histórico de informações, posicionamento, representação e relacionamentos de um elemento do modelo.

5.1.2 Enumerações

Enumerações são listagens de exemplares pré-definidos que determinam diferentes tipos de informações responsáveis por caracterizar o modelo de alguma forma, como o `IfcAdressTypeEnum`, que enumera cinco diferentes tipos de endereço que podem ser utilizados, como pode ser visto na Figura 14:

Figura 14- Enumeração do tipo de endereço



Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

A primeira variedade desta lista de enumerações é o fornecimento de um endereço de um escritório, a segunda é o fornecimento de um endereço de um local qualquer, a seguinte é o endereço de uma casa, a quarta consiste em um código de distribuição postal, e a última variedade é o usuário que define o tipo do endereço que será fornecido.

No segundo exemplo, encontra-se uma listagem com seis diferentes tipos de viga, como pode ser verificado na Figura 15.

Figura 15- Enumeração do tipo de viga

IfcBeamTypeEnum <u>Definition from IAI:</u> This enumeration defines the different types of linear elements an <i>IfcBeamType</i> object can fulfill: • BEAM: A standard beam usually used horizontally. • JOIST: A beam used to support a floor or ceiling. • LINTEL: A beam or horizontal piece of material over an opening (e.g. door, window). • T_BEAM: A T-shape beam that forms part of a slab construction. • USERDEFINED: User-defined linear beam element. • NOTDEFINED: Undefined linear beam element
--

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

O primeiro tipo de viga é a padrão, usualmente horizontal; a segunda variedade consiste em uma viga estrutural, responsável por suportar uma laje ou uma cobertura; o terceiro tipo é uma viga localizada sobre uma abertura que pode ser destinada para a implantação de uma porta ou janela; a variedade seguinte é uma viga em forma de “T” que faz parte da construção de uma laje; o quinto tipo de viga é um elemento linear definido pelo usuário; e finalmente o sexto tipo de viga é um elemento linear indefinido.

5.1.3 Tipos definidos

Os “Tipos Definidos”, por sua vez, são responsáveis por relacionar um elemento com sua variável ou com seu tipo, exemplificando, tem-se o *IfcBoolean* que retorna o valor “T” (*True*) ou “F” (*False*). Pode-se citar ainda o *IfcAreaMeasure*, ou seja, medida de área, valor de extensão de uma superfície, que relaciona um número real, geralmente em m². Outro importante “Tipo Definido” para a representação 3D é o *IfcDimensionCount*, que consiste em um inteiro positivo responsável por determinar uma extensão em um espaço coordenado que pode ser dado em uma, duas ou três dimensões.

5.1.4 Tipos selecionados

Os “Tipos Selecionados” são responsáveis por definir o modo de definição que será utilizado. Cada um dos possíveis tipos são entidades que definem um elemento do modelo de maneira distinta. Para esclarecer, pode-se citar o *IfcActorSelect* que contém três tipos ou entidades que poderão ser selecionados para referenciar o autor responsável pelo modelo, podendo consistir em uma pessoa, uma organização, havendo ainda terceira possibilidade que cita a pessoa e a relaciona com a organização responsável, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16- Tipo Selecionado para referenciar o autor responsável pelo modelo

EXPRESS specification:

```

TYPE IfcActorSelect = SELECT
  ( IfcOrganization,
    IfcPerson,
    IfcPersonAndOrganization);
END_TYPE;

```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

Outro “Tipo Selecionado” é o IfcAxis2Placement, que permite o posicionamento de um objeto no espaço. Os seus dois modos de definição são: posicionamento em um espaço bidimensional ou em um espaço tridimensional, utilizando a entidade IfcAxis2Placement2D e IfcAxis2Placement3D, respectivamente, como mostra a Figura 17:

Figura 17- Tipo Selecionado para posicionamento de um objeto

EXPRESS specification:

```

TYPE IfcAxis2Placement = SELECT
  ( IfcAxis2Placement2D,
    IfcAxis2Placement3D);
END_TYPE;

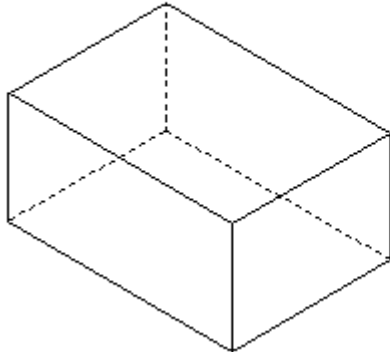
```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

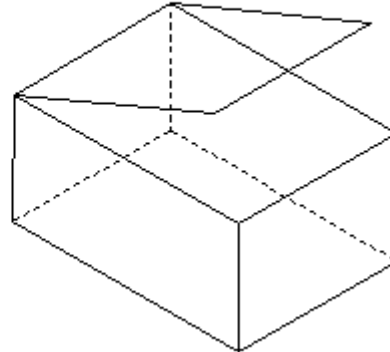
Exemplificando mais um tipo selecionado, menciona-se o IfcShell, que é utilizado quando há necessidade de armazenar a representação de objetos mais complexos, *shell*, ou no idioma português, concha. Pode ser do tipo fechado (IfcClosedShell), na qual um objeto geométrico é representado de modo que todas suas faces resultam um elemento fechado; ou do tipo aberto (IfcOpenShell), em que o objeto tem sua configuração de modo que suas faces originam um elemento aberto (Figura 18).

Figura 18- Elemento do tipo fechado e aberto

Elemento Fechado



Elemento Aberto



Fonte: Autoria Própria.

A especificação EXPRESS do IfcShell está representada na Figura 19, mostrando seus dois diferentes tipos de representação: o IfcClosedShell e o IfcOpenShell.

Figura 19- Tipo Selecionado IfcShell

EXPRESS specification:

```

TYPE IfcShell = SELECT
  ( IfcClosedShell,
    IfcOpenShell );
END_TYPE;

```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

5.1.5 Funções

O IFC contém algumas funções de verificação e, três delas serão exemplificadas a seguir: IfcSameCartesianPoint: que é responsável por comparar dois pontos cartesianos e assegurar de que sejam iguais (com a existência de um fator de precisão). Assim como o IfcSameDirection compara e assegura a semelhança entre duas direções. O terceiro exemplo citado é uma função do núcleo (IfcCorrectObjectAssignment) que verifica se o relacionamento entre dois elementos do modelo ocorre de maneira correta.

5.1.6 Regras

O IFC possui ainda regras globais que devem ser respeitadas para evitar a ocorrência de erros como, por exemplo, o `IfcSingleProjectInstance`, responsável por certificar que o `IfcProject` aparecerá somente uma vez em um arquivo IFC. O `IfcProject` é uma entidade que aparece uma vez em cada modelo, e sua função é estabelecer um contexto para que as informações de um projeto sejam trocadas. Esta entidade carrega informações sobre a precisão com que o projeto foi elaborado, traz as dimensões do espaço no qual o modelo será inserido, além de fornecer informações sobre a fase em que o projeto se encontra, finalizado, ou ainda em desenvolvimento.

Outro exemplo de regras na linguagem IFC é o `IfcRepresentationContextSameWCS`, que assegura que, deve existir uma única entidade `IfcGeometricRepresentationContext` para cada objeto do modelo, esta entidade é responsável por definir o contexto geométrico no qual o elemento será representado, ou seja, carrega dados referentes a precisão com a qual o objeto será representado além de informar a posição do sistema de coordenadas XY. No caso de existir mais de uma ocorrência do `IfcRepresentationContext` em um arquivo IFC, o plano XY de todo o sistema de coordenadas será coplanar e idêntico.

5.2 HIERARQUIA DE UMA VIGA

Na camada de interoperabilidade, mais especificamente na *Shared Building Elements* – Elementos de Construção Compartilhados – é onde se encontra qualquer elemento de construção, como viga (`IfcBeam`), coluna (`IfcColumn`), porta (`IfcDoor`), rampa (`IfcRamp`), laje (`IfcSlab`), escada (`IfcStair`), parede (`IfcWall`), janela (`IfcWindow`), entre outros elementos.

Para obter informações referentes a supertipos e subtipos de uma entidade, deve-se analisar sua especificação EXPRESS. Ao abrir o `IfcBeam` encontra-se sua especificação, ilustrado na Figura 20, que informa que o `IfcBeam` é um subtipo da entidade `IfcBuildingElement`.

Figura 20- Especificação EXPRESS do IfcBeam

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcBeam
  SUBTYPE OF (IfcBuildingElement);
END_ENTITY;
```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

Com a finalidade de entender o que é um subtipo é necessário compreender sua utilidade. Um subtipo proporciona o conceito de novas classes de elementos que herdam as características de suas classes pais (supertipos) e acrescentam novas propriedades, o que as tornam diferentes de seus supertipos. As superclasses, subclasses e herança de comportamento do IFC estão em condescendência com os fundamentos adotados nas análises orientadas a objetos (BOOCH, 1994). Um melhor entendimento de supertipo e subtipo será alcançado com a continuação da leitura deste trabalho.

Para compreender a hierarquia do IfcBeam, selecionou-se o IfcBuildingElement para verificar qual entidade é seu supertipo, sendo que isso foi feito continuamente até chegar em uma entidade sem supertipo, o IfcRoot - raiz de todos os elementos do IFC, que é um supertipo indispensável para qualquer entidade, exceto as entidades da camada de recursos- ou seja, determinou-se toda a hierarquia do IfcBeam que pode ser visualizada no Apêndice A. No Apêndice A mostra-se que o IfcBeam é um subtipo do IfcBuildingElement, que é um subtipo do IfcElement, subtipo do IfcProduct, subtipo do IfcObject, subtipo do IfcObjectDefinition, subtipo do IfcRoot.

5.3 GRÁFICO DE HERANÇA DE DADOS DE UMA VIGA

No site da buildingSMART, com o IfcBeam aberto, pode-se encontrar o gráfico de herança de dados do IfcBeam, apresentado na Figura 21 que pode ser melhor compreendida com o auxílio de seus detalhes expostos nas Figura 21a, b.

Figura 21- Gráfico de herança de dados do IfcBeam



Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

Toda entidade do IFC possui um gráfico de herança de dados, que pode ser entendido como um quadro, no qual há todas as informações que uma entidade pode ter, algumas informações são opcionais, enquanto outras são obrigatórias. No gráfico de herança de dados são expostas as informações de uma entidade que são herdadas de seus supertipos e acrescidas com suas propriedades específicas, o quadro traz ainda o modo como cada uma dessas informações serão definidas.

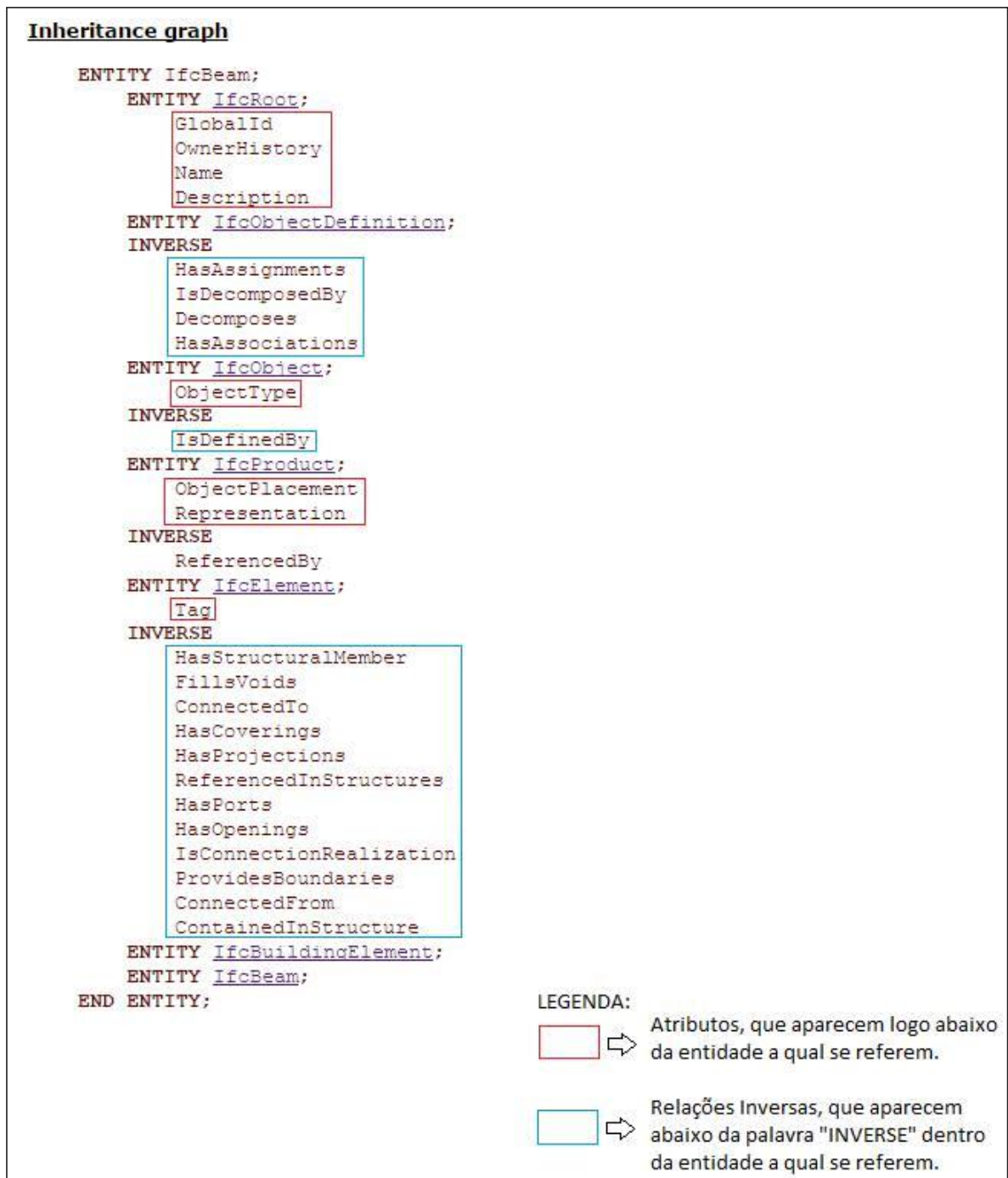
Na figura 21, na seção à esquerda, verifica-se as entidades supertipo do IfcBeam e, abaixo de cada uma dessas entidades, pode-se visualizar seus respectivos atributos e relações inversas, (Figura 21.a), que podem ou não existir, dependendo da necessidade.

Os atributos são informações que devem aparecer na definição de uma viga, entretanto quando o atributo é obrigatório seu valor deve, obrigatoriamente, ser preenchidos e no caso de atributos opcionais seus valores podem, ou não, ser preenchidos.

As relações inversas são responsáveis por ligar uma entidade a outra no padrão IFC, ou seja, para relacionar a viga com algumas de suas propriedades como o pavimento em que ela está localizada, sua área, seu volume, se é utilizada como um elemento estrutural entre diversas outras propriedades. As entidades de relacionamento são encontradas na camada de núcleo.

Pode-se perceber que todas essas informações (atributos e relações) são fornecidas pelas entidades supertipos do IfcBeam já que o IfcBeam não possui nenhum atributo específico, ou seja, todas as definições e relações de uma viga são herdadas de seus supertipos que são: IfcRoot, IfcObjectDefinition, IfcObject, IfcProduct, IfcElement e IfcBuildingElement. Logo, os atributos e relações de uma viga são o somatório de todos os atributos e relações de seus supertipos.

Figura 21.a- Atributos e relações no gráfico de herança de dados

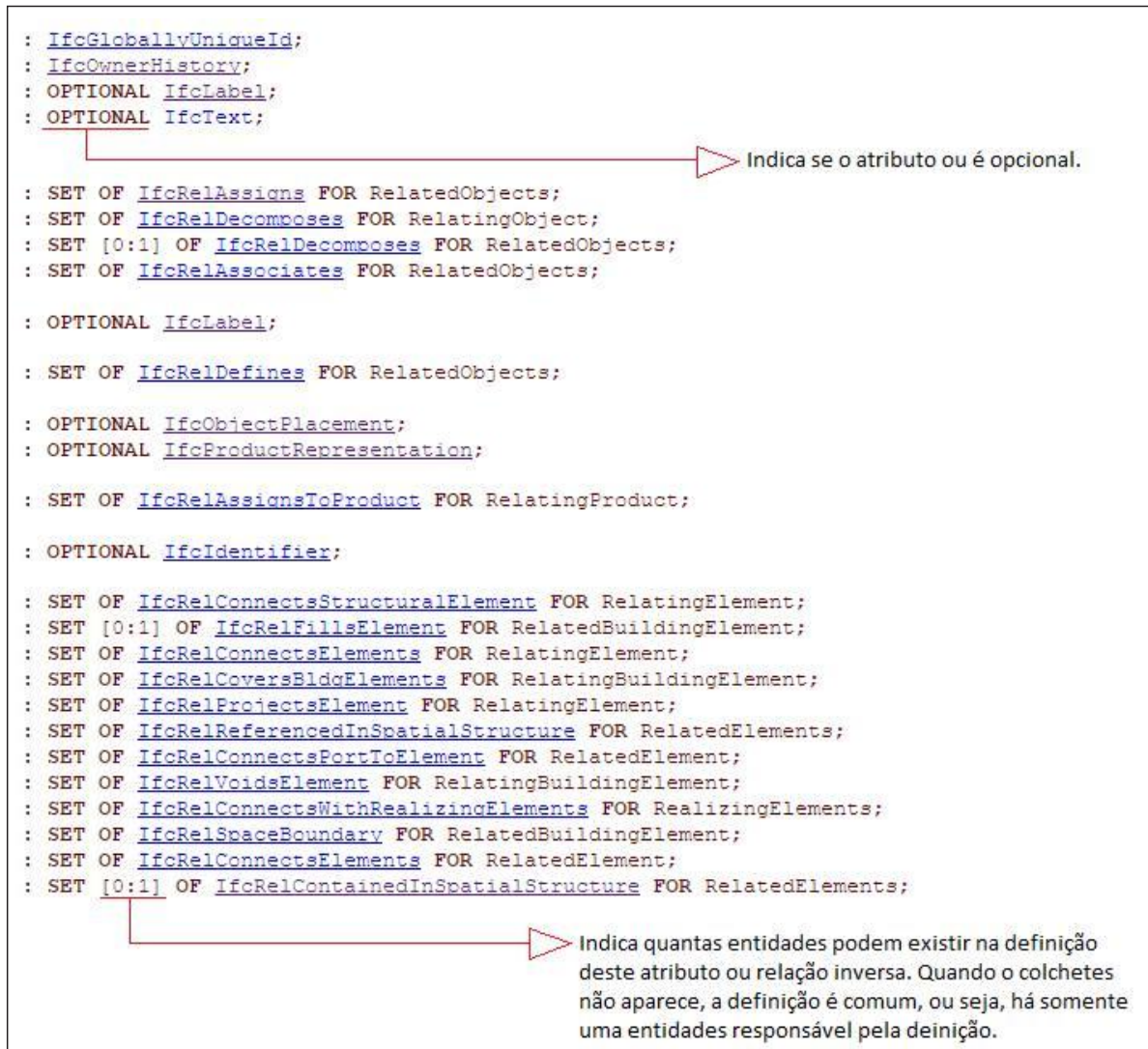


Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Na seção à direita da imagem estão exibidas as entidades IFC responsáveis pela definição do atributo ou relação (Figura 21.b). Exemplificando, tem-se o atributo *Global Id* que será definido pelo *IfcGloballyUniqueId*, responsável por manter um identificador único para cada diferente elemento do modelo, ou o atributo *Name*, definido pelo *IfcLabel* que é um rótulo, ou

seja, um termo pelo qual algo pode ser definido. Tem-se ainda o atributo *Description* que é definido pelo *IfcText* - um texto alfanumérico de caracteres que se destina a ser lido e compreendido por um ser humano.

Figura 21.b- Indicação de como podem ser definidos os atributos



Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Todavia, há casos em que o elemento não é definido pela entidade IFC fornecida no gráfico de herança de dados do elemento. Nesta situação, o atributo é definido por um dos subtipos da entidade que aparece no gráfico de herança de dados, que possuem os mesmos atributos e relações, ou mais. Para exemplificar esta situação, pode-se citar o atributo da viga *Object Placement*. Segundo seu gráfico de herança de dados ele teria que ser definido pelo *IfcObjectPlacement*, entretanto, no Apêndice D pode-se verificar que este atributo é definido

por seu subtipo `IfcLocalPlacement`. Na Figura 22, pode-se verificar a especificação EXPRESS do `IfcObjectPlacement`, na qual encontra-se a informação de que o `IfcLocalPlacement` é seu subtipo.

Figura 22- Especificação EXPRESS do `IfcObjectPlacement`

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcObjectPlacement
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcGridPlacement, IfcLocalPlacement));
  INVERSE
    PlacesObject                : SET [1:1] OF IfcProduct FOR ObjectPlacement;
    ReferencedByPlacements      : SET OF IfcLocalPlacement FOR PlacementRelTo;
END_ENTITY;
```

Fonte: (Adaptado de buildingSMART, 1999-2007).

Ao analisar o gráfico de herança de dados do `IfcObjectPlacement`, encontra-se suas relações inversas (*Places Object* e *Reference By Placements*) e esta entidade não apresenta atributos, como mostra a Figura 23.

Normalmente, informações sobre os subtipos e supertipos aparecem na especificação EXPRESS de uma entidade, enquanto que, informações a respeito de atributos e relações inversas apresentam-se no gráfico de herança de dados, entretanto neste caso, as relações inversas da entidade `IfcObjectPlacement` apareceram tanto na especificação EXPRESS, quanto no gráfico de herança de dados.

Figura 23- Gráfico de herança de dados do `IfcObjectPlacement`

Inheritance graph

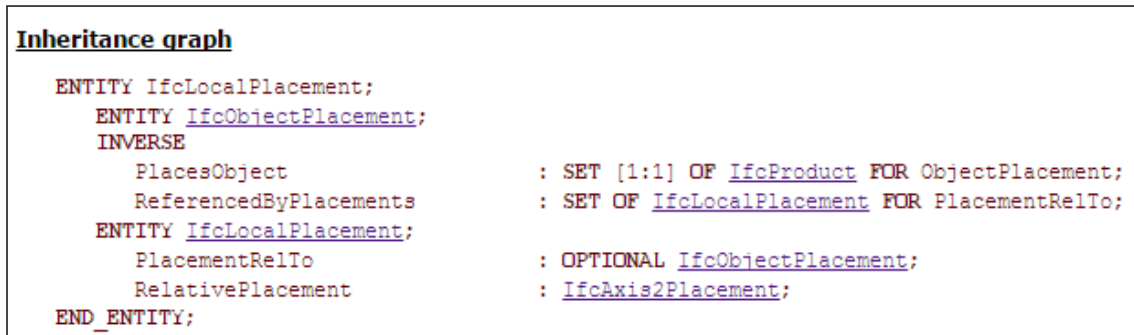
```

ENTITY IfcObjectPlacement;
  ENTITY IfcObjectPlacement;
  INVERSE
    PlacesObject                : SET [1:1] OF IfcProduct FOR ObjectPlacement;
    ReferencedByPlacements      : SET OF IfcLocalPlacement FOR PlacementRelTo;
END_ENTITY;
```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

Ao comparar a Figura 23 com a herança de dados do `IfcLocalPlacement`, na Figura 24, pode-se constatar que este último contém todas as relações inversas existentes em seu supertipo `IfcObjectPlacement`, e além dessas ainda há mais dois atributos, o *Placement Rel To* e o *Relative Placement*.

Figura 24- Gráfico de herança de dados do IfcLocalPlacement



Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

5.4 FLUXOGRAMA DOS ATRIBUTOS

Posteriormente, o modelo fornecido foi aberto no IFC Quick Browser e, para identificar a viga em estudo, procurou-se pelo identificador do mesmo (*Global Id*), fornecido na tabela de atributos (Figura 12) que para este elemento é “07uQTLXKDF_fOgoigUVITZ”. No IFC Quick Browser, a viga selecionada foi identificada na linha 730.675 e seus dados podem ser encontrados nesta linha ou referenciando linhas anteriormente definidas, como pode ser verificado no Apêndice B.

Ao analisar o Apêndice B, percebe-se que o *Global Id* foi fornecido (07uQTLXKDF_fOgoigUVITZ), assim como o atributo *Name*, que fornece o nome da viga em estudo (TQS – viga retangular mísula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0: 305709), o atributo *Object Type*, que determina o tipo do objeto (TQS – viga retangular mísula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0: 305167), e o atributo *Tag* (305709), que determina a etiqueta da viga, sendo mais uma maneira de identificá-la. Pode-se perceber que o atributo *Name* traz um valor semelhante ao atributo *Object Type*, com uma diferença apenas, na numeração final de cada um deles, isso ocorre pois a inteligência do software atribuiu ao *Name* o nome de sua família e o tipo do objeto também recebeu o nome da família.

Os atributos *Owner History*, *Object Placement* e *Representation* são definidos em linhas anteriores e, para serem utilizados na coluna em questão, faz-se referência a estas linhas. No caso do *Owner History*, referencia-se a linha 41 (#41). O *Object Placement* foi definido na linha 730.554 (#730554) e para ter acesso ao atributo *Representation*, referencia-se a linha 730.673 (#730673).

Há ainda um atributo que aparece como um cifrão, este pode ser entendido como um atributo opcional que não foi determinado pelo autor no projeto - é o que ocorre com o atributo

Description, que seria utilizado para descrever o pilar. Pode-se entender, dessa forma, que atributos são definidos como características e identificações de um elemento que sempre aparecem na linguagem IFC, mas há ocasiões em que o atributo é opcional e ele pode não ser definido, aparecendo, neste caso, como um cifrão.

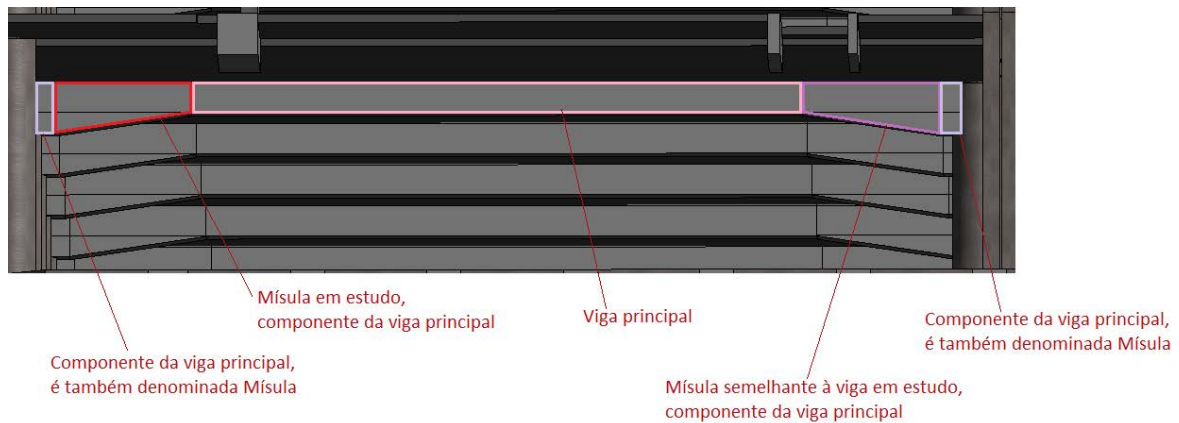
Para compreender toda a definição da viga selecionada na linguagem IFC, deve-se analisar o Apêndice C, que foi elaborado com o auxílio do Ifc Quick Browser, em que a viga em estudo foi aberta através de um duplo clique da linha de definição (730.675), possibilitando o acesso às linhas referenciadas (#41, #730554 e #730673). Percebe-se, neste momento, que as três linhas selecionadas referenciam outras linhas anteriormente definidas, e na elaboração do Apêndice C, acessou-se todos os atributos da viga através de duplos cliques, até chegar em linhas onde não se referenciava nenhuma outra linha anteriormente definida.

Juntamente com o Apêndice C, deve-se estudar o Apêndice D, no qual foi elaborado um fluxograma com todos os atributos da viga, permitindo compreender a maneira como propriedades importantes do elemento como sua localização, sua representação geométrica, são armazenadas na linguagem IFC.

No Apêndice C e D pode-se encontrar algumas características essenciais, em alguns casos para que o software seja capaz de reconhecer e reproduzir o elemento viga, e em outros casos, para que o usuário disponha de informações importantes. Inicialmente dá-se a identificação da viga e informações sobre seu histórico de dados, na qual há informações sobre seu identificador global, seu nome, a inexistência de alterações, o aplicativo responsável pela elaboração do modelo em IFC, além do usuário que elaborou o arquivo.

Analisando o arquivo IFC pode-se perceber ainda que a mísula está definida separadamente do restante da viga, fato que pode ser compreendido com a Figura 25. Com o auxílio do software Revit, constata-se que além da mísula em estudo, as outras partes da viga possuem um mesmo modo de identificação (V112) adquirido no software de origem deste modelo – o TQS – o que comprova que originalmente a viga é um só elemento, entretanto, no arquivo IFC ela aparece como várias partes seccionadas. Contudo, na execução real do empreendimento, a mísula e o restante da viga são sempre consideradas como um só elemento, tanto no momento de executar a fôrma, como na construção da viga em si, evidenciando assim, uma inconsistência entre os dados do projeto armazenados no padrão IFC e sua real execução.

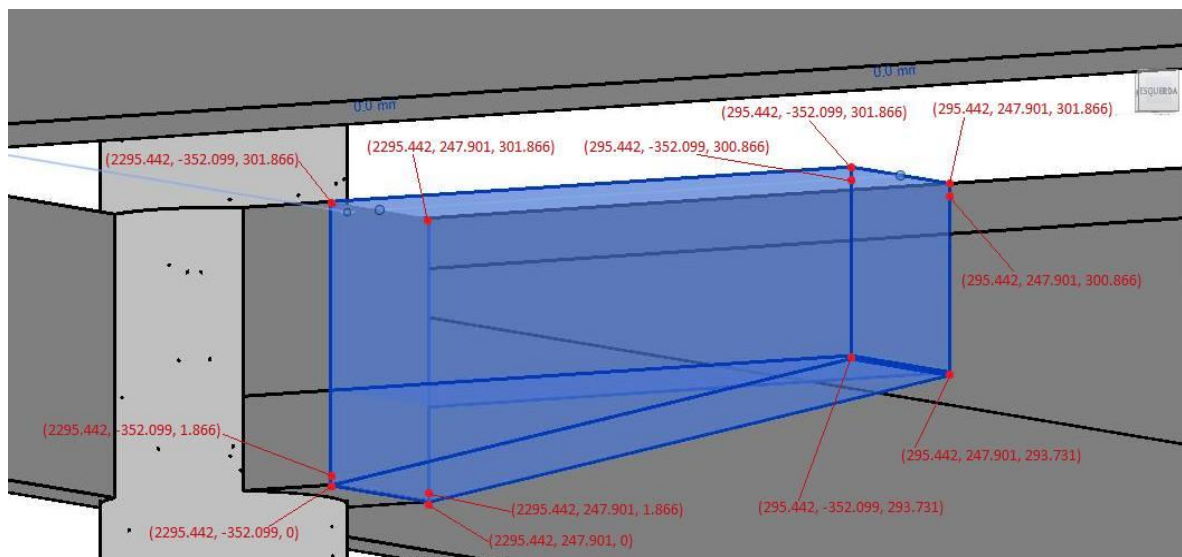
Figura 25- Representação da mÍsula separada do restante da viga



Fonte: Autoria Própria.

A localização da mÍsula armazenada no ficheiro IFC foi feita através da inteligência do software, no qual as coordenadas e direções são determinadas com uma referência (0,0,0) determinada pelo aplicativo. O armazenamento da representação da mÍsula, por sua vez, é feito determinando inicialmente uma “caixa” (limites), dentro da qual, a mÍsula será situada. Tanto a “caixa” que limitará o elemento, quanto a mÍsula em si, tem sua reprodução através da determinação das coordenadas que determinam cada uma das seis faces do elemento, o que pode ser melhor entendido com a Figura 26.

Figura 26- Representação da mÍsula pelas coordenadas armazenadas no IFC



Fonte: Autoria Própria.

5.5 FLUXOGRAMA DE RELAÇÕES

Ainda com o auxílio do IFC Quick Browser, ao clicar na linha 730675, referente à mísula em estudo, na região inferior da tela são encontradas as relações deste elemento. O Apêndice E foi elaborado com a finalidade de mostrar todas as relações existentes da mísula com os outros elementos deste modelo, armazenado na linguagem IFC. Neste Apêndice percebe-se que as relações existentes para esta mísula ocorrem através de apenas duas entidades: o *IfcRelDefinesByProperties* e o *IfcRelContainedInSpatialStructure*.

No Apêndice A, observa-se que a relação inversa *Is Defined By* está contida na entidade *IfcObject*, definido pela entidade *IfcRelDefines*, que possui como um de seus subtipos a entidade *IfcRelDefinesByProperties*, fato que pode ser confirmado na Figura 27.

Figura 27- Especificação EXPRESS do *IfcRelDefines*

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcRelDefines
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcRelDefinesByProperties, IfcRelDefinesByType))
  SUBTYPE OF (IfcRelationship);
  RelatedObjects                : SET [1:?] OF IfcObject;
END_ENTITY;
```

Fonte: (buildingSMART, 1999-2007).

O *IfcRelDefinesByProperties* é responsável pelo relacionamento entre objetos e suas propriedades definidas. Em um relacionamento deste tipo pode-se associar uma propriedade com um ou mais objetos do modelo. Neste projeto, esta relação aparece relacionando a mísula estudada com várias de suas propriedades. No Apêndice F são apresentadas duas das relações realizadas por esta entidade. A primeira relação é responsável por vincular propriedades à mísula, que são listadas a seguir: sua responsabilidade por suporte de carga, sua localização na parte interna da edificação, sua declinação nula, seu nome “TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0” e sua extensão, “2000,00000005121 mm”.

A segunda destas relações associa a mísula com sua altura (59,9 cm), comprimento (2000,00000005121 mm), largura (60cm), rebaixo (zero), área (4,36683689608203), volume (0,904800267986393), elevação na parte inferior (752909,13189584) e superior (753809,997558594).

O outro tipo de relacionamento existente da mísula em estudo é o *Contained In Structure*, definido pela entidade *IfcRelContainedInSpatialStructure*. Esta entidade é utilizada para

atribuir elementos a um determinado nível da estrutura espacial do projeto. Neste exemplo, vários elementos como colunas, lajes e vigas foram vinculados ao primeiro pavimento.

Para melhor compreensão dos dois tipos de relacionamento existentes para esta mísula, foi elaborado o Apêndice F que mostra, detalhadamente, como é vinculada a mísula com suas propriedades.

5.6 PROPRIEDADES DA MÍSULA VISTA COM O QUADRO DE PROPRIEDADES DO NAVISWORKS

No NavisWorks pode-se ter acesso à tabela de propriedades de qualquer uma das partes da viga (Quadro 2), e nota-se que suas propriedades estão expostas no ficheiro IFC, muitas delas foram demonstradas no apêndice F, como sua localização no primeiro pavimento, o comprimento da viga, sua altura, largura, volume, inclinação nula, sua elevação na parte superior e inferior, entre outros dados. Entretanto as demais propriedades da mísula não estão ausentes no ficheiro, como sua denominação V112, determinada pelo usuário ou sua identificação única, (-48946), gerada pelo software TQS, responsável pela elaboração deste projeto. Estas propriedades encontram-se nos relacionamentos da viga que não foram demonstrados no apêndice F, entretanto ocorrem de maneira semelhante. Nem todos relacionamentos foram explicitados devido a sua grande quantidade, o que impossibilitou a demonstração completa de todas relações.

Quadro 2 - Propriedades da mísula tiradas do NavisWorks

Setor da propriedade	Propriedade	Valor
Item	Name Type Icon Hidden Required Material Source File Layer	Body LcIFCRepresentationHolder Composite Object No No MAE-EST-PE-MOD-R05 - Ajustado - Copia.ifc 1pav

IFC	GLOBALID NAME OBJECTTYPE TAG	07uQTLXKDF_fOgoigUVITZ TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305709 TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305167 305709
Pste_Beam Common	GLOBALID LoadBearing IsExternal Slope Reference Span	07uQTLXKDF_fOgmIEUVITZ TRUE FALSE 0,000 TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0 2000,000
Construção	GLOBALID	07uQTLXKDF_fOgpCwUVITZ
Cota	GLOBALID Altura (cm) Área Comprimento Elevação na parte inferior Elevação no topo Largura (cm) Rebaixo (cm) Volume	07uQTLXKDF_fOgpCYUVITZ 59.9 4,367 2000,000 752909,132 753809,998 60 0 0,905
Dados de identidade	GLOBALID Principal Chave Revisão SHA1 Tipo Elemento Titulo Unique TQS ID	07uQTLXKDF_fOgpCkUVITZ TRUE -48946 R11 85F2EDF1A63ADBC10E51EDB85AD46241A42D82E8 Viga V112 -48946
Estrutural	GLOBALID Ativar o modelo analítico Recobrimento de vergalhão - Face superior Recobrimento de vergalhão - Fase inferior Recobrimento de vergalhão - Outras Faces Uso estrutural Comprimento do corte	07uQTLXKDF_fOgpCUUVITZ FALSE Configurações de recobrimento do vergalhão: Recobrimento do vergalhão 1 Configurações de recobrimento do vergalhão: Recobrimento do vergalhão 1 Configurações de recobrimento do vergalhão: Recobrimento do vergalhão 1 Outro 2000,000
Fase	GLOBALID Fase criada	07uQTLXKDF_fOgpCMUVITZ Fase 1
Mecânico	GLOBALID	07uQTLXKDF_fOgpCwUVITZ
Mecânico- Cargas	GLOBALID	07uQTLXKDF_fOgpCwUVITZ

Outros	GLOBALID Categoria Família Família e tipo ID de tipo Tipo	0Hm6kxVzFPerQnh8Z7eNR Quadro estrutural TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0 TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0 TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0 TQS - Viga retangular misula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0
Posição geométrica	GLOBALID Justificação y Justificação yz Justificação z Status da união Valor do deslocamento y Valor do deslocamento z	07uQTLXKDF_fOgpAQUVITZ Origem Uniforme Topo Ambas uniões ativadas 0,000 0,000
Propriedad e do Modelo	GLOBALID	07uQTLXKDF_fOgpCwUVITZ
Restrições	GLOBALID Deslocamento do nível final Deslocamento do nível inicial Orientação Rotação da corte transversal Nível de referência Elevação do nível de referência Plano de trabalho	07uQTLXKDF_fOgpDwUVITZ 0,000 0,000 Normal 0,000 Nível: 1pav 753809,998 Nível : 1pav
Resultados de Análises	GLOBALID	07uQTLXKDF_fOgpCwUVITZ
Cotas	GLOBALID b h hfinal hfinald hfinale hfinals hinici hinicid hinicie hinicis	07uQTLXKDF_fOgpCYUVIL1 600,000 599,000 300,000 206,666 240,000 100,000 10,000 100,000 140,000 336,988
Dados de identidade	GLOBALID Nome do tipo	07uQTLXKDF_fOgpCkUVIL1 TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0
Estrutural	GLOBALID Forma do corte	07uQTLXKDF_fOgpCUUVIL1 0
TimeLiner	Não há propriedades neste setor	Não há propriedades neste setor

Outros	GLOBALID Categoria VisMisD VisMisE VisMisI VisMisS Nome da família	2S1UvKtKzF4u5AfyFVvmL2 Quadro estrutural FALSE FALSE TRUE FALSE TQS - Viga retangular misula
--------	--	--

Fonte: Autoria Própria.

5.7 ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES DE UMA VIGA NAS CAMADAS DO IFC

Analisando o Apêndice D e F percebe-se que neste modelo não aparece qualquer entidade pertencente à camada de domínio. Este fato pode ser explicado ao entender melhor quais tipos de definições são realizados na camada superior do esquema IFC.

Na camada de domínio existem dois ícones que dizem respeito à estrutura: “*Structural Elements Domain*” (Domínio de elementos estruturais) e “*Structural Analysis Domain*” (Domínio de análises estruturais). O primeiro deles possui entidades que definem elementos estritamente estruturais, como barras ou malhas de aço, ou outros elementos feitos de concreto, aço, madeira ou concreto protendido, que servem exclusivamente para suportar cargas. O segundo ícone define fatores sobre a análise estrutural do projeto, como, por exemplo, ações estruturais (atuação de uma carga agindo sobre um elemento estrutural) ou a estruturação de impactos físicos considerando combinações de cargas, determinação e agrupamento de tipos de carga e fatores de segurança.

Uma viga é um componente estrutural do modelo, entretanto, na linguagem IFC, ela é considerada como um elemento de interoperabilidade, ou seja, além de fazer parte da estrutura, também é importante para outros setores, como o arquitetônico. Dessa forma, a viga não se encaixa a nenhum dos ícones estruturais da camada de domínio.

As entidades e definições das demais camadas da estrutura do IFC seguem o que foi explicado anteriormente na Revisão Bibliográfica no subitem 4.2.9.3 Estrutura de camadas do IFC. A camada de recurso é responsável por definir os conceitos individuais, que são referenciados pelas camadas superiores sempre que necessário. A camada de núcleo define os conceitos mais abstratos, tendo grande importância no relacionamento entre diferentes entidades. Para definir os relacionamentos, percebe-se que a entidade do núcleo faz referência a entidades de camadas superiores, o que desrespeita o princípio de escadas definido na Revisão Bibliográfica no subitem supracitado, no qual as entidades das camadas superiores podem

referenciar as entidades de camadas inferiores, mas não o contrário. Por isso o nome do relacionamento em IFC denomina-se relação inversa, já que para ocorrer o relacionamento ocorre uma inversão da hierarquia das camadas. E finalmente, a camada de interoperabilidade definiu a mísula (viga) que é um elemento utilizado por mais de uma das áreas da engenharia.

6. CLASSIFICAÇÃO DAS ENTIDADES IFC

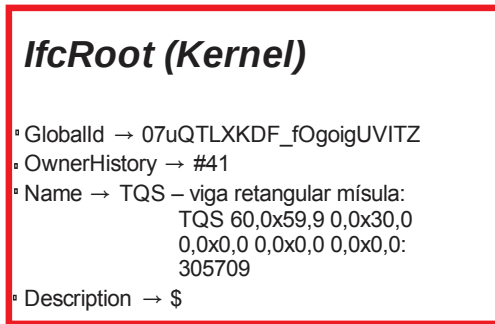
Após o estudo dos Apêndices D e F pode-se compreender, com mais exatidão, as entidades IFC utilizadas no armazenamento de informações de um elemento existente em um modelo. Neste estudo, utilizou-se uma mísula que foi definida através do IfcBeam, entretanto, ao visualizar rapidamente outros elementos deste modelo estrutural como colunas e lajes, observa-se que a representação geométrica, a localização e os dados de identificação são armazenados de maneira semelhante.

A partir deste melhor entendimento das entidades é possível classificá-las de duas formas distintas: a primeira delas determina o responsável por introduzir a informação no arquivo IFC e, a segunda trata das possíveis funcionalidades das informações. Ambas separam as entidades que estão mais relacionados ao usuário (projetista, ou um gerenciador de projetos), daquelas que estão mais ligadas à inteligência do aplicativo.

Nos casos em que uma entidade possui mais de um atributo nota-se que, muitas vezes, estes atributos apresentam diferentes classificações. As entidades classificadas foram retiradas dos Apêndices D e F, e algumas foram selecionadas com o objetivo de classificá-las de modo não repetitivo, ou seja, mesmo apresentando diferentes atributos e nomes distintos, carregam um conteúdo parecido. Como exemplo, tem-se o caso do atributo *Name* da entidade IfcRoot que tem seu valor: “TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0: 305709”, semelhante ao preenchimento do atributo *Object Type* da entidade IfcObject que traz o dado: “TQS – viga retangular mísula: TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0: 305167”. Assim, estes atributos são classificados da mesma maneira.

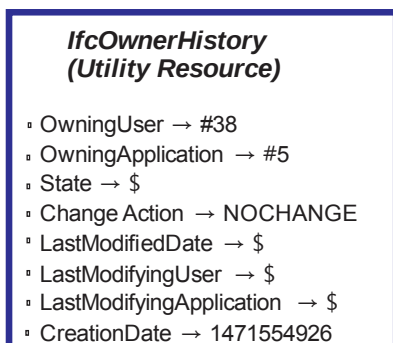
A entidade IfcRoot (Figura 28) tem como seu primeiro atributo o *Global Id*. No decorrer deste trabalho pode-se perceber a importância deste atributo, pois graças a ele a mísula pode ser encontrada nos diferentes aplicativos utilizados, o ArchiCad, o NavisWorks e o IFC Quick Browser. Conclui-se, desta forma, que o *Global Id* é um dado utilizado pelo software na localização do elemento. Este dado é também gerado pelo software, já que não foi o autor o responsável pela escolha do identificador ”07uQTLXKDF_fOgoigUVITZ”.

O atributo *Name* é definido e utilizado pelo usuário, pois o nome em questão é referente ao nome da família da mísula e foi gerado pelo autor durante a elaboração do projeto e, através deste, o usuário pode identificá-lo corretamente. A descrição do elemento, que neste caso não foi preenchida, é um dado que seria utilizado e criado pelo usuário. O único atributo definido em outra entidade é o *Owner History*, que será classificado a seguir.

Figura 28- Entidade IfcRoot e seus atributos

Fonte: Autoria Própria.

A entidade IfcOwnerHistory (Figura 29) traz atributos importantes para que o usuário tenha informações sobre as modificações realizadas no modelo, visto que um empreendimento que utiliza conceitos BIM, no qual existe a colaboração entre as diferentes áreas da engenharia, ter o conhecimento sobre as alterações e revisões realizadas, instantaneamente, é essencial. Os atributos desta entidade são gerados através da inteligência do software, entretanto, pode-se perceber na Figura 29, que a maioria deles não foi preenchida. No caso da data de criação do modelo, esta é apresentada em formato inválido. Tais fatos podem ser revertidos caso o autor tenha conhecimento sobre o gerenciamento do arquivo IFC que será exportado, o que varia de acordo com o software utilizado.

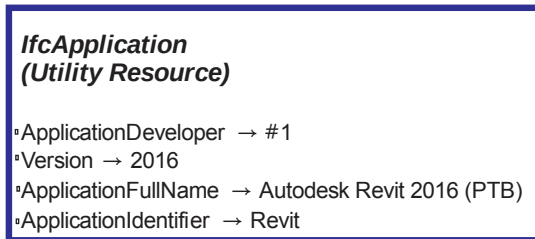
Figura 29- Entidade IfcOwnerHistory e seus atributos

Fonte: Autoria Própria.

A entidade IfcApplication (Figura 30), teve o preenchimento de todos seus atributos através da inteligência do software de exportação do arquivo IFC, que neste caso foi o Revit. Os dados de preenchimento carregam informações do Revit e não do software que elaborou este modelo estrutural, o CAD/TQS. Esta informação pode ser utilizada pelo usuário, entretanto, seria interessante que o autor ou gerenciador de projetos tivesse o conhecimento

sobre o software responsável pela elaboração do modelo, e não somente o responsável pela exportação do arquivo IFC.

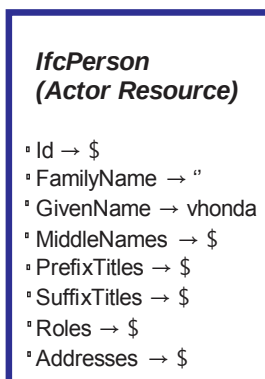
Figura 30- Entidade IfcApplication e seus atributos



Fonte: Autoria Própria.

A entidade IfcPerson, (Figura 31) traz informações sobre a pessoa responsável por exportar o arquivo IFC, neste caso, o software utilizou o usuário do computador que realizou a exportação para preencher o atributo *Given Name*. Esta informação pode ser utilizada pelo usuário, contudo, seria interessante existir também dados de identificação do autor do projeto. Os outros atributos desta entidade poderiam ser preenchidos com a finalidade de melhor identificação, caso o usuário responsável pelo gerenciamento da exportação do IFC insira estes dados no arquivo.

Figura 31- Entidade IfcPerson e seus atributos

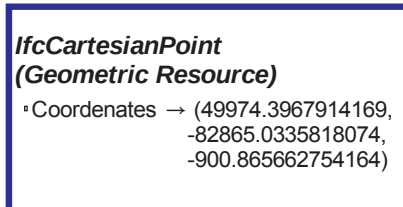


Fonte: Autoria Própria.

A entidade IfcCartesianPoint, assim como a IfcDirection, (Figura 32 e 33) têm seus únicos atributos, *Coordinates* e *Direction Ration*, respectivamente, gerados pela inteligência do software. Apesar do usuário determinar as dimensões e localização do elemento, é o aplicativo que determina como este objeto terá o armazenamento de dados referentes a sua representação e seu posicionamento no formato universal IFC, tendo seus pontos de referência determinados

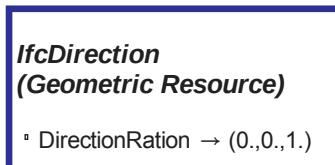
de acordo com a coordenada (0,0,0) gerados pelo software. Através das coordenadas e direções dos objetos no IFC, qualquer aplicativo capaz de operar com este formato terá competência para representar e posicionar qualquer elemento adequadamente.

Figura 32- Entidade IfcCartesianPoint e seus atributos



Fonte: Autoria Própria.

Figura 33- Entidade IfcDirection e seus atributos

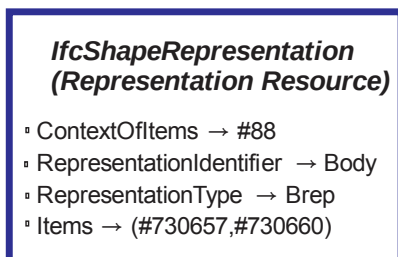


Fonte: Autoria Própria.

A entidade IfcShapeRepresentation (Figura 34) tem seus atributos gerados pela inteligência do software, que determina a melhor maneira de representar os objetos existentes no modelo. Os atributos são também utilizados pelo software.

No caso da mísula estudada, a representação deu-se pelo tipo Brep (*Boundary REPresentation*), que representa o sólido através da conexão de vértices e arestas que equivalem seus limites. Há ainda o tipo de representação denominado CSG (*Constructive Solid Geometric*), que consiste na extrusão de uma face, seção ou região em uma determinada direção e (DIMYADI; SPEARPOINT; AMOR, 2007).

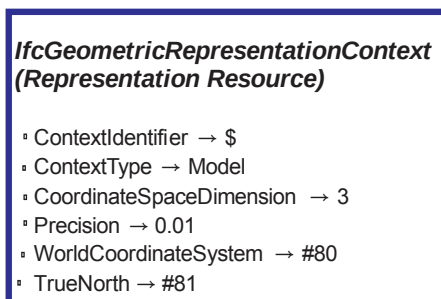
Figura 34- Entidade IfcShapeRepresentation e seus atributos



Fonte: Autoria Própria.

A entidade *IfcGeometricRepresentationContext*, (Figura 35) possui a maioria de seus atributos fornecidos e utilizados pela inteligência do software. Este é o caso do *Context Identifier* - contexto ao qual se aplica as diversas representações da forma do elemento dentro de um projeto, que neste caso não foi definido; *Context Type* - tipo de representação com a qual a forma é definida (este tipo foi denominado pelo software de 'Model'); *Coordinate Space Dimension* - quantas dimensões são utilizadas na definição do elemento; *Word Coordinate System* - atributo que permite o deslocamento do sistema coordenado do projeto de um ponto de origem global; e o atributo *True North* - sentido do norte verdadeiro. O único atributo que é definido e utilizado pelo usuário é o *Precision* (precisão com a qual o elemento é representado).

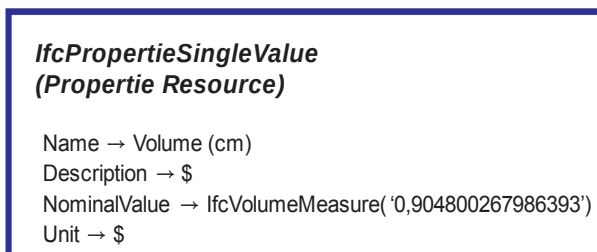
Figura 35- Entidade *IfcGeometricRepresentationContext*



Fonte: Autoria Própria.

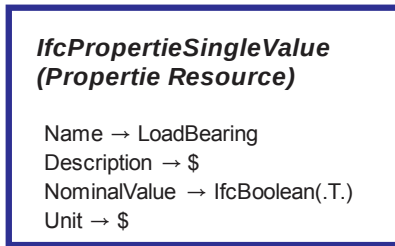
Foram classificados dois exemplos da entidade *IfcPropertySingleValue*, (Figura 36 e 37), a primeira delas carrega a informação sobre o volume da mísula, dado gerado pelo software. Entretanto o dado armazenado no segundo exemplo, referente à responsabilidade do elemento em suportar cargas, é determinado pelo usuário. A área do elemento é útil para o usuário, já que este necessita desta informação para realizar a extração do quantitativo do material usado na confecção da mísula. Na execução e manutenção do projeto é importante que o usuário tenha conhecimento de quais elementos são estruturais.

Figura 36- Entidade *IfcPropertySingleValue* e seus atributos - exemplo 1



Fonte: Autoria Própria.

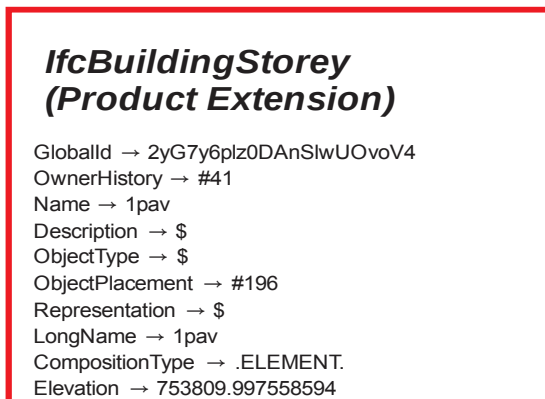
Figura 37- Entidade IfcPropertieSingleValue e seus atributos - exemplo 2



Fonte: Autoria Própria.

Parte dos atributos do IfcBuildingStorey (Figura 38), (*Name*, *Description*, *Object Type* e *Long Name*) são fornecidos e utilizados pelo usuário, enquanto os demais atributos são gerados através da inteligência do aplicativo. Neste caso, os atributos preenchidos nesta linha do ficheiro IFC são: o *Global Id*, o *Composition Type* e o *Elevation*. O primeiro deles foi explicado anteriormente no item 5.3. O *Composition Type* é responsável por armazenar a informação de que o componente em questão é do tipo .ELEMENT (elemento próprio e indivisível). E, finalmente, o atributo *Elevation*, informa a elevação exata do elemento tratado (neste caso é o pavimento 1).

Figura 38- Entidade IfcBuildingStorey e seus atributos



Fonte: Autoria Própria.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo pode-se verificar a importância da interoperabilidade para o novo ciclo pelo qual a construção civil está passando, e o IFC é a principal aposta das empresas atuantes no mercado para a troca de dados entre diferentes aplicativos.

Para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado, foi selecionada uma viga de modo aleatório. Este elemento foi adotado, pois seus dados são armazenados de maneira semelhante se comparado a outros elementos do modelo, como coluna, laje, rampa. Ao começar a compreender seus dados de representação, percebeu-se que na realidade a viga se tratava de uma mísula, devido à diferença existente entre suas faces.

Com o objetivo de facilitar o entendimento do armazenamento de informações no ficheiro IFC, foi elaborado um fluxograma no qual estão dispostas todas entidades utilizadas para definição da mísula. Com o fluxograma finalizado, percebeu-se que os atributos do elemento são referentes à sua identificação, histórico de dados, localização e representação geométrica. Ao estudar as entidades relacionadas à visualização 3D, constata-se a existência de diferentes modos de armazenar a representação. A mísula em estudo foi representada através do tipo mais complexo e, por isso, a quantidade de entidades utilizadas na representação da viga é grande, o que dificultou o entendimento e a construção do fluxograma.

Ao subtrair as coordenadas foi possível assimilar, com certa facilidade, as dimensões do elemento selecionado, todavia, as coordenadas não permitiram o entendimento da referência (0,0,0) pela qual cada um dos pontos é determinado. A referência é estabelecida pelo software e permite entender a localização da mísula, entretanto a referência varia de acordo com o modo pelo qual o projetista elabora o modelo, e este nem sempre se preocupa em posicionar o projeto na coordenada (0,0,0) do software.

Neste trabalho visou-se o entendimento do modo pelo qual a inteligência do software capta informações do ficheiro IFC e, através deste, torna-se capaz de reproduzir o modelo em outro aplicativo. Para as empresas responsáveis pela elaboração e gerenciamento dos projetos, é importante que os usuários compreendam este armazenamento, objetivando perceber os dados ausentes e possibilitando que informações sejam adicionadas, garantindo um projeto completo. Entretanto, o modo pelo qual o software que gera o IFC gerencia os dados, varia de acordo com o aplicativo utilizado. Caso houvesse uma padronização na maneira de administrar os dados nos diferentes aplicativos, seria mais simples disseminar este conhecimento e evitar perdas no armazenamento de dados.

8. CONCLUSÃO

Diante da atual situação brasileira, na qual a economia encontra-se em recessão, é indispensável que indústrias de todas as áreas, inclusive a indústria da Construção Civil, passe por alterações no sentido de otimizar os lucros, reduzir perdas e desperdícios, evitar retrabalhos e aumentar a produtividade, diminuindo o tempo necessário para execução dos serviços. Junto a essas circunstâncias, o *Building Information Modeling* - BIM está sendo difundido e algumas empresas estão passando a desenvolver seus trabalhos, baseando-se neste conceito.

A representação gráfica passou por grandes transformações desde o início de sua utilização. Duas dessas transformações merecem destaque: a utilização de ferramentas CAD (Computer Aided Design), que trouxe grandes benefícios para a arquitetura e construção civil e ainda é largamente utilizada, e a mais recente consiste na modelagem de informação 3D, fundamental para que um modelo seja concebido seguindo a tecnologia BIM.

A interoperabilidade é um dos requisitos do BIM que apresenta maior complexidade para ser colocado em prática. Fato que pode ser explicado devido aos diversos setores da construção civil que contam com diferentes softwares especializados para auxiliar a elaboração do empreendimento. Esses aplicativos, na maioria das vezes, geram documentos que não são compatíveis com outros softwares, dificultando a comunicação entre os profissionais envolvidos no processo.

As vantagens resultantes de uma comunicação mais eficiente entre os diferentes especialistas da construção civil passam a ser visíveis. Contudo para que isto ocorra, é necessário que os aplicativos sejam compatíveis entre si. Atualmente, a melhor opção que está ainda em desenvolvimento é o IFC, que consiste em um modelo de dados extensível e não proprietário, responsável por intercambiar informações de um software para outro.

Muitas empresas buscam a ascensão do BIM, entretanto, o assunto “*Industry Foundation Classes* e sua estrutura de armazenamento de dados” ainda é novidade, apesar de sua grande importância. Baseado nesta realidade, o principal foco deste trabalho restringe-se ao entendimento da estrutura das informações armazenadas com o padrão IFC, voltadas para a visualização 3D.

O emprego da tecnologia BIM não se restringe apenas à utilização de um software de modelagem tridimensional. Este novo conceito abrange várias dimensões, das quais, pode-se citar o BIM 4D, na qual é acrescida a variável tempo, inserindo ao modelo, dados referentes ao cronograma, sequência de obras e fases de implantação, e o BIM 5D, responsável por somar ao modelo, o custo, graças à quantificação de cada elemento do projeto. Pode-se constatar assim,

a importância do estudo da representação gráfica do modelo para que seja possível atingir os demais benefícios acarretados pelo BIM.

Este trabalho visou a compreensão do padrão IFC direcionado para a visualização 3D. Dois outros trabalhos foram realizados simultaneamente a este, pelos alunos Anna Carolina Brito Mendes e Bruno Henrique Mota de Oliveira, cujos títulos são: “Estudo aprofundado sobre o formato universal para troca de informações BIM IFC: estrutura do IFC para o BIM 4D – planejamento e controle” e “Parâmetros IFC voltados para o levantamento de quantitativos de um modelo BIM” respectivamente. Estes dois estudos agregarão o entendimento do padrão IFC voltados para o BIM 4D e 5D.

No decorrer da análise do armazenamento das propriedades da viga no ficheiro IFC pode-se perceber que alguns dados foram perdidos, como o software de origem e o usuário responsável pela elaboração do projeto. Esses dados são importantes para que os gerenciadores do empreendimento saibam identificar o elemento e o responsável pela criação do projeto, caso exista alguma interferência que os envolva, resultando na necessidade de realizar alterações. O usuário tem a possibilidade de gerenciar os dados que serão exportados, evitando perda de informações como a que foram detectadas neste trabalho, entretanto, este gerenciamento varia de acordo com o aplicativo utilizado.

Neste estudo, constatou-se ainda, que a viga estudada era, na realidade, uma mísula que representa uma parcela da viga V112, que originalmente era um só elemento, entretanto aparece como várias partes seccionadas no arquivo IFC. Evidentemente, a sua execução será realizada em uma única fase, o que mostra uma inconsistência entre os dados do projeto armazenados no padrão IFC e sua real execução.

Após compreender a hierarquia dos dados armazenados em IFC, bem como o relacionamento da mísula com os outros elementos do modelo e como acontece o armazenamento de suas propriedades, que foram alguns dos objetivos deste estudo, foi possível classificar suas informações, determinando o responsável por introduzir a informação no arquivo IFC e, suas possíveis funcionalidades. Em cada entidade há um ou mais atributos que podem estar mais relacionados ao usuário, (projetista ou um gerenciador de projetos) ou mais ligados à inteligência do software. Isto mostra que todas as informações armazenadas apresentam um valor individual, e a ausência de alguma delas podem resultar na incapacidade do aplicativo representar um elemento, ou na escassez de informação para o usuário.

Diante de todas as observações realizadas neste trabalho percebe-se que o IFC tem se mostrado uma importante ferramenta de intercâmbio de dados e está sendo bem aceito por muitos softwares de engenharia, arquitetura e construção, visto que muitos deles já apresentam

a função de exportar e importar os projetos neste padrão. Ao analisar o projeto pode-se identificar alguns dados que deveriam aparecer no ficheiro de armazenamento, contudo, como o IFC está ainda em desenvolvimento, muitas imprecisões verificadas serão corrigidas pelos responsáveis no desenvolvimento deste padrão (buildingSMART). E, com a maior ascensão das empresas na utilização do BIM, o conhecimento e compreensão a respeito do IFC serão superiores, o que provavelmente resultará no armazenamento dos dados de modo mais completo e preciso.

Pode-se constatar que este formato padrão é capaz de transportar todos os dados básicos de um projeto de um modelo para outro. Contudo, alguns detalhes ainda são perdidos ou modificados na exportação de um modelo para o formato IFC. Dessa forma, no gerenciamento, no qual são exigidas informações precisas, ainda não é possível ter confiabilidade completa no padrão IFC. Vislumbra-se, porém, que com a continuação do desenvolvimento deste padrão pela buildingSMART, e com o aumento da compreensão do IFC pelos profissionais e construtoras, muitos problemas e dificuldades tenderão a ser solucionados.

Para trabalhos correlatos que tratam do padrão IFC, sugere-se a compreensão de como os principais softwares, adeptos do conceito BIM, gerenciam os dados IFC. O estudo consistiria em localizar onde encontra-se o gestor IFC de cada aplicativo e verificar a possibilidade de adicionar entidades que carregam informações que o usuário deseja transmitir.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. R. B. **Análise da interoperabilidade aplicada ao projeto BIM de Estruturas Metálicas**. 2015. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <<http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/7339>>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- ARCHICAD. **Tudo sobre o ArchiCAD**. 2016. Disponível em: <<http://archicad.com/br/all-about-archicad/>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- AUTODESK. **NavisWorks**. 2016. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/products/navisworks/features/all>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- AUTODESK 360. **Serviços na nuvem**. 2016. Disponível em: <<http://www.autodesk.pt/360-cloud>>. Acesso: 18 set. 2016.
- AYRES FILHO, C.; SHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD do processo de projeto arquitetônico**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em: <https://www.academia.edu/3016612/Diferentes_abordagens_do_uso_do_CAD_no_processo_de_projeto_arquitet%C3%B4nico>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- BATCHELER, B.; HOWELL, I. **Building Information Modeling two years later: Huge potential, some success and several limitations**. [S.l.]: Newforma, 2005. Disponível em: <http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- BORJA, L. C. A.; CASTRO, D. A. **Aplicações da modelagem 3D: Estudo de caso de prédio educacional do campus UEFS**. In: Simpósio Nacional de Geometria e Desenho Técnico, 20 e International Conference on Graphics Engeneering for Arts and Design, 2011, Rio do Janeiro. **Anais do Graphica 2011**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/7114174-Aplicacoes-da-modelagem-3d-estudo-de-caso-de-predio-educacional-do-campus-uefs.html>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- BOOCH, G. **Object-Oriented Analysis and Design with Applications**. 2. Ed. Santa Clara, Califórnia: Addison-Wesley, 1994. 534 p. Disponível em: <http://www.cvauni.edu.vn/imgupload_dinhkem/file/pttkht/object-oriented-analysis-and-design-with-applications-2nd-edition.pdf>. Acesso em: 05 out. 2016.
- BUILDINGSMART – International Aliance for Interoperability. **IFC 2X Edition 3 Technical Corrigendum 1**. 1999 – 2007. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/>>. Acesso em: set. 2016.

CATELANI, W. S. **Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras: Parte 1- Fundamentos BIM**. Brasília, DF: CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016. 120 p. Disponível em: http://cbic.org.br/arquivos/CBIC_Disseminacao_BIM_parte_1.pdf. Acesso em: 20 jul. 2016.

COSTA, F. S. **Utilização de sistemas distribuídos na renderização de imagens 3D**, 2011. Disponível em: <http://fabriciojf.com/site/blog/utilizacao-de-sistemas-distribuidos-na-renderizacao-de-imagens-3d>. Acesso: 29 set. 2016.

DIMYADI, J. A. W.; SPEARPOINT, M. J.; AMOR, R. **Generating fire dynamics simulator geometrical input using IFC-based Building Information Model**. [S.l.]: Journal of Information Technology in Construction, 2007. Disponível em: https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/680/12606320_GeneratingfiredynamicssimulatorgeometricalinputusinganIFC-basedbuildinginformationmodel.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 out. 2016.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483 p.

FARIA, R. Construção Integrada. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini n. 127, out. 2007. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/127/artigo286443-1.aspx>. Acesso em: 01 out. 2016.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. Limitações da representação 2D na compatibilização espacial em projetos de edifícios e a aposta no CAD 3D como solução. In: Encontro de tecnologia e comunicação na construção civil, 3, 2007, Porto Alegre. **Integração de sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção**. Porto Alegre, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/826254/Limita%C3%A7%C3%B5es_da_representa%C3%A7%C3%A3o_2D_na_compatibiliza%C3%A7%C3%A3o_espacial_em_projetos_de_edif%C3%A9cios_e_a_aposta_no_CAD_3D_como_solu%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 24 ago. 2016.

HAMED, L. **BIM do 3D ao 7D**, 2015. Disponível em: <https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/>. Acesso em: 07 set. 2016.

KANUNNIKOVA, T. BIM Technologies might become compulsory at construction sites in Russia. **Russian Online Journal**, Moscow, Russia: Construction.RU, set. 2016. Disponível em: <http://russianconstruction.com/news-1/24907-bim-technologies-might-become-compulsory-at-construction-sites-in-russia.html>. Acesso 22 set. 2016.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, 2015. 159p. Disponível em: <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

KLORMAN, B. et al. **Level of Development Specification**. [S.l.]: BIMForum, 2013. 124 p. Disponível em: <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2016.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**. Nova Iorque: Spon Press, 2003. 422 p. Disponível em: <http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9781134470440_sample_535112.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

JUSTI, A. R. **Revit 9.0 Building**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007. 420 páginas.

LAWSON, B. **CAD and Creativity: Does the computer really help?** Sheffield, Reino Unido: The University of Sheffield, 2002. Disponível em: <<http://eprints.whiterose.ac.uk/1427/1/lawson.b1.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

LIEBICH, T. **IFC 4 - the new buildingSMART standard**. [S.l.]: buildingSMART, 2013. Disponível em: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release/buildingSMART_IFC4_WhatisNew.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

LIEBICH, T. **IFC Object Model Architecture Guide**. Virginia, Estados Unidos da América: (IAI) International Alliance of Interoperability, 1999. 9 p. Disponível em: <http://iaiweb.lbl.gov/Resources/IFC_Releases/IFC_Release_2.0/FINAL_Documents/IFC_R2_ObjectModelArchitectureGuide_US.PDF>. Acesso em: 26 ago. 2016.

MANZIONE, L. **O as built das obras é realidade com o BIM e laser scanning**. 2013. Coordenar Consultoria de Ação. Disponível em: <<http://www.coordenar.com.br/bim-e-laser-scanning-viabilizam-o-as-built-das-obras/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

MANZIONE, L. **O IFC é muito mais que um formato de arquivo**. 2016a. Coordenar Consultoria de Ação. Disponível em: <<http://www.coordenar.com.br/o-ifc-e-muito-mais-que-um-simples-formato-de-arquivo/>>. Acesso em: 02 set. 2016.

MANZIONE, L. **BIM: Conheça os 204 softwares BIM, IFC compatíveis hoje no mundo**. 2016b. Coordenar Consultoria de Ação. Disponível em: <<http://www.coordenar.com.br/bim-conheca-os-204-softwares-ifc-compativeis-hoje-no-mundo/>>. Acesso em: 05 out. 2016.

MATEUS, L. M. C. et al. **Laser scanning 3D: Nuvens de pontos como documentação promária do patrimônio – o caso da Torre do Castelo de Mota del Marqués em Valladolid**. Valladolid, Espanha: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid, [2008]. Disponível em: <<http://archc3d.fat.utl.pt/outputs/horizonte.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

MATTOS, A. D. **BIM 3D, 4D, 5D e 6D**. 2014. Blogs PINI. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>>. Acesso em: 07 set. 2016.

MCGRANE, K. **From typing to swiping: A brief History of interaction design**. Disponível em: <http://www.slideshare.net/KMCGRANE/FROM-TYPING-TO-SWIPING-A-BRIEF-HISTORY-OF-INTERACTION-DESIGN/54-SKETCHPAD_1963HTTPDESIGNOSUEDUCARLSONHISTORYIMAGESIVANSUTHERLANDJPG_54_HTTPIMAGESBUSINESSWEEKCOMSS08101006CEOGUIDEIMAGEIVANSSKETCHPAD600GIMPRJPG>. Acesso em: 20 out. 2016

MEHUS, J.; BELL, H. **International Framework for Dictionaries (IFD)**. buildingSMART, 2010. Disponível em: <http://bips.dk/files/article_files/4c-1_2010.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016.

MOÇO, R M M. **Verificação Automática de Modelos BIM**: Aplicação à avaliação de qualidade de projetos de edifícios de habitação. 2015. 134 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79777/2/119439.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2016.

MOREIRA, T. P. F. **A influência da parametrização dos softwares CADD arquiteturais no processo de projeção arquitetônica**. 2008. 226 p. Dissertação (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/6219?mode=full&submit_simple=Mostrar+item+em+formato+completo>. Acesso em: 10 set. 2016.

NAKAMURA, J. Construtoras apostam no BIM 4D para melhorar assertividade do planejamento de obras. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, n. 213, dez. 2014. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/213/artigo335226-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

NASCIMENTO, L. A. **Proposta de um sistema de recuperação de informação para extranet de projeto**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-13052004-140558/pt-br.php>>. Acesso: 08 out. 2016.

NOUR, M. **2008. Construct Product Data and Building Information Models**: A flexibility model for incorporating construction product data into Building Information Models. Saarbrücken, Alemanha: VDM Verlag, 2008.

OUSTERHOUT, R. **Master builders of byzantium**. Princeton: Princeton University Press, 1999.

PALAORO, M. J. **Entenda o universo chamado BIM**. Graphics, 2016. Disponível em: <<http://www.portalgraphics.com.br/farol/portalgraphics/servicos/bricscad/detalhes-bricscad/entenda-o-universo-chamado-bim/69>>. Acesso em: 03 out. 2016.

PAZLAR, T.; TURK, Z. **Interoperability in practice**: Geometric data exchange using the IFC standard. [S.l.]: ITcon, 2008. v. 13 p. 362 - 380. Disponível em: <http://www.itcon.org/data/works/att/2008_24.content.00881.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2016

PENTTILLÄ, H. **Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression**. Helsinki, Finlândia: University of Technology HUT, Department of Architecture, Itcon, 2006. Disponível em: <http://www.itcon.org/data/works/att/2006_29.content.02253.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

- PINHAL, P. **O que As Built?** Colégio de arquitetos, 2014. Disponível em: <<http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/author/pinhal/>>. Acesso em: 07 set. 2016.
- PINHEIRO, A. P. B.; GODINI, C. BIM - Modelagem da Informação da construção é tema de debate. In: Painel Abrava “BIM Modelagem da Informação da Construção”, 4, 2015, São Paulo. BIM – Modelagem da informação da Construção. São Paulo, set 2015. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitetura.com.br/noticias/1245/BIM---Modelagem-da-Informacao-da-Construcao-e-tema-de-debate.aspx>>. Acesso em: 07 set. 2016.
- PINHO, S. M. F. **O modelo IFC como agente da Interoperabilidade:** Aplicação ao domínio das estruturas. 2013. 129 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=347376>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- REGO, R. M. **As naturezas cognitiva e criativa da projeção em arquitetura:** reflexões sobre o papel mediador das tecnologias. Ouro Preto: Revista Escola de Minas, [2001]. v.54. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000100006>. Acesso em: 14 ago. 2016.
- RENDEIRO, J. E. **O BIM na engenharia.** Plataforma BIM, 2013a. Disponível em: <<http://www.plataformabim.com.br/2013/04/o-bim-na-engenharia.html>>. Acesso em: 07 set. 2016.
- RENDEIRO, J. E. **Open BIM.** SCIA A Nemetschek Company. 2013b. Disponível em: <<https://www.scia.net/pt/open-bim>>. Acesso em: 27 set. 2016.
- RINGLEY, B. **IFC Quick Browser.** 2014. Disponível em: <<https://aec-apps.com/app/app/ifc-quick-browser>>. Acesso: 18 set. 2016.
- ROSSO, S. M. **Softwares BIM:** conheça os programas disponíveis, seu custo, principais características e segredos. Revistas PINI aU. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/artigo224333-2.aspx>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- SAKAMORI, M. M. **Modelagem 5D (BIM):** Processo de orçamentação com estudo sobre controle de custo e valor agregado para empreendimentos de construção civil. 2015. 178 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/41394>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- SUTHERLAND, I. E. **Sketchpad :** a man-machine graphical communication system. Cambridge: University of Cambridge, 2003. Disponível em: <<https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>>. Acesso em 19 out. 2016.
- TQS. **TQS Pacotes EPP:** Pacotes completos e avançados para o projeto de edificações de pequeno porte. 20016. Disponível em: <http://www.tqs.com.br/Produtos/TQS/Pacotes/TQS_EPP/#p=1>. Acesso em: 15 out. 2016.

YOUNG JR, N. W.; JONES, S. A.; BERNSTEIN, H. M. **Interoperability in Construction Industry**. Nova Iorque, Estados Unidos da América: McGraw Hill Construction, 2007. 34 p. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia077485.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2016.

APÊNDICE A - Hierarquia do IfcBeam

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcBeam
  SUBTYPE OF (IfcBuildingElement);
END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcBuildingElement
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcBuildingElementProxy, IfcCovering, IfcBeam, IfcColumn, IfcCurtainWall, IfcDoor, IfcMember, IfcRailing, IfcRamp,
    IfcRampFlight, IfcWall, IfcSlab, IfcStairFlight, IfcWindow, IfcStair, IfcRoof, IfcPile, IfcFooting, IfcBuildingElementComponent,
    IfcPlate))
  SUBTYPE OF (IfcElement);
END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcElement
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcBuildingElement, IfcFurnishingElement, IfcElectricalElement, IfcDistributionElement, IfcTransportElement,
    IfcEquipmentElement, IfcFeatureElement, IfcElementAssembly, IfcVirtualElement))
  SUBTYPE OF (IfcProduct);
  Tag : OPTIONAL IfcIdentifier;
  INVERSE
    HasStructuralMember : SET OF IfcRelConnectsStructuralElement FOR RelatingElement;
    FillsVoids : SET [0:1] OF IfcRelFillsElement FOR RelatedBuildingElement;
    ConnectedTo : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatingElement;
    HasCoverings : SET OF IfcRelCoversBldgElements FOR RelatingBuildingElement;
    HasProjections : SET OF IfcRelProjectsElement FOR RelatingElement;
    ReferencedInStructures : SET OF IfcRelReferencedInSpatialStructure FOR RelatedElements;
    HasPorts : SET OF IfcRelConnectsPortToElement FOR RelatedElement;
    HasOpenings : SET OF IfcRelVoidsElement FOR RelatingBuildingElement;
    IsConnectionRealization : SET OF IfcRelConnectsWithRealizingElements FOR RealizingElements;
    ProvidesBoundaries : SET OF IfcRelSpaceBoundary FOR RelatedBuildingElement;
    ConnectedFrom : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatedElement;
    ContainedInStructure : SET [0:1] OF IfcRelContainedInSpatialStructure FOR RelatedElements;
  END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcProduct
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (IfcProxy)
  SUBTYPE OF (IfcObject);
  ObjectPlacement : OPTIONAL IfcObjectPlacement;
  Representation : OPTIONAL IfcProductRepresentation;
  INVERSE
    ReferencedBy : SET OF IfcRelAssignsToProduct FOR RelatingProduct;
  WHERE
    WR1 : (EXISTS(Representation) AND EXISTS(ObjectPlacement)) OR (EXISTS(Representation) AND
      (NOT('IFCREPRESENTATIONRESOURCE.IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE' IN TYPEOF(Representation)))) OR (NOT(EXISTS(Representation))) ;
  END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcObject
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcActor, IfcControl, IfcGroup, IfcProcess, IfcProduct, IfcProject, IfcResource))
  SUBTYPE OF (IfcObjectDefinition);
  ObjectType : OPTIONAL IfcLabel;
  INVERSE
    IsDefinedBy : SET OF IfcRelDefines FOR RelatedObjects;
  WHERE
    WR1 : SIZEOF(QUERY(temp <= IsDefinedBy | 'IFCKERNEL.IFCRELDEFINESBYTYPE' IN TYPEOF(temp))) <= 1;
  END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcObjectDefinition
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcObject, IfcTypeObject))
  SUBTYPE OF (IfcRoot);
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcRoot
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(IfcPropertyDefinition, IfcRelationship, IfcObjectDefinition));
  GlobalId : IfcGloballyUniqueId;
  OwnerHistory : IfcOwnerHistory;
  Name : OPTIONAL IfcLabel;
  Description : OPTIONAL IfcText;
  UNIQUE
    UR1 : GlobalId;
  END_ENTITY;
```

APÊNDICE A: Hierarquia do IfcBeam

LEGENDA

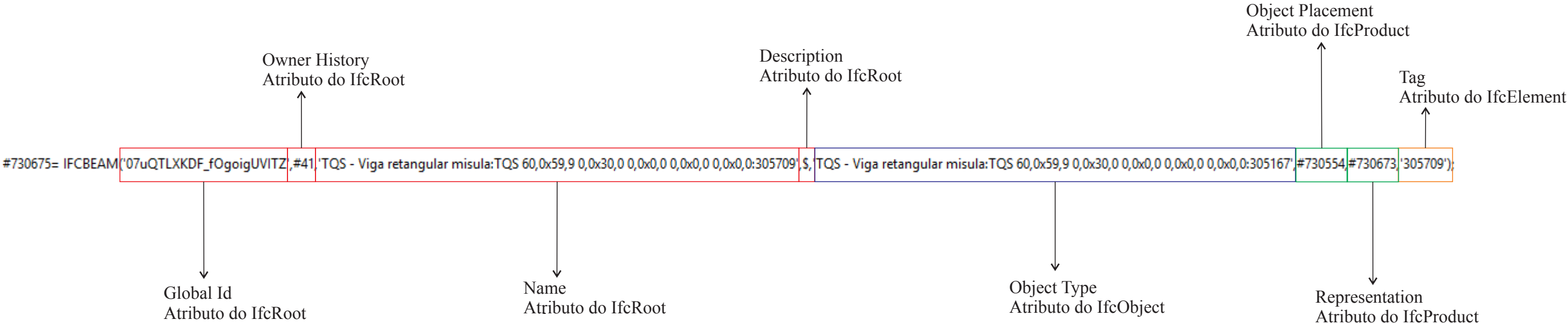
 → Elementos de construção compartilhados (camada de interoperabilidade)

 → Extensão do produto (camada do núcleo)

 → Kernel (camada do núcleo)

Fonte: Autoria Própria

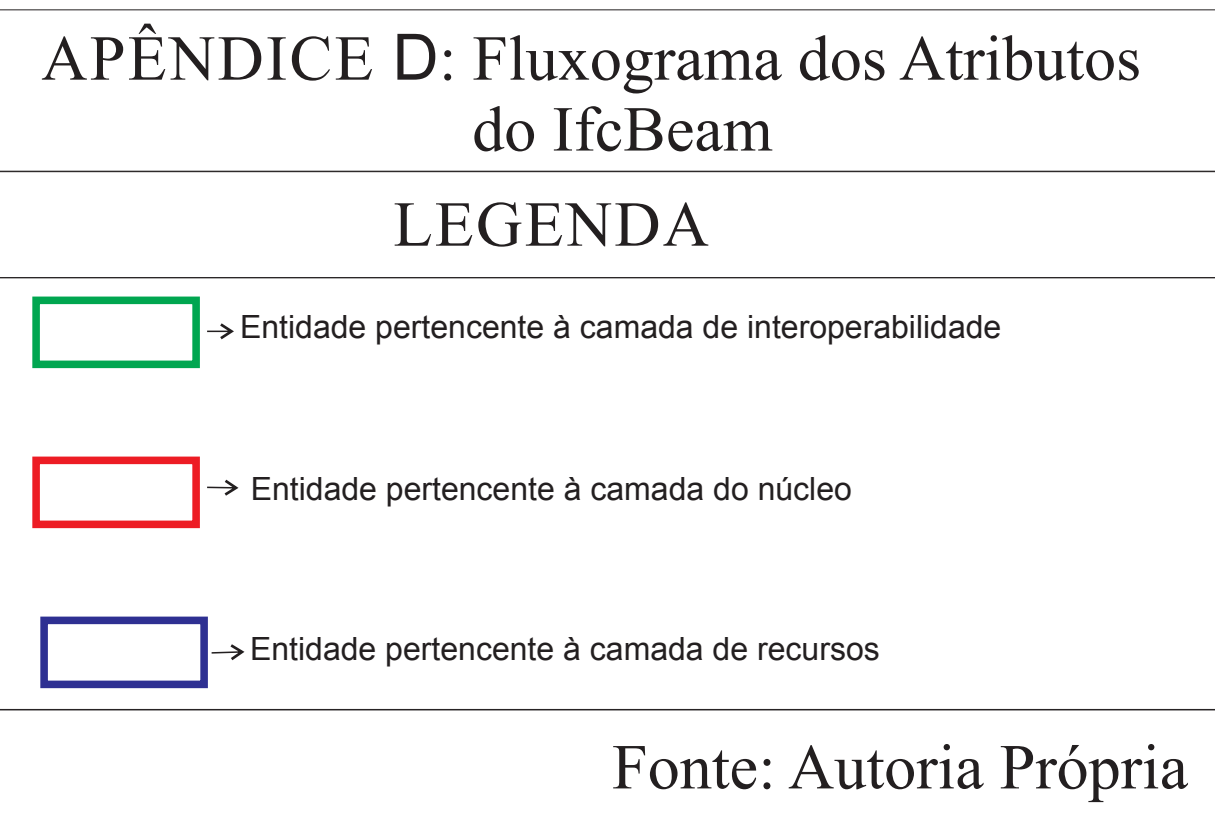
APÊNDICE B - Linha de Atributos do IfcBeam



APÊNDICE B: Linha de Atributos do IfcBeam		
LEGENDA		
	→	Atributo da entidade IfcRoot
	→	Atributo da entidade IfcObject
	→	Atributo da entidade IfcProduct
	→	Atributo da entidade IfcElement
Fonte: Autoria Própria		

APÊNDICE C - Armazenamento dos Atributos de uma Viga em IFC

```
#730675= IFCBEAM('07uQTLXKDF_0GoigUVITZ',#41,'TQS - Viga retangular misula:TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305709',$,'TQS - Viga retangular misula:TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305167',#730554,#730673,'305709');
└─#41= IFCOWNERHISTORY(#38,#5,$,NOCHANGE,$,$,$,1471554926);
    └─#38= IFCPERSONANDORGANIZATION(#35,#37,$);
        └─#35= IFCPERSON($,','vhonda',$,$,$,$,$);
        └─#37= IFCORGANIZATION($,','',$);
    └─#5= IFCAPPLICATION(#1,'2016','Autodesk Revit 2016 (PTB)','Revit');
        └─#1= IFCORGANIZATION($,'Autodesk Revit 2016 (PTB)',,$,$,$);
#730554= IFCLOCALPLACEMENT(#196,#730553);
└─#196= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#195);
    └─#32= IFCLOCALPLACEMENT(#1027399,#31);
        └─#1027399= IFCLOCALPLACEMENT($,#1027398);
            └─#1027398= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
                └─#6= IFCARTESIANPOINT((0,0,0));
            └─#31= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
                └─#6= IFCARTESIANPOINT((0,0,0));
        └─#195= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#193,$,$);
            └─#193= IFCARTESIANPOINT((0,0,753809.997558594));
#730553= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#730663,#19,#730551);
└─#730663= IFCARTESIANPOINT((49974.3967914169,-82865.0335818074,-900.865662754164));
└─#19= IFCDIRECTION((0,0,1));
└─#730551= IFCDIRECTION((0.642782130243694,0.766049040884054,0));
#730673= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$(#730671,#730661));
└─#730671= IFCSHAPE REPRESENTATION(#86,'Axis','Curve2D',(#730669));
    └─#86= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Axis','Model',,,,,,#83,$,GRAPH_VIEW,$);
        └─#83= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,0,01,#80,#81);
            └─#80= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
                └─#6= IFCARTESIANPOINT((0,0,0));
            └─#81= IFCDIRECTION((6.1230317691189E-17,1));
        └─#730669= IFCPOLYLINE(#730665,#730667);
            └─#730665= IFCARTESIANPOINT((295.441580622362,-52.0986798236409));
            └─#730667= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067357,-52.0986798236409));
#730661= IFCSHAPE REPRESENTATION(#88,'Body','Brep',(#730657,#730660));
└─#88= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',,,,,,#83,$,MODEL_VIEW,$);
    └─#83= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,0,01,#80,#81);
        └─#80= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
            └─#6= IFCARTESIANPOINT((0,0,0));
        └─#81= IFCDIRECTION((6.1230317691189E-17,1));
#730657= IFCFACETEDBREP(#730655);
└─#730655= IFCCLOSEDSHELL((#730566,#730575,#730584,#730589,#730594,#730599));
    └─#730566= IFCFACE((#730565));
        └─#730565= IFCFACEOUTERBOUND(#730563,T.);
            └─#730563= IFCPOLYLOOP((#730555,#730557,#730559,#730561));
                └─#730555= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,900.865662754155));
                └─#730557= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,900.865662754155));
                └─#730559= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,900.865662754155));
                └─#730561= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,900.865662754155));
            └─#730575= IFCFACE((#730574));
                └─#730574= IFCFACEOUTERBOUND(#730572,T.);
                    └─#730572= IFCPOLYLOOP((#730561,#730559,#730568,#730570));
                        └─#730561= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,900.865662754155));
                        └─#730559= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,900.865662754155));
                        └─#730568= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.865662754031));
                        └─#730570= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,301.865662754031));
                    └─#730584= IFCFACE((#730583));
                        └─#730583= IFCFACEOUTERBOUND(#730581,T.);
                            └─#730581= IFCPOLYLOOP((#730570,#730568,#730577,#730579));
                                └─#730570= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,301.865662754031));
                                └─#730568= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.865662754031));
                                └─#730577= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,301.865662754031));
                                └─#730579= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,301.865662754031));
                            └─#730589= IFCFACE((#730588));
                                └─#730588= IFCFACEOUTERBOUND(#730586,T.);
                                    └─#730586= IFCPOLYLOOP((#730557,#730555,#730579,#730577));
                                        └─#730557= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,900.865662754155));
                                        └─#730555= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,900.865662754155));
                                        └─#730579= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,301.865662754031));
                                        └─#730577= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,301.865662754031));
                                    └─#730594= IFCFACE((#730593));
                                        └─#730593= IFCFACEOUTERBOUND(#730591,T.);
                                            └─#730591= IFCPOLYLOOP((#730557,#730577,#730568,#730559));
                                                └─#730557= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,900.865662754155));
                                                └─#730577= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,247.901320176356,301.865662754031));
                                                └─#730568= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.865662754031));
                                                └─#730559= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,900.865662754155));
                                            └─#730599= IFCFACE((#730598));
                                                └─#730598= IFCFACEOUTERBOUND(#730596,T.);
                                                    └─#730596= IFCPOLYLOOP((#730555,#730561,#730570,#730579));
                                                        └─#730555= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,900.865662754155));
                                                        └─#730561= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,900.865662754155));
                                                        └─#730570= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823646,301.865662754031));
                                                        └─#730579= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067356,247.901320176356,301.865662754031));
                                                    └─#730660= IFCFACETEDBREP(#730658);
                                                        └─#730658= IFCCLOSEDSHELL((#730616,#730633,#730638,#730643,#730648,#730653));
                                                            └─#730616= IFCFACE((#730615));
                                                                └─#730615= IFCFACEOUTERBOUND(#730613,T.);
                                                                    └─#730613= IFCPOLYLOOP((#730601,#730603,#730605,#730607,#730609,#730611));
                                                                        └─#730601= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,293.730878903131));
                                                                        └─#730603= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,0));
                                                                        └─#730605= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,1.8656627540302));
                                                                        └─#730607= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,301.86566275417));
                                                                        └─#730609= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.86566275417));
                                                                        └─#730611= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,300.865662754153));
                                                                    └─#730633= IFCFACE((#730632));
                                                                        └─#730632= IFCFACEOUTERBOUND(#730630,T.);
                                                                            └─#730630= IFCPOLYLOOP((#730618,#730620,#730622,#730624,#730626,#730628));
                                                                                └─#730618= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,301.86566275417));
                                                                                └─#730620= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,301.86566275417));
                                                                                └─#730622= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,1.8656627540302));
                                                                                └─#730624= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,0));
                                                                                └─#730626= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,293.730878903131));
                                                                                └─#730628= IFCARTESIANPOINT((2295.441580622339,247.901320176356,300.865662754153));
                                                                            └─#730638= IFCFACE((#730637));
                                                                                └─#730637= IFCFACEOUTERBOUND(#730635,T.);
                                                                                    └─#730635= IFCPOLYLOOP((#730603,#730601,#730626,#730624));
                                                                                        └─#730603= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,0));
                                                                                        └─#730601= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,293.730878903131));
                                                                                        └─#730626= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,293.730878903131));
                                                                                        └─#730624= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,0));
                                                                                    └─#730643= IFCFACE((#730642));
                                                                                        └─#730642= IFCFACEOUTERBOUND(#730640,T.);
                                                                                            └─#730640= IFCPOLYLOOP((#730609,#730607,#730620,#730618));
                                                                                                └─#730609= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.86566275417));
                                                                                                └─#730607= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,301.86566275417));
                                                                                                └─#730620= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,301.86566275417));
                                                                                                └─#730618= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,301.86566275417));
                                                                                            └─#730648= IFCFACE((#730647));
                                                                                                └─#730647= IFCFACEOUTERBOUND(#730645,T.);
                                                                                                    └─#730645= IFCPOLYLOOP((#730609,#730618,#730628,#730626,#730601,#730611));
                                                                                                        └─#730609= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,301.86566275417));
                                                                                                        └─#730618= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,301.86566275417));
                                                                                                        └─#730628= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,300.865662754153));
                                                                                                        └─#730626= IFCARTESIANPOINT((295.441580622339,247.901320176356,293.730878903131));
                                                                                                        └─#730601= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,293.730878903131));
                                                                                                        └─#730611= IFCARTESIANPOINT((295.441580622348,-352.098679823646,300.865662754153));
                                                                                                    └─#730653= IFCFACE((#730652));
                                                                                                        └─#730652= IFCFACEOUTERBOUND(#730650,T.);
                                                                                                            └─#730650= IFCPOLYLOOP((#730603,#730624,#730622,#730620,#730607,#730605));
                                                                                                                └─#730603= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,0));
                                                                                                                └─#730624= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,0));
                                                                                                                └─#730622= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,1.8656627540302));
                                                                                                                └─#730620= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,247.901320176365,301.86566275417));
                                                                                                                └─#730607= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,301.86566275417));
                                                                                                                └─#730605= IFCARTESIANPOINT((2295.44158067355,-352.098679823637,1.8656627540302));
```



APÊNDICE E - Armazenamento das Relações de uma Viga em IFC

```
#730675= IFCBEAM('07uQLXKDF_fOgoigUVITZ',#41,'TQS - Viga retangular misula:TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305709',$,'TQS - Viga retangular misula:TQS 60,0x59,9 0,0x30,0 0,0x0,0 0,0x0,0:305167',#730554,#730673,'305709');
<
#730681= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('05Us$dShr3rQt2lpYMhfFR',#41,$,$,(#730675),#730679);
#730719= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSUUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730717);
#730714= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSkUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730712);
#730709= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSYUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730707);
#730704= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSwUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730702);
#730734= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpT6UVITZ',#41,$,$,(#730675),#730732);
#730729= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSIUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730727);
#730724= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpSMUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730722);
#730749= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpOYUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730747);
#730744= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpQQUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730742);
#730739= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3W3gsGP8r5Gxy_61SI1D_Z',#41,$,$,(#730675),#730737);
#730759= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpVIUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730757);
#730754= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('07uQLXKDF_fOgpTwUVITZ',#41,$,$,(#730675),#730752);
#1029566= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('07uQLXKDF_fOgoikUVP1Y',#41,$,$,(#4592,#15580,#27078,#35272,#36968,#38677,#40404,#55328,#66754,#81588,#96489,#111363,#126230,#141062,#154148,#169210,#180404,#191883,#200932,
#205459,#218210,#226865,#241657,#252499,#270137,#281525,#293015,#304175,#318185,#330219,#347562,#360736,#368327,#372997,#380925,#382775,#384583,
#386258,#399859,#412482,#420700,#429899,#432394,#434202,#435537,#442456,#446996,#456006,#465458,#466836,#468730,#474993,#484106,#713002,#713126,
#713347,#716312,#716529,#716648,#718770,#718882,#718994,#719106,#719388,#719515,#719628,#719757,#719886,#720001,#720159,#720278,#720390,#720664,
#720890,#721027,#721139,#721416,#721542,#721823,#722311,#725631,#725743,#725869,#726005,#726208,#726470,#726629,#727007,#727216,#727327,#727438,
#727549,#727762,#728139,#728250,#728371,#728483,#728595,#728724,#728853,#728965,#729077,#729332,#729540,#729652,#729764,#730142,#730351,#730462,
#730675,#731052,#731431,#731640,#731749,#731960,#732339,#732450,#732561,#732672,#732783,#733160,#733369,#733480,#733591,#733702,#733915,#734292,
#734669,#734878,#734989,#735202,#735579,#735956,#736165,#736276,#736489,#736866,#737243,#737452,#737563,#737776,#738153,#738530,#738739,#738850,
#739063,#739440,#739819,#740028,#740137,#740348,#740727,#741106,#741315,#741424,#741635,#742014,#742393,#742602,#742711,#742922,#743301,#743680,
#743889,#743998,#744209,#744588,#744967,#745176,#745285,#745496,#745875,#745995,#746124,#746236,#746348,#746460,#746572,#746692,#746821,#746946,
#747162,#747291,#747403,#747604,#747734,#747882,#748017,#748216,#748328,#748438,#748551,#748663,#748775,#748887,#748999,#749111,#749221,#749341,
#749462,#749591,#749971,#750180,#750298,#750509,#750631,#750753,#987052,#987250,#987501,#987701,#987853,#988060,#988227,#988384,#988523,#988671,
#988837,#988981,#989090,#989297,#989507,#989659,#989801,#989917,#990047,#990154,#990289,#990405,#990551,#990689,#990813,#990939,#991073,#991189,
#991323,#991432,#991541,#991650,#991759,#991875,#991995,#992104,#992216,#992342,#992457,#992573,#992680,#992796,#992912,#993073,#993205),#197);
#1040221= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1mYxk1oUP47uMJots6W9tn',#41,$,$,(#699853,#730675,#731960,#735202,#736489,#737776,#739063,#740348,#741635,#742922,#744209,#745496,#750509,#757638,#758925,#760212,#761499,#762786,#764073,
#769958,#771245,#772532,#773819,#775106,#778435,#806168,#807453,#810695,#811982,#813269,#814556,#815841,#817128,#818415,#819702,#820989,#824254,#833164,
#834451,#835738,#837025,#838312,#839599,#845484,#846771,#848058,#849345,#850632,#853961,#881836,#883121,#886363,#887650,#888937,#890224,#891509,#892796,
#894083,#895370,#896657,#899922),#699957);
#1040224= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1SYnCyvzb8WhhXJ2xL1yfY',#41,$,$,(#699853,#730675,#731960,#735202,#736489,#737776,#739063,#740348,#741635,#742922,#744209,#745496,#750509,#757638,#758925,#760212,#761499,#762786,#764073,
#769958,#771245,#772532,#773819,#775106,#778435,#806168,#807453,#810695,#811982,#813269,#814556,#815841,#817128,#818415,#819702,#820989,#824254,#833164,
#834451,#835738,#837025,#838312,#839599,#845484,#846771,#848058,#849345,#850632,#853961,#881836,#883121,#886363,#887650,#888937,#890224,#891509,#892796,
#894083,#895370,#896657,#899922),#699959);
#1040227= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('2u3xORId50a8MJ6YFQ3Khw',#41,$,$,(#699853,#730675,#731960,#735202,#736489,#737776,#739063,#740348,#741635,#742922,#744209,#745496,#750509,#757638,#758925,#760212,#761499,#762786,#764073,
#769958,#771245,#772532,#773819,#775106,#778435,#806168,#807453,#810695,#811982,#813269,#814556,#815841,#817128,#818415,#819702,#820989,#824254,#833164,
#834451,#835738,#837025,#838312,#839599,#845484,#846771,#848058,#849345,#850632,#853961,#881836,#883121,#886363,#887650,#888937,#890224,#891509,#892796,
#894083,#895370,#896657,#899922),#699961);
#1040230= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('379rqjc7T15wKjoDi0JESl',#41,$,$,(#699853,#730675,#731960,#735202,#736489,#737776,#739063,#740348,#741635,#742922,#744209,#745496,#750509,#757638,#758925,#760212,#761499,#762786,#764073,
#769958,#771245,#772532,#773819,#775106,#778435,#806168,#807453,#810695,#811982,#813269,#814556,#815841,#817128,#818415,#819702,#820989,#824254,#833164,
#834451,#835738,#837025,#838312,#839599,#845484,#846771,#848058,#849345,#850632,#853961,#881836,#883121,#886363,#887650,#888937,#890224,#891509,#892796,
#894083,#895370,#896657,#899922),#699963);
```

APÊNDICE E: Armazenamento das Relações de
uma viga em IFC

Fonte: Autoria Própria

